

GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE MANGLARES: LECCIONES APRENDIDAS



RESTAURACIÓN DE MANGLARES: ¿POR QUÉ AHORA, POR QUÉ MANGLARES?

- El manglar, como ecosistema anfibio entre el mar y la tierra, lleva sufriendo de los impactos de ambos sectores. Por el lado del mar: erosión, tormentas e incremento del nivel del mar; y por el lado de la costa: deforestación, incendios y gestión agrícola en las cuencas costeras con consecuencias en los recursos hídricos que alcanzan los mangles.
- América Central y el Caribe son regiones del planeta donde existe un incremento significativo de la intensidad y la frecuencia de los eventos climáticos extremos. Entre ellos los huracanes, las sequías y las inundaciones, con efectos severos sobre la estabilidad de los ecosistemas costeros y sus servicios ecosistémicos.
- La región Mesoamericana y el Caribe engloba gran cantidad de Islas Estado cuya estabilidad ecológica, económica y social depende del bienestar de sus ecosistemas costeros como el manglar. Por lo que se hace necesario, más que nunca, promocionar las Opciones Basadas en Naturaleza como la Infraestructura Verde, como forma de proteger la costa, sus sociedades y su calidad de vida.
- Los ecosistemas de carbono azul proveen gran cantidad de servicios ecosistémicos (protección, provisión de alimentos, captación de CO₂, producción de madera, hábitat para biodiversidad). Restaurarlos es un beneficio fundamental para la sociedad. Actualmente los planes de reducción de riesgos y de reconstrucción tras eventos extremos no incluyen las Soluciones Basadas en Naturaleza.
- Las Naciones Unidas han declarado el 2021-2030 como la Década de la Restauración Ecológica. La región ha visto un incremento de la restauración de arrecifes, pero mucho menos esfuerzos se han visto en los bosques costeros, como los manglares, las marismas y los pastos marinos (que constituyen el carbono azul).
- La región ha mostrado su compromiso con el Reto Bonn y su Iniciativa 20x20, que representa una excelente oportunidad para incrementar la restauración de manglares degradados o deforestados. Sin embargo, la Iniciativa 20x20 no incluye a los manglares entre sus objetivos de restauración. Esta guía pretende apoyar esa ventana de oportunidad.
- Los Gobiernos de la región y las Instituciones gubernamentales y no gubernamentales se beneficiarán de esta guía, por ofrecer una visión coherente de los cuatro componentes necesarios para un proceso restaurativo, donde la recuperación hidrológica juega uno de los principales roles (y no la reforestación, que ha sido erróneamente la estrategia más comúnmente adoptada).

Ciénega de Progreso, Yucatán 2015



Ciénega de Progreso, Yucatán 2018



© 2020 por el CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC

Todos los derechos reservados.

Impreso en México

ISBN: 978-607-96490-8-1

X



El contenido de esta publicación se encuentra bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Forma de Citar:

Teutli-Hernández C., J.A. Herrera-Silveira, D.J. Cisneros-de la Cruz, R. Roman-Cuesta. 2020. Guía para la restauración ecológica de manglares: Lecciones aprendidas. Proyecto, Mainstreaming Wetlands into the Climate Agenda: A multi-level approach (SWAMP). CIFOR/CINVESTAV-IPN/UNAM-Sisal/PMC, 42pp.

Créditos:

Idea original: Dra. Claudia Teutli-Hernández¹ y Dr. Jorge Herrera Silveira².

Compilación de información y elaboración: Dra. Diana Cisneros de la Cruz²

Revisión: Dr. Jorge Herrera-Silveira, Dra. Claudia Teutli-Hernández, Dr. Francisco Comín³, Dra. Rosa María Román-Cuesta⁴, Dra. Marylin Bejarano Castillo⁵

Datos e información de Historias de éxito: Dra. Claudia Teutli-Hernández y Dr. Jorge Herrera-Silveira.

1- *Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias en Sisal, Yucatán. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-Sisal).*

2- *Laboratorio de Producción Primaria, Centro de Investigación y de estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Mérida.*

3- *Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, España*

4- *Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR)*

5- *Consultora independiente de https://www.researchgate.net/profile/Marylin_Bejarano.*

Fotos y figuras:

Propiedad del laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV-Mérida.

Las figuras que no se acreditan fueron elaboradas por Diana Cisneros. Los iconos de las figuras 3,8,10, 11 y 13 se obtuvieron de: <https://ian.umces.edu/imagelibrary/>

Diseño:

Arq. Jorge Herrera Tolosa.

Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR)

CIFOR promueve el bienestar humano, la integridad del medio ambiente y la equidad mediante investigación de avanzada, desarrollando las capacidades de sus socios y dialogando activamente con todos los actores involucrados, para informar sobre las políticas y las prácticas que afectan a los bosques y a las personas. CIFOR es un centro de investigación CGIAR y lidera su Programa de Investigación sobre Bosques, Árboles y Agroforestería (FTA, por sus siglas en inglés). Nuestra sede central se encuentra en Bogor, Indonesia, y contamos con oficinas en Nairobi, Kenia; Yaundé, Camerún, Bonn, Alemania, y Lima, Perú.



Agradecimientos

Esta guía fue elaborada bajo el programa SWAMP “Sustainable Wetlands Adaptation and Mitigation Program” con financiación de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos de America (USAID, United States Agency for International Development). También cuenta con apoyo de los programas del CGIAR: FTA (Bosques, Arboles y Agroforestería) y CCAFs (Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria). Reconocemos y agradecemos a los técnicos y auxiliares del CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, que han participado en las actividades de restauración de manglares. Mención especial para los grupos de mujeres y hombres de los puertos de Celestún, Sisal, Chelem, Dzilam y Río Lagartos, Yucatán, así como a las compañeras y compañeros de las comunidades de Tres Reyes y X-Hazil, Quintana Roo. Todos ellos participaron en cada una de las etapas de la estrategia que se presenta en esta guía en sus respectivas comunidades. Gracias a ellas y ellos los manglares de sus comunidades se están recuperando y esto les está permitiendo adaptarse a los efectos del cambio climático.

Quisiéramos agradecer a todos los socios financieros que apoyaron esta investigación a través de sus contribuciones al Fondo de CGIAR. Para ver la lista de donantes del Fondo, visite: <http://www.cgiar.org/about-us/our-funders/>Cualquier opinión vertida en este documento es de los autores. No refleja necesariamente las opiniones de CIFOR, de las instituciones para las que los autores trabajan o de los financiadores.

Responsabilidad

Esta guía propone una estrategia para implementar proyectos restauración ecológica de manglares sin importar el grado de afectación, las condiciones de clima, geomorfología e hidrología en las que se encuentran. Se proponen consideraciones para operar de manera inclusiva, a través de prácticas que fomenten la equidad de género y el respeto a las tradiciones y culturas de los pueblos originarios. La información proporcionada en este documento está basada en la mejor información disponible y en la experiencia de los autores; proporciona información científica y técnica para apoyar la toma de decisiones, especialmente para políticas, proyectos o estrategias de adaptación y mitigación del cambio climático. Los puntos de vista y las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan las de las Instituciones.

CONTENIDO

Objetivo y Alcance de la Guía	pg.1
¿Cómo usar esta guía?	pg.2

1 Introducción

1.1. Los Manglares	pg.3
1.2. Conceptos y Principios Básicos	pg.4
1.3. Restauración Ecológica de Manglares	pg.7

2 Estrategia Propuesta

2.1. Planificación	pg.9
2.1.1. Creación del Grupo de Trabajo	pg.9
2.1.2. Delimitación del sitio y establecimiento de objetivos y metas	pg.10
2.1.3. Caracterización del Sitio	pg.11
2.1.3.1. Topografía	pg.14
2.1.3.2. Hidrografía	pg.15
2.1.3.3. Físicoquímica del Agua	pg.16
2.1.3.4. Físicoquímica de los Sedimentos	pg.17
2.1.3.5. Vegetación	pg.18
2.2. Implementación	pg.19
2.2.1. Acciones de Restauración	pg.20
2.2.1.1. Desazolve de pasos de agua	pg.20
2.2.1.2. Reubicación de Material Organico	pg.21
2.2.1.3. Desazolve de canales de mareas naturales	pg.21
2.2.1.4. Habilitación de Canales Nuevos	pg.22
2.2.1.5. Acondicionamiento de centros de dispersión	pg.23
2.2.1.6. Reforestación	pg.25
2.3. Evaluación	pg.26
2.3.1. Monitoreo de la Restauración	pg.26
2.4. Vinculación y Socialización	pg.28

3 Historias de Éxito

3.1. Celestún	pg.30
3.2. Sian Ka'an	pg.33
3.3. Progreso	pg.36

4 Lecciones Aprendidas

4. Lecciones Aprendidas	pg.39
-------------------------	-------

Referencias	pg.40
-------------	-------

OBJETIVO Y ALCANCE DE LA GUÍA

El objetivo de esta Guía es orientar y fortalecer las capacidades locales de todo aquel interesado en recuperar áreas de manglar. Con esta guía se pretende apoyar el desarrollo de propuestas, planear, ejecutar y dar seguimiento a programas de restauración de manglares. La guía puede ser usada por entidades gubernamentales, organizaciones civiles, el sector académico, el sector empresarial, así como la sociedad civil. La guía se basa en los fundamentos de ecología de la restauración y los principios de la Restauración Ecológica (RE) de la “Society of Ecological Restoration” (SER) ^[1]; haciendo una presentación sintética de conceptos básicos de la RE y su aplicación en la restauración de manglares.

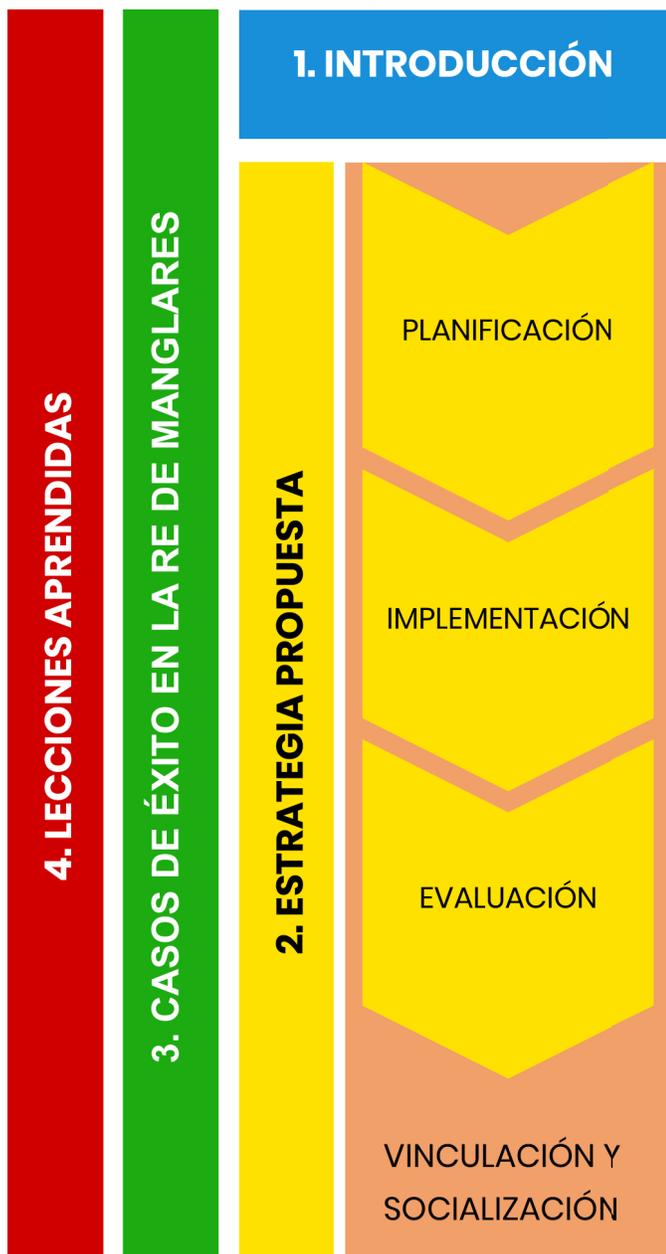
En esta guía se expone, más allá de metodologías específicas, una estrategia que incluye procesos para la integración de los componentes sociales, económicos y ecológicos ^[2,3,4]. La estrategia es presentada de forma ordenada y estandarizada para mejor comprensión, en tres fases generales: la planeación, la implementación y evaluación. El alcance de su aplicación incluye a todo tipo de manglar y nivel de impacto; esto es gracias a que tiene como marco de referencia bases conceptuales y técnicas ^[1,2,3]. Estas bases consideran los fundamentos de la fisiología de especies, las características de sus hábitats, conceptos de poblaciones, comunidades, ecosistemas y del paisaje. La RE en manglares puede ser considerada como una Solución basada en la Naturaleza (SbN) que contribuye a los esfuerzos de mitigación y adaptación al cambio climático. Esta guía busca contribuir a op-

timizar las prácticas de la RE de manglares, así como fortalecer los esfuerzos para cumplir con los objetivos de acuerdos Internacionales como el de París para la reducción de los Gases de Efecto Invernadero, así como contribuir a los objetivos 13, 14 y 15 para el desarrollo sustentable de la agenda 2030 de la ONU.

Esta guía se sustenta en el conocimiento adquirido, en lecciones aprendidas y su transferencia a las comunidades costeras. La estrategia se desarrolló como parte de un programa de investigación del CINVESTAV-IPN Unidad Mérida en colaboración con la Universidad De Barcelona, el Instituto Pirenaico de Ecología CSIC ambos de España, el CICY, UNAM-Sisal, Universidad Estatal de Luisiana (E.U.A.), JICA, organizaciones gubernamentales (CONANP, CONAFOR, CONABIO, SEMARNAT-Yucatán, INECC) y no gubernamentales (DUMAC, PRONATURA, FLORA, FAUNA Y CULTURA DE MÉXICO). La estrategia en su marco conceptual y generalidades ha sido publicada e implementada desde el 2007 en al menos 10 sitios de las costas del Golfo de México, Mar Caribe y Pacífico Sur de manera exitosa ^[2,3,4,5,6,7].

¿CÓMO USAR ESTA GUÍA?

La guía se desarrolla en cuatro secciones. **1-** Introducción: brinda un marco de referencia teórico de la restauración ecológica de manglar; **2-** Estrategia: desarrolla de forma sistemática el proceso de la restauración ecológica, en tres fases



principales: planificación, implementación y evaluación; **3-** Historias de éxito: se exponen tres casos de éxito como ejemplo de la estrategia propuesta; **4-** Lecciones aprendidas: se puntualizan aspectos importantes a considerar como resultado de las experiencias de haber implementado proyectos usando la estrategia de restauración ecológica propuesta.

¿Qué debo saber antes de comenzar un proyecto de restauración ecológica de manglar?

¿Cómo comenzar la RE?

¿Cómo, cuándo, qué, causó la degradación del manglar?

¿Cuáles son las condiciones actuales del sitio?

¿Cómo se realizará la RE?

¿Qué tipo de acciones se pueden implementar durante el proceso de restauración?

¿Qué indicadores se usarán para evaluar los resultados de las acciones de restauración?

¿Cómo incorporar los resultados de la evaluación para introducir modificaciones en la implementación de la restauración?

¿Cómo se integra a la comunidad en la RE?

¿Cómo se hará la difusión de los resultados?

¿Cómo se aplica la estrategia propuesta?

¿Qué puedo aprender de casos de éxito?

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Los Manglares

¿Por qué son importantes los Manglares?

Los Manglares son ecosistemas forestales intermareales adaptados a un amplio rango de salinidad e inundación. Habitan en el 75% de las costas tropicales y subtropicales del mundo y gracias a los servicios ecosistémicos que proveen (Fig.1); su valoración económica se estima en **2.7 billones de dólares anuales a escala global** [8]. Es uno de los ecosistemas más amenazados en el trópico debido principalmente a causas antropogénicas, como el desarrollo de infraestructura asociada al sector turístico y la acuicultura, entre otros [9]. A pesar de que su tasa de pérdida se ha reducido del 2% al < 0.4% durante este siglo [10], las predicciones in-

dicen que entre 30 – 40 % de los humedales costeros [11] y la mayor parte de los bosques de manglar se podría perder en los próximos 100 años [12].

La restauración ecológica de manglar es fundamental debido a que puede ser vista como una Solución basada en la Naturaleza (SbN), que permite afrontar desafíos sociales como la adaptación del cambio climático y recuperar servicios para el bienestar humano y la conservación de la biodiversidad [13]. Para la recuperación de manglares **es imprescindible una estrategia de restauración que integre aspectos sociales, económicos, ecológicos y científicos-técnicos**. La exclusión de uno o más de estos componentes ha sido la causa del fracaso de numerosos proyectos de restauración [14,15,16].

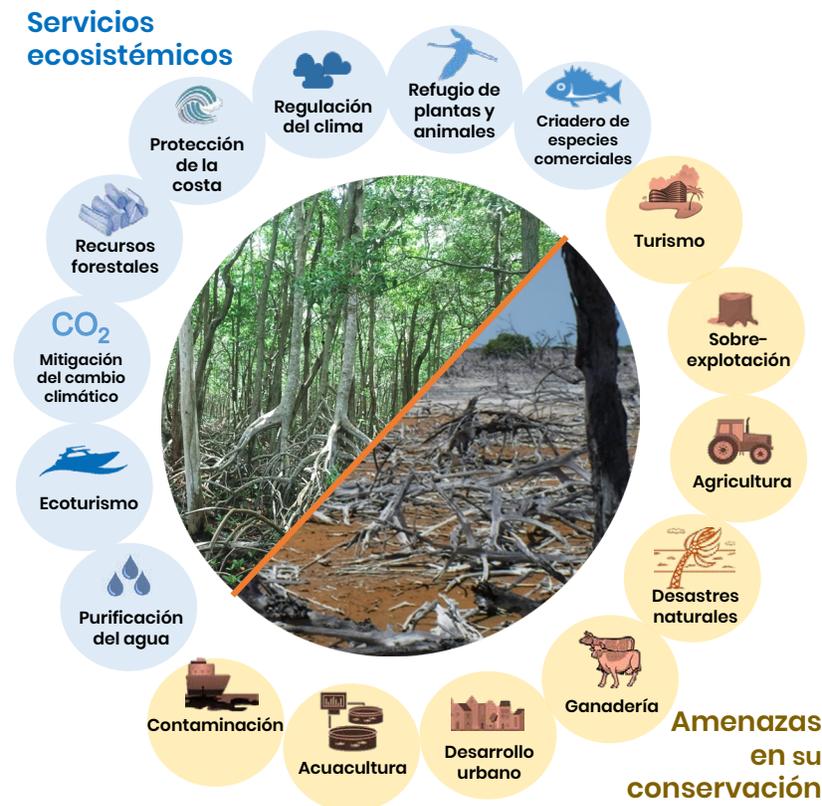


Fig.1 Servicios Ecosistémicos y Amenazas del Manglar

1.2 Conceptos y principios básicos

¿Qué es necesario saber antes de comenzar?

La **Restauración Ecológica (RE)** es el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, para que tenga valores considerados como inherentes al ecosistema y para proporcionar bienes y servicios a la sociedad [1,17]. Este enfoque requiere de la integración de distintas disciplinas a través de diversas escalas [18].

A su vez, la **Ecología de la Restauración** es la ciencia multidisciplinaria que aporta los fundamentos científicos para la restauración, sirviendo también como test experimental de las teorías ecológicas, es decir de su aplicación como tecnología [19] (Fig.2). Desde el punto de vista metodológico, **el procedimiento para abordar y agrupar las técnicas en la restauración puede ser clasificado en dos categorías: restauración pasiva y restauración activa** [20].



Fig.2 Relación entre la ecología, ecología de la restauración y restauración ecológica, modificado de [19].

Restauración pasiva

Su papel es eliminar los factores de disturbio favoreciendo que la regeneración ocurra de manera natural (e.g. apertura de canales).



Rehabilitación hidrológica con la habilitación de canales en Celestún, Yucatán.

Restauración activa

Considera la eliminación del factor de disturbio e implementación de estrategias para acelerar la recuperación (e.g. reforestación).



Reforestación en centros de dispersión en Sisal, Yucatán.

En la restauración ecológica se consideran diferentes **escalas espaciales y temporales** desde su implementación hasta su evaluación (Fig.3). En los ecosistemas los procesos ocurren a diferentes escalas de tiempo (horas-días-años), espaciales (centímetros-hectáreas y región) e interactúan con los niveles de organización biológica (individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas). Se presentan procesos fisiológicos a escalas de horas y de unos cuantos m², pasando por el nivel de poblaciones a escalas de 1

a 1000 km² en periodos de tiempo de 1 a 2 años; hasta el nivel de paisaje que ocurre en varios miles de km² después de al menos una década desde el inicio de la restauración [16,21]. El estudio de la restauración a diferentes escalas permite identificar la respuesta de las acciones de restauración y ayuda a responder diferentes preguntas que aportan mayor entendimiento del proceso de recuperación del manglar, así como una apropiada evaluación de su éxito.

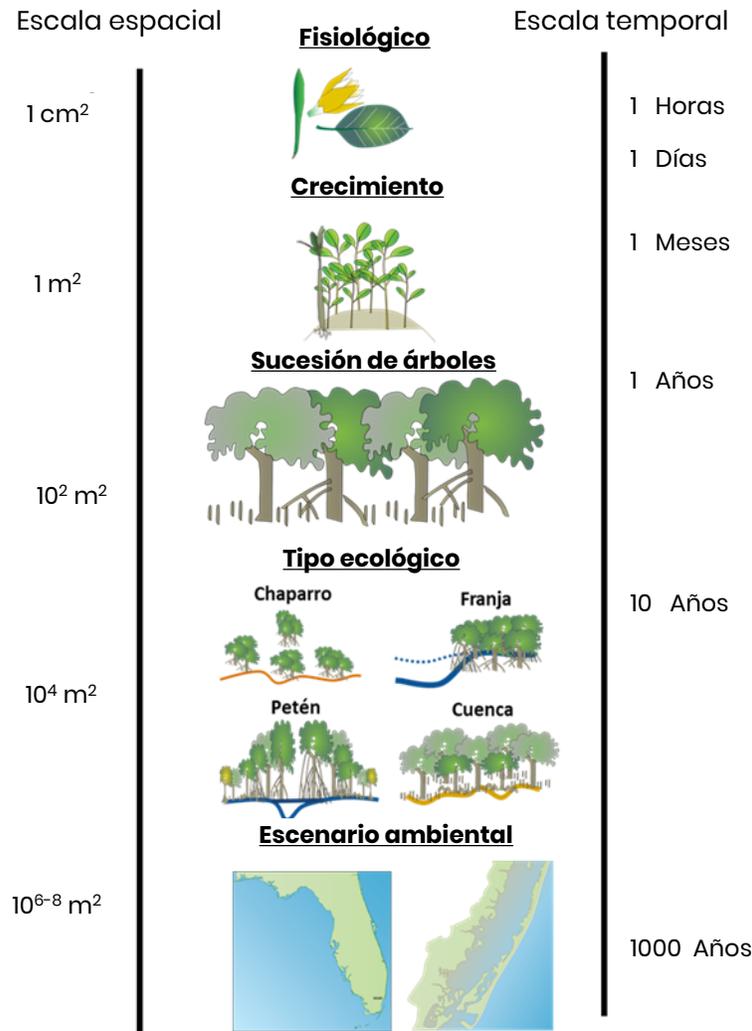


Fig.3 Escalas espaciales y temporales en la restauración de manglar, modificado de [21].

Por otra parte, para un proyecto exitoso **es imprescindible la integración de los componentes social, económico y ecológico** [22]. Su integración resulta en un proceso basado en teorías ecológicas que sustenten y aumenten la probabilidad de éxito de las acciones de restauración; que sea económicamente viable, asegurando la sustentabilidad económica durante todo el proyecto; y que busque el bienestar social y por tanto sea socialmente aceptable (Fig.4). La percepción y participación de la comunidad son fundamentales para la continuidad del proyecto a través de la conservación y man-

tenimiento de las acciones ejecutadas y resultados del sitio. El proyecto de RE debe considerar la integración social desde el inicio del proyecto, al considerar usos y costumbres, tenencia de tierras, conocimiento del sitio y el manejo actual de los recursos naturales del ecosistema. Así mismo, la RE debe considerar el fortalecimiento de la percepción y valoración del manglar a través de talleres de educación ambiental y capacitación para la diversificación de actividades y en algunos casos la participación activa en las acciones de restauración.

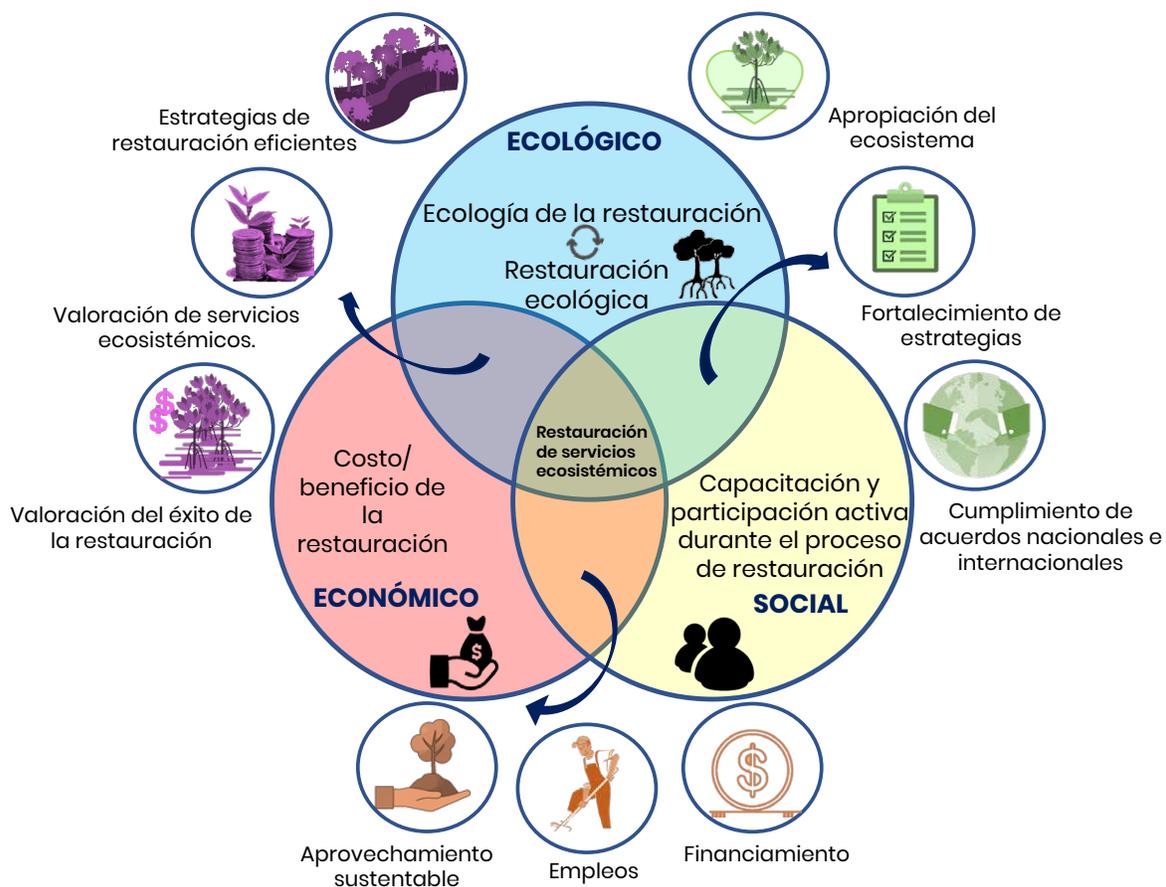


Fig.4 Importancia de la integración de los componentes ecológicos, sociales y económicos durante todo el proceso de restauración ecológica.

1.3 Restauración Ecológica de Manglares

¿Cómo se realiza la restauración ecológica en el mundo?

La restauración de manglares se ha convertido en un esfuerzo mundial creciente. Hasta ahora, la mayor cantidad de proyectos de RE de manglares se han desarrollado en Asia, seguido por América [16]. En estos proyectos la reforestación ha sido la estrategia predominante, sin embargo, la mayoría termina en fracaso y en un gran dispendio económico; debido principalmente a que se realizan sin los fundamentos ecológicos necesarios [15,23,24]. En cambio, el enfoque de **la RE en manglar considera una evaluación previa y restauración del sitio teniendo en cuenta la autoecología de las especies, generalmente a través de la rehabilitación hidrológica que favorezca la regeneración natural** o la reforestación si se identifica como necesaria después de una evaluación del sistema [4,24]. Producto de las experiencias obtenidas de la RE en manglares; se han publicado aspectos teóricos claves para su implementación [24], así como manuales metodológicos detallados que brindan herramientas útiles en campo [25]. Con esta esta guía se busca continuar el fortalecimiento de las estrategias actuales a través de un proceso de aprendizaje y evaluación, así como lograr los objetivos y metas establecidas. **La RE debe realizarse siempre bajo el enfoque de manejo adaptativo**, que permite lidiar con la incertidumbre y complejidad del ecosistema y sí es el caso debido al bajo éxito de las acciones, adecuar las estrategias para mejorar los resultados basándose en la información que resulta del programa de monitoreo [41].

¿Cuánto Cuesta la restauración?

En cuanto al costo de la restauración de manglares en el mundo, se reportan amplios intervalos: 3,000 – 510,000 US \$ ha⁻¹ [26], 225 – 216,000 US \$ ha⁻¹ [27], 1,000 – 100,000 US \$ ha⁻¹ [28] y 40 – 176,000 US \$ ha⁻¹ en América y 1,000 – 67,670 US \$ ha⁻¹ en Asia [16]. La gran variabilidad en **los costos de la restauración se relaciona con: las técnicas usadas, el costo de los materiales, la mano de obra, la accesibilidad al sitio, los talleres de capacitación y el monitoreo, entre otros factores** [16, 26]. Se ha estimado que la recuperación de manglares basados en principios de la RE presenta mejor relación costo-beneficio con respecto a otras técnicas basadas en ensayo-error [27]. En contraste con la reforestación, los costos de la RE, que rehabilita los flujos hidrológicos incrementando la regeneración natural (Tabla 1), no presenta una relación directa con el área a restaurar y permite obtener mayor costo-eficiencia porque reduce el costo de viveros para el cultivo de plántulas y la inversión en su plantación. Otra desventaja de la reforestación es el establecimiento de hábitats monoespecíficos, lo que hace menos resiliente al ecosistema ante impactos, enfermedades e invasión de especies exóticas.

Tabla 1. Promedios del costo de la restauración de manglares a en América.

	Reforestación (US \$ ha ⁻¹)	Restauración hidrológica (US \$ ha ⁻¹)
Promedio	29,000	12,000
Mínimo	182	147
Máximo	470,000	176,000

*No todos los proyectos considerados en el promedio incluyeron el costo de talleres y monitoreo.

2. ESTRATEGIA PROPUESTA

La estrategia para llevar a cabo una exitosa restauración ecológica de manglar se basa en entender la ecología de estos ecosistemas. Significa conocer las relaciones que hay entre la geomorfología, la hidrología, las características estructurales y funcionales del ecosistema de manglar en diferentes escalas espaciales y temporales ^[21,29]. Se debe impulsar la participación y representatividad de todos los sectores como: las comunidades locales (componente social), el grupo científico-técnico (académicos), el componente económico y también legal que incorpora a las autoridades y financiadores durante el proceso de restauración (Fig.4). Se recomienda la implementación de arreglos y acuerdos institucionales o de grupo como resultado de la interacción, lo cual fortalece la gobernanza al dar certeza de las acciones y responsabilidades de cada parte involucrada durante el proceso de restauración y asegu-

ran su sostenibilidad y permanencia del ecosistema restaurado a largo plazo.

Esta estrategia considera planificar **acciones de restauración específicas para cada sitio de acuerdo a sus condiciones locales y regionales**. Incluye los siguientes componentes comunes: a) formación del grupo técnico o de trabajo y delimitación del sitio a restaurar; b) diagnóstico y “ecología forense”; c) plan y acciones de restauración; d) monitoreo del éxito de las acciones de restauración; e) vinculación y socialización; y f) todo lo anterior dentro de un marco de instrumentos de gestión, así como del cumplimiento de los arreglos institucionales que se hagan entre los actores por el tiempo suficiente para que el sistema en restauración sea autosostenible (Fig.5). La difusión y vinculación para el fortalecimiento de las técnicas implementadas a través de las lecciones aprendidas de cada proyecto permite fortalecer las estrategias de restauración ^[2]. Estos componentes se dividen en: planificación, implementación y evaluación del programa de restauración.



Fig.5 Estrategia para la restauración de ecosistemas de manglar ^[2].

2.1. Planificación

La planificación es una etapa esencial para el éxito del proyecto de restauración ecológica e incluye:

2.1.1. Creación del Grupo de Trabajo

Se recomienda que el grupo de trabajo, en la medida de lo posible este integrado por los actores interesados en la restauración, como son: científicos, miembros de la comunidad local, grupos sociales organizados, administradores del sector ambiental y representantes de las fuentes financiadoras. La participación de cada sector representado; académico, sociedad y autoridades y financiadores, desempeña funciones particulares que promueven la correcta implementación de la RE (Fig.6). Sin embargo, no siempre es posible la representación de todos los

actores involucrados al inicio del proyecto. Su participación se puede incentivar a lo largo del proceso de restauración a través de talleres, capacitaciones y la difusión adecuada del proyecto, en la que se resalten los beneficios para cada sector involucrado (Fig.4). Para que las diferentes etapas del proceso de restauración se lleven a cabo, y que el proyecto tenga sostenibilidad en el tiempo, se deben formalizar arreglos entre los participantes del proyecto para mejor coordinación en la ejecución del proyecto (Fig.6). Las responsabilidades de cada miembro del grupo y su nivel de participación deben establecerse al inicio, de manera que los arreglos y acuerdos institucionales o de grupo que se generen, se cumplan durante el proceso de restauración y se favorezca el éxito y su viabilidad en el largo plazo.

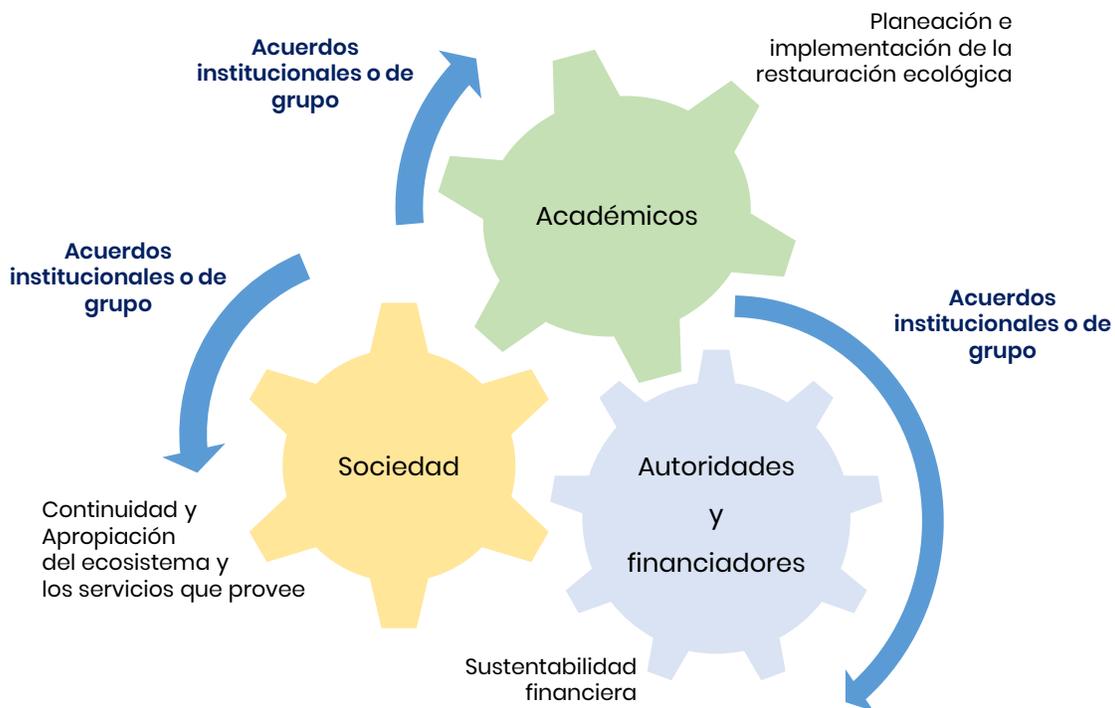


Fig.6 Componentes sociales del grupo de trabajo.

2.1.2 Delimitación del sitio y establecimiento de objetivos y metas.

La elección del sitio a restaurar puede definir el éxito de un proyecto, algunos criterios que se recomiendan para su elección se presentan en la Fig.7. Una herramienta útil para elegir y priorizar el sitio a restaurar por sus potenciales servicios ecosistémicos y otros aspectos es el mapa de restauración potencial de manglar, disponible en: <http://oceanwealth.org/mangrove-restoration/>^[9]. Una vez delimitada el área de trabajo, se establecen objetivos y metas realistas y alcanzables. *Se debe definir lo que se quiere recuperar (procesos ecológicos, estructura, cobertura vegetal, el paisaje, etc.), por qué se quiere restaurar (obtener un beneficio o solucionar un problema), dónde se quiere restaurar, cuándo se va a restaurar, quién va a ejecutar y coordinar las acciones, etc.* Las metas y objetivos deben establecerse a corto, mediano y largo plazo, y dividir la restauración en etapas, para poder evaluar el nivel de desempeño de las acciones de restauración en cada una de ellas. Hay que definir las metas de forma cuantificable, por ejemplo: reducción del 50% de la salinidad intersticial al cabo de un año (Ver historia de éxito 3.1).



Fig.7 Criterios para la elección del sitio a restaurar.

2.1.3 Caracterización del sitio

Previo a la restauración se debe identificar la causa de perturbación del ecosistema y saber cuáles son las condiciones actuales del sitio, también definida como “**Ecología Forense**” [2]. Para ello debe realizarse la **caracterización del sitio a restaurar, además de un sitio de referencia en buen estado de conservación y uno en mal estado o perturbado** (se recomienda estén cercanos al sitio a restaurar). El sitio de referencia conservado representa un estado final deseable de alcanzar tras la restauración. En caso de no haber

disponible un sitio de referencia, los objetivos de la restauración pueden ser establecidos utilizando modelos de tipos de manglar con similares condiciones geomorfológicas e hidrológicas, así como de referencias históricas. Una aproximación novedosa para planificar la restauración a gran escala espacial como la de paisaje, es basarla en las necesidades de la comunidad, combinada con una visión de restaurar los servicios ecosistémicos y funcionar como una solución basada en naturaleza (SbN) [30, 31].

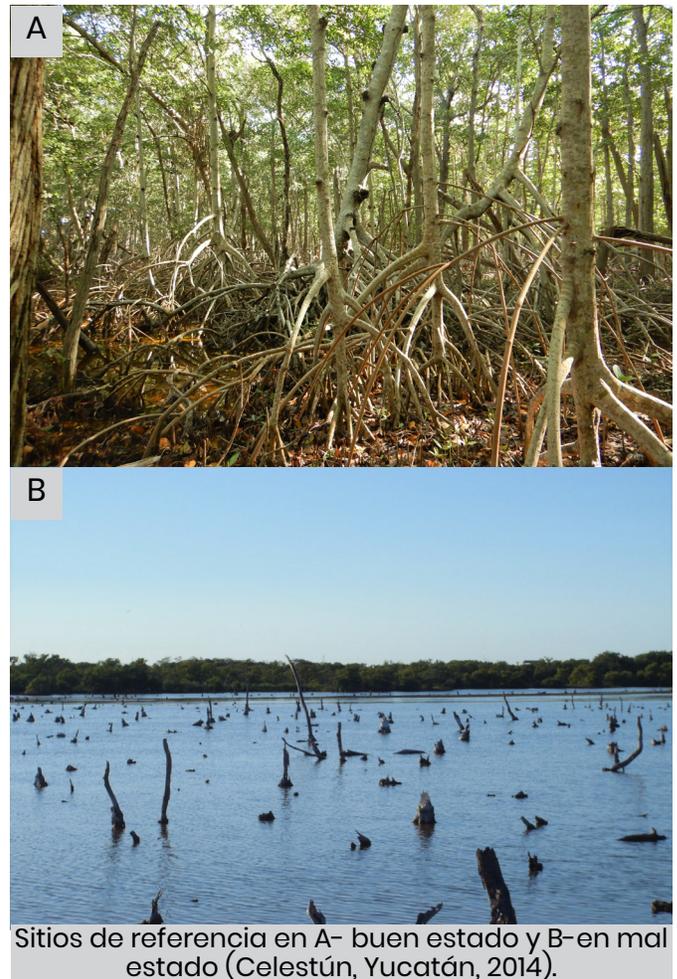
La Ecología Forense identifica las causas de muerte del manglar a nivel local y de paisaje.

Tabla 2. Variables a medir en la caracterización del sitio previo a la restauración.

Topografía	Nivel topográfico (zonas de mayor y menor elevación).
Hidrología	Hidroperíodo (nivel, duración y frecuencias de inundación). Fuente de agua (marina, dulce)
Fisicoquímicas del agua (Superficial e Intersticial)	Salinidad, potencial redox, temperatura, nutrientes inorgánicos (nitratos+nitritos, amonio, fosfatos y silicatos, sulfuros).
Fisicoquímicas de sedimento	Densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total y carbono total.
Vegetación	Composición, densidad, altura, diámetro, área basal, índice de valor de importancia, regeneración potencial (densidad y altura de plántulas y juveniles), densidad y altura de pneumatóforos.

La Ecología Forense inicia con la evaluación a todas las escalas posibles de: las características geomorfológicas, hidrológicas, los proyectos anteriores de restauración (si los hubiera), los impactos antrópicos o naturales (huracanes), así como el contexto social y de las instituciones que tienen atribuciones en el sitio. Además, se debe tener un panorama general del paisaje del sitio, las fuentes de agua, los accesos, etc., para ello se recomienda usar herramientas gratuitas disponibles como “Google Maps”. La información recabada permitirá elegir las acciones de restauración adecuadas y específicas para cada sitio. Las variables medidas durante la caracterización sirven como indicadores de la trayectoria de recuperación del manglar con respecto a los sitios de referencia. Las variables que se recomiendan evaluar tanto en los sitios de referencia, como en el sitio a restaurar se presentan en la tabla 2.

Se debe considerar que la caracterización del sitio es un extenso trabajo de campo, laboratorio y gabinete (Fig.8), por lo que deben considerarse los recursos humanos y económicos, así como el tiempo necesario para su realización. La caracterización debe tomar en cuenta la época climática en la que se realiza, pues es bien sabido que las condiciones am-



Sitios de referencia en A- buen estado y B- en mal estado (Celestún, Yucatán, 2014).

bientales cambian a través del año.

Para más detalle y alternativas en las técnicas de caracterización puede consultar el manual de la CONABIO [32] y el manual de campo para rehabilitadores [20].

Consideraciones durante la caracterización del sitio

- Se deben establecer puntos de muestreo permanentes, los cuales son visitados durante la caracterización e implementación y monitoreo posterior a la restauración (monitoreo post - restauración). Deben ser marcados adecuadamente desde un principio para su correcto seguimiento.
- Siempre debe haber un sistema de control, registro y vigilancia apropiada durante el muestreo, preservación de muestras, análisis y captura de los datos (cadena de custodia).
- Se recomienda realizar los muestreos durante la temporada de sequía o de menor nivel de inundación para un trabajo más eficiente. Así mismo durante esta época planear los muestreos interanuales para el monitoreo.

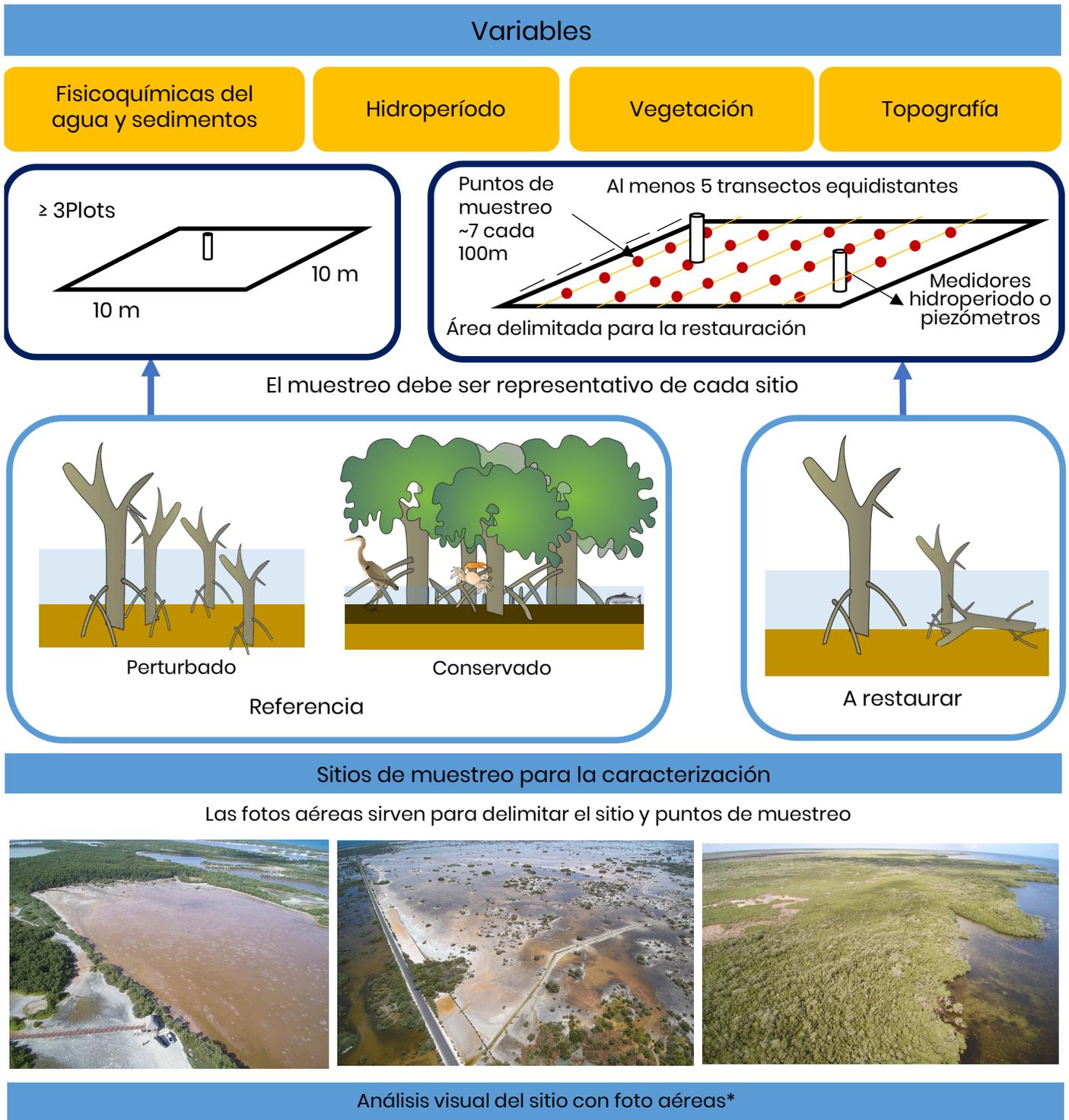


Fig.8 Ejemplo orientativo de diseño de muestreo para la caracterización del sitio en la restauración ecológica. "Google Maps" es una herramienta útil y gratuita para ayudar a dimensionar el área a restaurar. Así como obtener mapas del sitio, ubicando puntos clave (e. g. puntos de muestreo, fuentes de agua).

2.1.3.1 Topografía

La microtopografía permite identificar sitios de mayor y menor nivel de inundación. Esta es información clave para determinar tanto causas de la muerte del manglar o el por qué no hay regeneración natural, así como definir acciones de restauración específicas. Las mediciones deben realizarse tanto en el sitio perturbado como en el de referencia en buen estado, lo que proporciona un marco de referencia en el nivel topográfico. Para realizar la caracterización topográfica se deben seguir los siguientes pasos:

Marcar transectos equidistantes entre sí con puntos de muestreo. Para cada 100 m lineales se recomiendan al menos siete puntos para obtener un modelo topográfico robusto (Fig.8).



En cada punto se mide el nivel topográfico, considerando el inicio del sedimento. (Se puede usar un GPS diferencial o la técnica de la manguera con agua)



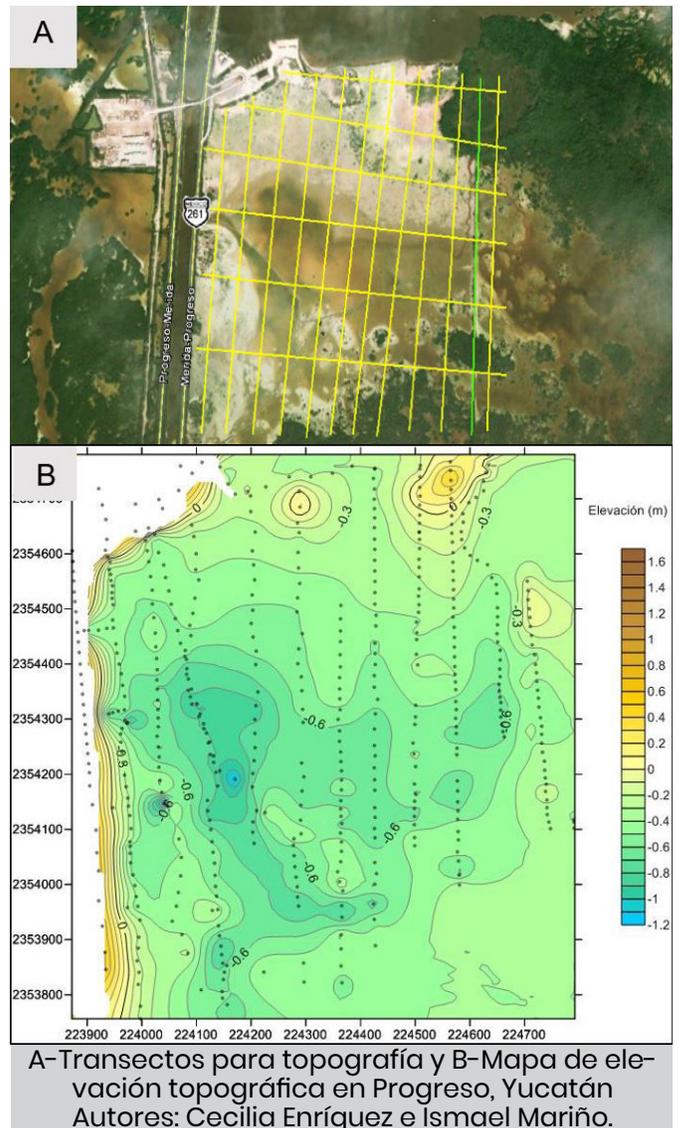
Obtención de curvas de nivel y creación del modelo digital de elevación.



Identificación de zonas de acumulación y de drenaje (micro-cuencas), y dirección de los flujos preferenciales.

Si se dispone de recursos o información para la obtención de la batimetría de los cuerpos de agua que tienen influencia en el humedal, se pueden obtener modelos hidrodinámicos que permitan una rehabilitación hidrológica más eficiente y con mayor probabilidad de éxito. (Ver historia de éxito 3.3)

La microtopografía, la variabilidad espacial y temporal de la salinidad e inundación, son variables determinantes en la composición y estructura de los manglares.



2.1.3.2 Hidrología

La dinámica hidrológica o hidropereíodo, *se determina por el nivel de agua, frecuencia y duración de la inundación*. Este proceso regula desde el crecimiento individual de la planta hasta el desarrollo de la comunidad biológica y los aspectos paisajísticos del manglar ^[33]. A escala local controla otras variables, como la salinidad, la disponibilidad de nutrientes en el sedimento y el potencial redox.

Para medir esta variable se pueden usar medidores automáticos de presión. Si se cuenta con suficientes equipos pueden instalarse en zonas de alto (relleno) y bajo nivel (poza inundada) topográfico. Se programan para tomar datos cada cierto tiempo (de minutos a horas) de acuerdo con la variación del nivel del agua hasta por 30-40 días, para una primera aproximación. Posteriormente, los sensores se dejan en los mismos sitios, ya que servirán para medir el éxito de la restauración haciendo mediciones repetidamente. Si no se cuenta con equipos automáticos, pueden instalarse piezómetros y realizar mediciones periódicas (de acuerdo con la frecuencia de variación del nivel del agua y los recursos disponibles). El proce-

so de instalación de los medidores automáticos de presión consiste en la perforación de cavidades verticales en el suelo que permiten introducir tubos de PVC de 3 pulgadas, que tienen perforaciones en la parte inferior y están cubiertos con una malla para evitar el ingreso de sedimentos como se ilustra en la Fig.9. Las cavidades también se pueden usar para medir con una regla los niveles de agua dentro y fuera del tubo. La frecuencia de mediciones la determina los recursos para las campañas de campo.

Otro aspecto para considerar en la hidrología del sitio son las fuentes de agua al sitio (i.e. dulce o marina, superficiales o subterráneas); estas deben ser representadas en un mapa, para entender su influencia en la hidrología del sitio, así como identificar si hay obstrucciones en el flujo de agua superficial o subsuperficial; esto permitirá identificar las acciones pertinentes para el plan de restauración.

El hidropereíodo regula diversos procesos en el manglar en diferentes escalas espaciales y temporales.



Fig.9 Colocación de medidores automáticos de presión en el sitio de referencia y degradado.

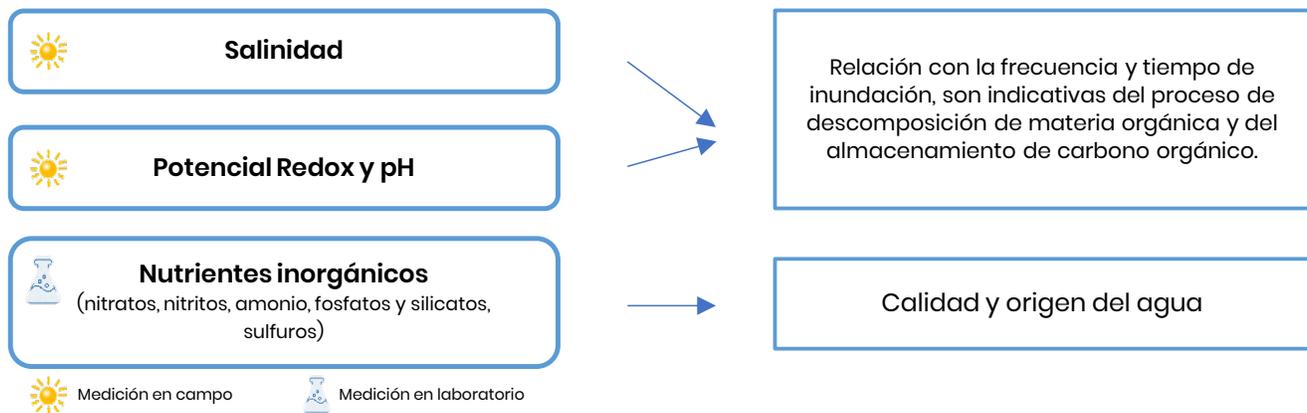
2.1.3.3 Físicoquímica del agua

Los parámetros físicoquímicos del agua intersticial son reguladores del desarrollo, establecimiento y estructura del manglar. Su medición permite determinar el grado de perturbación del sitio y establecer la línea de referencia para determinar el éxito en las acciones de rehabilitación.

En cada punto de muestreo se debe coleccionar agua del sedimento (intersticial)

y en caso de haber agua superficial, también se colecta.

Para la extracción del agua intersticial puede usarse un tubo de acrílico de 5 mm conectado a una manguera y a una jeringa al extremo. El tubo debe ir perforado en el extremo que se introducirá en el sedimento, se usará a modo de sifón a una profundidad de aproximadamente 40 cm, o en su caso instalar un piezómetro el cual se queda fijo. Las mediciones por obtener de la muestra son las siguientes:



La salinidad puede ser medida con un refractómetro o bien con un sensor multiparamétrico. El potencial redox mide el flujo de electrones durante el proceso de óxido-reducción de la materia orgánica, para su medición se puede usar un potenciómetro de campo. Para los nutrientes inorgánicos disueltos en agua, se obtiene una muestra en botellas de plástico inerte, las cuales deben mantenerse en frío hasta su análisis en el laboratorio. La descripción detallada de las técnicas de análisis se puede consultar [34] [35].



Medición de variables físicoquímicas del agua. A-Obtención de salinidad intersticial. B-Medición de salinidad con un refractómetro y C-usando un sensor multiparamétrico. D-Medición de potencial redox y pH con un potenciómetro de campo y E-Medición de redox con varillas de cobre, un voltímetro y un electrodo de platino.

2.1.3.4 Físicoquímica de los sedimentos

Las características físicoquímicas de los sedimentos permiten integrar condiciones hidrológicas, geológicas y biológicas que intervienen en las características ecológicas de los manglares. Así mismo, están relacionadas con la fertilidad del sedimento y permiten determinar si el sedimento es adecuado para el establecimiento exitoso de las plántulas.

Dependiendo del tamaño de área será el número de núcleos que se deben de coleccionar, se requieren un mínimo de 3 núcleos por sitio (referencia en buena y mala condición, a restaurar con sus réplicas). Para ello puede usarse un dispositivo de metal o de PVC de 50 cm de largo y 5.5 cm de diámetro. Las muestras coleccionadas deben conservarse en bolsas plásticas con cierre y deben permanecer en frío hasta su análisis en el laboratorio, los análisis a realizar son los siguientes:



 Observaciones en campo:
Color, grosor de capa de materia orgánica



Análisis laboratorio:
Densidad aparente
Materia orgánica
Carbono total, nitrógeno total y fósforo total



Obtención de núcleos de sedimento con dispositivo de A-PVC y B-metal

2.1.3.5 Vegetación

Respecto a la vegetación, la estructura de la comunidad debe ser evaluada tanto en el manglar de referencia en buena y mala condición, así como en el sitio a restaurar. Para realizar la caracterización de la vegetación deben establecerse al menos tres parcelas de 10 X 10 m en los sitios de referencia, representativas de cada tipo de manglar en la zona. En el sitio a restaurar se considerarán parcelas de 10 X 10 m solo en los puntos de muestreo que haya vegetación presente (fustes o troncos muerto).

Sí sólo hay pequeños parches de vegetación estos se considerarán según se encuentren en cada punto de muestreo. En todas las parcelas se medirán los atributos estructurales sugeridos para estudios de manglar ^[36] y la regeneración potencial (densidad y altura de plántulas y juveniles). Los atributos se describen en la Fig.10.

La estructura de la vegetación del sitio de referencia en buena condición, indica que especies crecen naturalmente, edad y madurez del sitio antes de la perturbación.

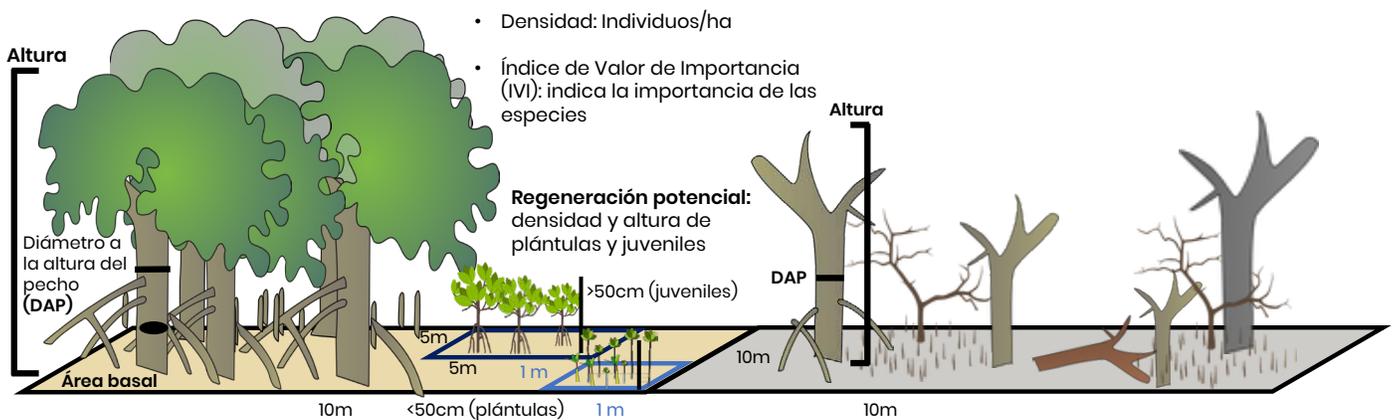


Fig.10 Atributos estructurales de la vegetación en el sitio de referencia y a restaurar.

En el caso de los manglares dada su extensión y características de accesibilidad, no siempre es posible hacer una evaluación "in situ" suficientemente extensa. **La percepción remota es una herramienta que permite realizar el análisis espacial basado en la detección y evaluación cuantitativa de unidades del paisaje** y así diferenciar unidades territoriales dominantes y los principales factores asociados a nivel del paisaje.

Las mediciones "in situ" de la estructura de la vegetación y las herramientas de teledetección, contribuyen a identificar con mayor certeza los agentes que intervienen en los procesos que definen las unidades espaciales. También, los vehículos no tripulados (drones) son una valiosa herramienta para obtener información durante la caracterización, así como el seguimiento de la trayectoria de la restauración.

2.2 Implementación

Antes de iniciar con las acciones de restauración se debe definir un plan de acción que incluya tanto las acciones de restauración, como de monitoreo. El plan de acción incluye las especificaciones de: qué, dónde, cómo y cuándo se ejecutan las acciones y los costos que implica cada una de ellas; el monitoreo permite evaluar si las acciones implementadas resultan adecuadas o hay que realizar modificaciones de acuerdo con las metas y objetivos planteados por el grupo de trabajo. **La implementación de las acciones de restauración se realiza por medio de la ingeniería ecológica**, por métodos de construcción que estén adaptados a mejorar el funcionamiento del ecosistema^[37]; tales como las modificaciones to-

pográficas o la apertura de canales que restablecen los flujos hidrológicos y que permiten el establecimiento natural de las especies de manglar. La aplicación de acciones basadas en la ingeniería ecológica permite disminuir los tiempos de respuesta y de mantenimiento de las mismas.

Es importante considerar que **cada proceso de implementación es como “un traje hecho a la medida”** “sitio específico-acciones específicas”, por lo que copiar y/o trasladar acciones de forma directa de un sitio a otro sin el debido proceso de análisis, lleva al fracaso y a la baja costo-eficiencia de las acciones. Por tanto, las acciones de restauración deben basarse siempre en la información recabada durante la caracterización del sitio.



Regeneración natural en centros de dispersión en Sian Ka'an, Quintana Roo, 2018.

2.2.1 Acciones de restauración

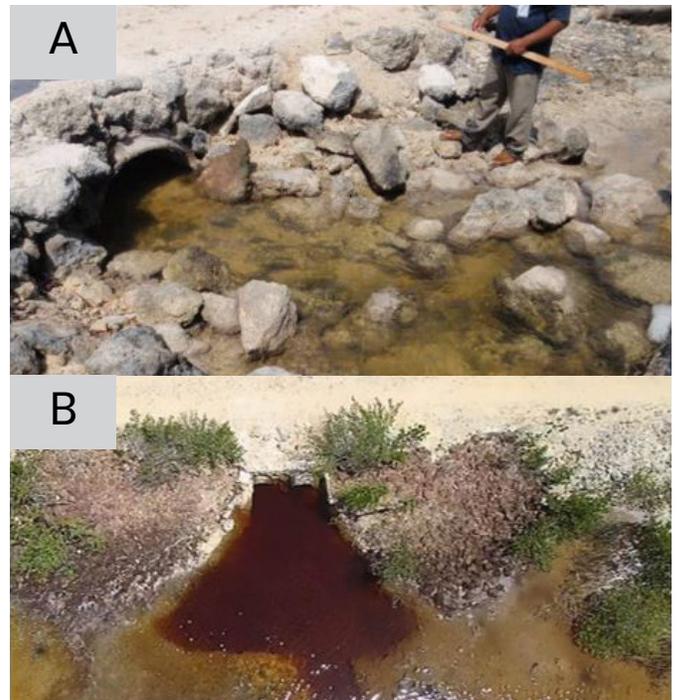
Las acciones de restauración son en general un conjunto de obras y actividades que se realizan con la participación de miembros de la comunidad local que han estado involucrados desde la fase de planeación. También participan profesionales especializados, y las acciones son supervisadas por miembros del grupo técnico. Las acciones específicas se basan en los resultados de la caracterización del sitio a restaurar y los de referencia (buena y mala condición). Se deben establecer metas y tiempos de cumplimiento de las diferentes acciones de restauración. Además, se deben **llevar bitácoras de actividades, verificación de acciones y registro fotográfico como mecanismos de control**. Es recomendable que la comunidad participe en las acciones de restauración, lo que les permite involucrarse de manera activa en el proyecto y con ello fortalecer la valorización del ecosistema y de los resultados de la restauración. La participación de la comunidad local debe ser integral y considerada como un proceso de largo plazo. Se recomienda identificar miembros de la comunidad que además de ser proactivos favorezcan la agrupación y coordinación. A estos miembros se le ha llamado “champions o campeones de la comunidad”. Las acciones de restauración que se sugieren en esta estrategia se describen a continuación. Otras técnicas pueden ser consultadas en el manual de campo para rehabilitadores ^[25].

2.2.1.1 Desazolve de pasos de agua

La construcción de carreteras es una de las principales causas del cambio en la hidrología en el manglar. En la construcción suelen diseñarse pasos de agua que regularmente son ineficaces, ya que

no permiten el intercambio del flujo de agua. Por lo que **es necesario construir o bien, adecuar los canales de conexión ya existentes con el humedal, o zona conservada, hacia la zona de manglar perturbado para el libre flujo de agua entre ambos**.

Se sugiere que los pasos de agua tengan forma de “V” invertida a partir del punto de conexión del paso de agua, con longitud de aproximadamente 5 m. Esta estrategia tiene como objetivo la distribución y alcance del agua que pasa por estas estructuras sea lo más amplio desde el punto de vista espacial. Se debe considerar una profundidad tal que permita asegurar el flujo de agua aún en mareas bajas y época de estiaje. Estas medidas son orientativas y deben adecuarse en función de la intensidad de los flujos de agua y la variación de la marea específicos del área a restaurar (Ver historia de éxito 3.2).



A-Paso de agua obstruido; B-Paso de agua desazolvado en forma de “V” invertida para la mejor distribución del agua. Sian Ka’an, Quintana Roo.

2.2.1.2 Reubicación de material orgánico

Es probable que, tanto por eventos naturales como por los impactos de actividades antrópicas y acciones de restauración previas no exitosas, sea necesario reubicar restos de vegetación muerta y todo aquel obstáculo que permanezca en el área objeto de la restauración. Estos materiales podrían limitar o restringir el libre flujo de agua superficial en los canales desazolvados y/o rehabilitados. El destino final del material orgánico debe ser al interior del área de restauración para que continúe su proceso de descomposición y aporte nutrientes al suelo, pero sin interrumpir los flujos de agua. **Este material orgánico y los sedimentos serán utilizados para proporcionar heterogeneidad topográfica al sitio en restauración, así como relleno en las zonas de bajo nivel topográfico.** Un ecosistema heterogéneo favorece el repoblamiento por diferentes especies, promueve la sucesión secundaria y proporciona mayor resiliencia después de un impacto, en comparación con uno homogéneo (e.g. reforestaciones monoespecíficas).



Remoción de materia orgánica en el sitio a restaurar.

2.2.1.3 Desazolve de canales de marea naturales

Esta acción se podrá iniciar una vez que se hayan identificado cuáles son los canales de marea naturales del sitio como resultado del análisis de imágenes, fotos, prospección y muestreo de campo, o con el levantamiento topográfico. Se pueden hacer trazos de sus trayectos en fotos obtenidas en Google Earth (Ver 3.2). Se recomienda que el ancho y profundidad de los canales imite la configuración natural de cada sitio con el objetivo de proporcionar heterogeneidad y que el flujo-reflujo del agua no erosione con facilidad sus paredes; esto reducirá la frecuencia del mantenimiento.

Se debe procurar seguir las trayectorias originales de los canales (“zig-zag”), para aumentar las probabilidades de mejorar la circulación del agua, y reducir los esfuerzos de mantenimiento.



Desazolve de canales naturales (Progreso, Yucatán).

2.2.1.4 Habilitación de canales nuevos

Es probable que a consecuencia de la perturbación y del tiempo, la configuración topográfica haya cambiado en el área de restauración. Los recorridos de campo, ayuda de imágenes aéreas, levantamiento de la topografía, identificación de la fuente o fuentes de agua, así como de los modelos de flujos preferenciales, permitirán identificar las “rutas” más apropiadas para la habilitación de nuevos canales; estos permitirán aumentar el flujo de agua hacia la zona de restauración. Las obras para habilitar estos nuevos canales deben tomar en consideración la eficiencia en el intercambio de

agua, para que su tiempo de residencia se relacione por una parte con las mareas, y por otra con las escorrentías de agua dulce desde el continente. Mantener la circulación del agua aumenta las probabilidades de que los nuevos canales funcionen adecuadamente. Al igual que la rehabilitación de canales existentes, se recomienda que los canales tengan forma de “zig-zag”. El sedimento que se remueve para la creación de los canales debe ser rastrillado hacia los extremos o bien, si es necesario, utilizarse para rellenar sitios de menor nivel topográfico que así lo requieran, o para la creación de centros de dispersión.

El sedimento resultante en los bordes de los canales construidos/ rehabilitados debe ser nivelado para permitir el libre flujo del agua del canal hacia los laterales.



Canales en “zig-zag” habilitados (Progreso, Yucatán).



A- Canales con los bordes nivelados para permitir el flujo del agua a las zonas adyacentes. B- Canales con acumulación de sedimentos en los bordes resultado de su elaboración. Progreso, Yucatán.

2.2.1.5 Acondicionamiento de centros de dispersión

Los centros de dispersión (CD) son áreas delimitadas y modificadas topográficamente para la elevación del nivel a través de la disposición de sedimento en montículos retenidos por mallas u otro material. El objetivo principal de los CD es favorecer condiciones de inundación adecuadas para el establecimiento exitoso de plántulas. Su implementación ha producido resultados prometedores a un costo relativamente bajo, cuando la meta es inducir la regeneración natural a una escala de decenas a centenares de hectáreas ^[38]. Los CD son recomendados

Los centros de dispersión presentan condiciones hidrológicas y de sedimentos favorables que, aumentan el éxito en el establecimiento de las plántulas.

en sitios donde el nivel de inundación es mayor la altura promedio de plántulas y propágulos al momento de su establecimiento. Estas alturas pueden ser de 0.3 a 0.6 msnm en donde la oscilación de la marea es muy baja (<1m), o pueden ser de hasta más de 1 m donde es mayor la oscilación de la marea o la inundación. La salinidad intersticial puede variar entre < 5 a 70 g/kg y el tipo de sedimento dependerá de la región, pero se debe procurar que tengan buen drenaje, por lo que los sedimentos con alto contenido de limo y/o arcilla se pueden mezclar en un 20-30% con arenas. Estas características permiten que los CD tengan mayor estabilidad con respecto a su altura y que las condiciones de salinidad sean propicias para el establecimiento de plántulas. Su altura debe ser igual o 5-10 % menor a la altura de máxima inundación del sitio a restaurar, por lo que la información del diagnóstico del área de referencia es básica para definir con precisión este tipo de variables.



A-Centros de dispersión con reforestación. B- con regeneración natural en Sian Ka'an, Quintana Roo.

El número, densidad y ubicación de centros de dispersión se debe decidir de acuerdo con la extensión y condiciones iniciales del área a restaurar, tomando en cuenta la topografía y los flujos preferenciales, así como la disponibilidad y flujo de recursos económicos. Se recomienda que los centros de dispersión representen heterogeneidad topográfica (diferentes niveles topográficos, no todos a la misma altura) (Fig.11), con lo cual se obtienen diferentes niveles de inundación, favoreciendo que la repoblación de plántulas de manglar sea de acuerdo con su toleran-

cia al nivel de inundación, tal como ocurre naturalmente en el ecosistema dadas las variaciones microtopográficas. Los centros de dispersión también pueden servir como centros de reforestación, lo cual permitirá a través de la restauración activa acelerar el proceso para la recuperación de la estructura vegetal (Ver 3.2). Cualquiera de las alternativas debe estar en concordancia con los acuerdos y arreglos institucionales y de grupo, así como con los objetivos y metas planteadas al inicio de la restauración.

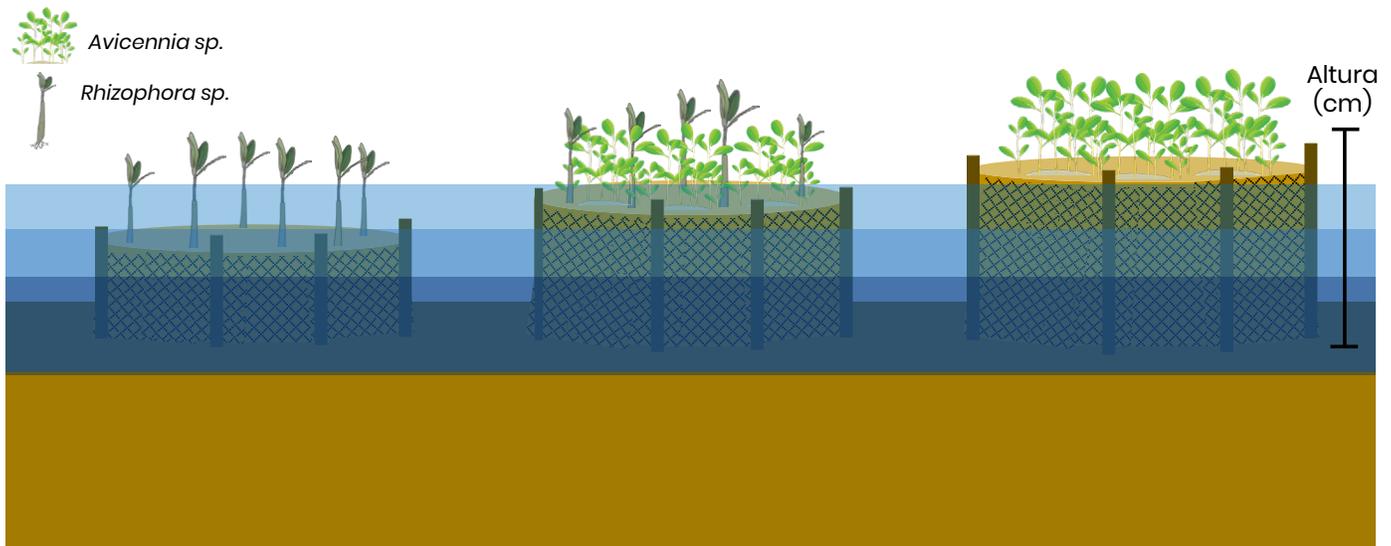


Fig.11 Ilustración de centros de dispersión con diferente nivel topográfico para generar mayor heterogeneidad en el paisaje.

2.2.1.6 Reforestación

La reforestación ha sido la técnica más empleada mundialmente para proyectos de restauración de manglar [16,23,39]. Sin embargo, si esta acción se realiza sin un adecuado análisis de las condiciones ambientales en las que se encuentra el sitio, puede terminar en un desperdicio de recursos y esfuerzo, sin resultados exitosos. Por esta razón, la reforestación se recomienda solo si hay limitación de propágulos,^[24] siempre y cuando las condiciones de inundación, fisicoquímicas del agua y los sedimentos sean adecuadas para el mayor éxito de las plántulas sembradas. Si las condiciones no son adecuadas, deben realizarse las acciones de restauración pertinentes antes de la plantación. La reforestación puede acelerar la recuperación de la estructura y funciones del manglar y su implementación puede servir como estrategia para el involucramiento social en el proyecto. Sin embargo, esta debe realizarse sólo si los objetivos del proyecto así lo ameritan.

Para su realización se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El origen del material vegetal para restaurar debe ser recolectado de las zonas conservadas aledañas al sitio (puede ser el sitio de referencia en buen estado) y considerando su composición para la elección de las especies.

- Se recomienda obtener el material de puntos no contiguos, separados por al menos 20 m para propiciar una mayor diversidad genética al evitar tomar todos los propágulos del mismo individuo o de parientes cercanos.

- Los propágulos y semillas colectados en campo se pueden mantener en contenedores de paredes abiertas o permeables y dentro del agua del sistema en niveles que no inunden o ahoguen el material biológico, pueden estar o no en bolsas, nuestra recomendación es sin bolsas.

En la experiencia de los autores, no recomendamos los viveros, no sólo por los costos de construcción y mantenimiento, sino porque el material biológico pasara de un ambiente controlado “consentido” a un ambiente de exigencias fisiológicas por la exposición a luz, temperatura y salinidad. Es por ello por lo que, el material biológico recolectado tiene mayores probabilidades de sobrevivir en las condiciones de reforestación.



A-Adecuación del sedimento para la plantación a través de participación ciudadana en Celestún, Yucatán. B-Siembra de plántulas de mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en Chelem, Yucatán.

2.3 Evaluación

2.3.1 Monitoreo de la restauración

Todo proyecto de restauración debe incluir un programa de monitoreo que sirva como evaluación de las acciones de restauración. En proyectos de restauración ecológica se sugiere un mínimo de 5 años de monitoreo [1], pero la restauración de humedales puede llevar un tiempo más largo > 10 años [40]. Para ello, se seleccionan variables específicas que funcionen como indicadores de éxito para los programas de restauración (características fisiológicas, hidrológicas, estructurales de la vegetación, del paisaje, variables fisicoquímicas del sedimento, diversidad de organismos, ecológicas o funcionales entre otras; Tabla 2). Estas variables deben ser medidas tanto en el sitio restaurado como en los de referencia, su seguimiento permite, en caso de requerirlo, realizar cambios en el tipo de acciones por el bajo nivel de éxito de las metas propuestas inicialmente siguiendo el enfoque de manejo adaptativo [41].

Las variables de monitoreo tienen diferentes tiempos de respuesta (Fig.13), por lo que **la frecuencia de muestreo se relaciona con la naturaleza de las variables, el avance del proceso de restauración y los recursos disponibles (humanos y materiales)**. Se recomienda que la frecuencia de muestreo sea de cada 3 - 6 meses durante el primer año, y a partir del segundo, este sea como mínimo anual. Los cambios de las variables a través del tiempo deben analizarse con respecto a los sitios de referencia, para tener una aproximación de la trayectoria y velocidad de la recuperación (Fig.12) (Curvas de funcionamiento) [29].

Recomendaciones para el monitoreo

- Los puntos de muestreo establecidos durante la caracterización serán los mismos en el monitoreo. Los datos de la caracterización serán tomados como del tiempo 0.
- El monitoreo de la vegetación en el sitio restaurado comienza con la aparición de plántulas y se mide en cuadrantes de 1x1 m, cuando estas alcanzan la talla de juveniles los cuadrantes se incrementan a 5x5 m. Una vez que los individuos se convierten en adultos las parcelas son permanentes y su tamaño es de 10 x10 m.
- Cuando se observan plántulas en el sitio en restauración, de deben realizar las mediciones de reclutamiento, supervivencia y crecimiento también en el sitio de referencia.

El éxito de la restauración se observa a diferentes escalas espaciales y temporales, por lo que es necesario establecer indicadores de éxito a corto, mediano y largo plazo.

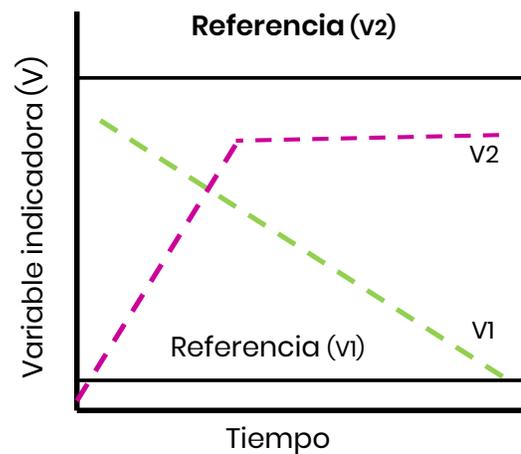


Fig.12 Ejemplificación de monitoreo de variables indicadoras de éxito a través de curvas de funcionamiento en la restauración ecológica.

Indicadores de Éxito en la Restauración Ecológica

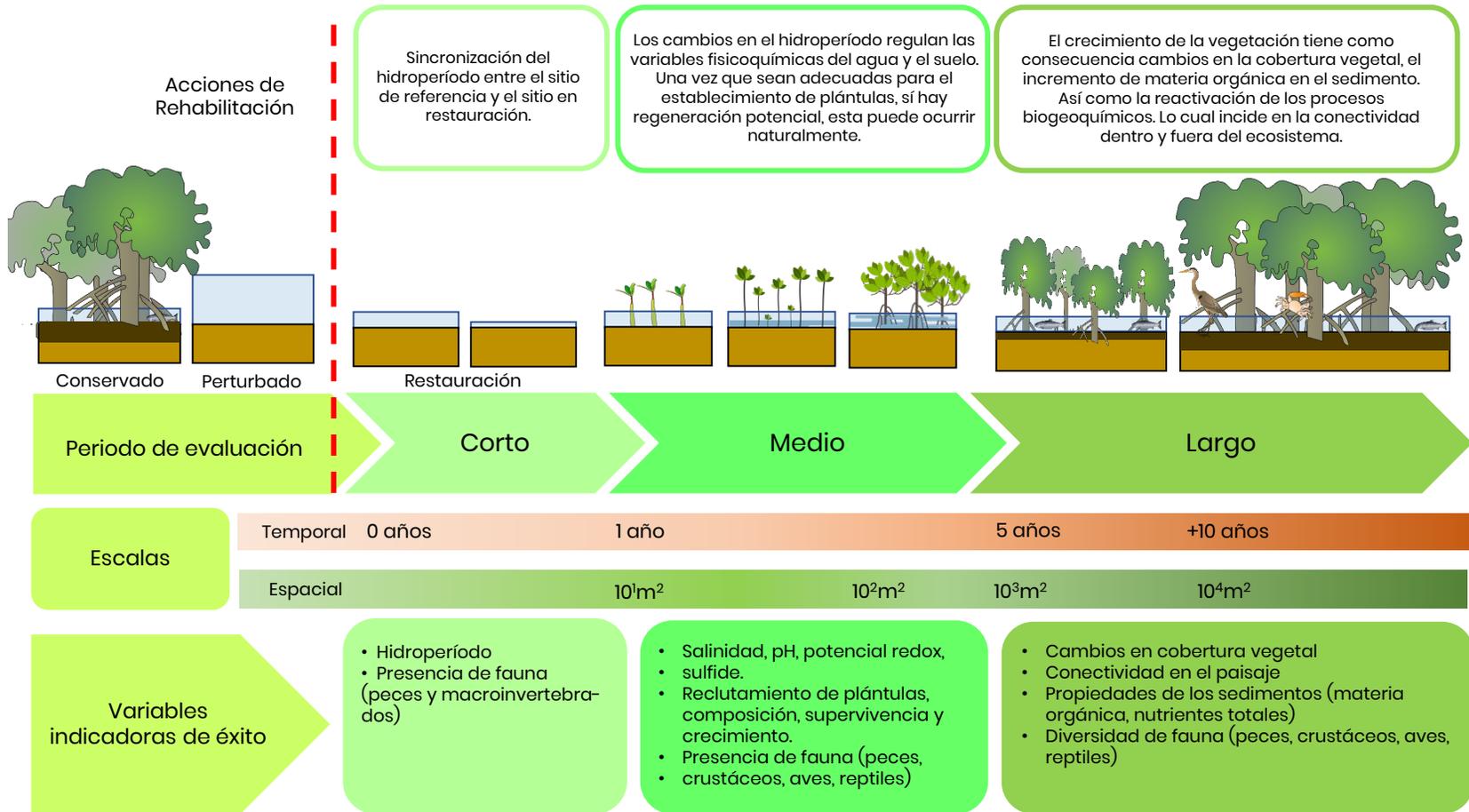


Fig.13 Modelo simplificado de monitoreo de variables indicadoras de éxito en la restauración ecológica de manglares de corto, medio y largo plazo.

2.4 Vinculación y Socialización

Para una restauración ecológica exitosa el componente social es imprescindible y su participación debe estar incluida en cada fase del proyecto. El proyecto debe ser presentado y discutido con los usuarios, beneficiarios directos e indirectos de la restauración, ejecutores de las diferentes acciones, financiadores y autoridades. Un aspecto para resaltar es el apoyo y orientación que se debe proporcionar a los participantes que vivan en los alrededores del sitio impactado.

Es deseable que se apropien del proyecto de restauración, asegurando su participación efectiva y que los resultados sean sostenibles a través de diversificar sus actividades en el largo plazo (Fig.14). Para ello, se recomienda la participación de especialistas en las ciencias sociales que permitan una mayor integración de la sociedad; a través de talleres y capacitaciones para la diversificación de actividades que permitan el aprovechamiento sustentable del ecosistema, así como para la evaluación del impacto social del proyecto.

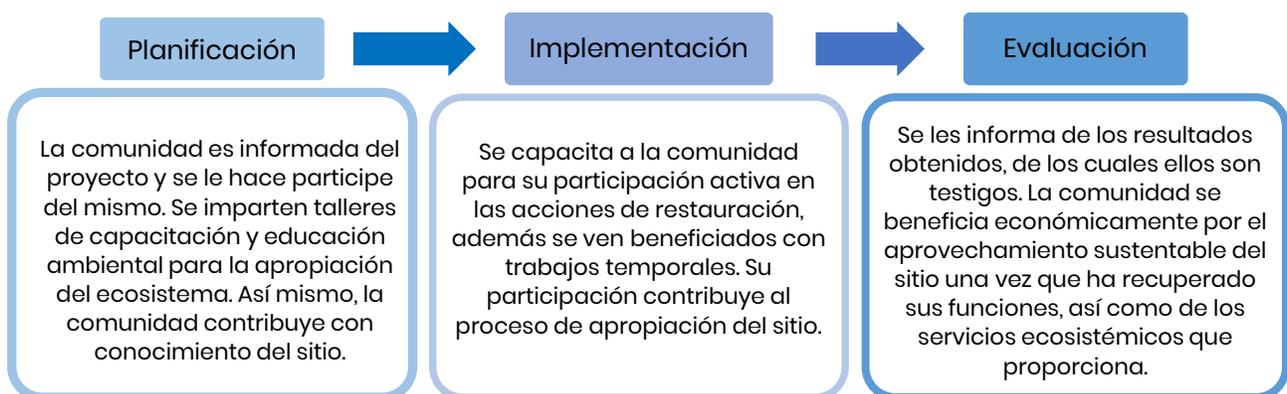


Fig.14 Participación social durante todo el proceso de Restauración Ecológica.

En este contexto es que la RE forma parte de las acciones incluidas en la adaptación basada en ecosistemas, ya que considera un aprovechamiento por parte de la sociedad; lo que significa la modificación de la interacción entre los sistemas socioeconómicos y ecológicos, de manera que ambos salgan beneficiados.

Las experiencias obtenidas de cada proyecto, son una fuente valiosa de información, tanto las buenas experiencias como aquellas que no han dado los resultados esperados deben reportarse para evitar caer en los mismos errores de otros

proyectos y/o replicar los métodos que si han funcionado con sus adaptaciones locales. La difusión de los resultados es fundamental para el fortalecimiento de las estrategias de restauración actuales. Ésta puede ser a través de documentos de investigación, de difusión en redes sociales, capacitación formal e informal, monitoreo comunitario, establecimiento de grupos organizados coordinados por grupos técnicos. Este componente del proceso es uno de los que aumenta las probabilidades para que el sitio restaurado forme parte de los activos ambientales o capital natural de la comunidad.



Diferentes mecanismos de socialización, formales e informales del proceso de restauración ecológica de manglares, y presentación de resultados.

3. HISTORIAS DE ÉXITO

3.1 Celestún

Grupo de trabajo:

CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Yuc, Ducks Unlimited de México, A. C. (DUMAC) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); con fondos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y

de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONA-BIO). Grupo de pobladores (Manglares de Dzinitun).

Extensión restaurada: 112 ha



Celestún, Yucatán, antes de las acciones de restauración.

Objetivo	Metas	Criterio	Indicador	Variables
Restaurar las condiciones ecológicas del manglar perturbado a través de acciones que le ayuden a la auto sustentabilidad.	Sincronizar las variaciones del nivel de agua entre el canal construido y el manglar en restauración.	Conectividad hídrica.	Hidrología.	Frecuencia, nivel y duración de la inundación.
	Reducir al 50% de la salinidad intersticial inicial.	Parámetros fisicoquímicos del agua.	Reducción de salinidad.	Salinidad intersticial y del agua superficial.
	Favorecer la regeneración natural en un periodo de 18 meses.	Reclutamiento natural y estructura de la vegetación.	Establecimiento, supervivencia y crecimiento.	Densidad de plántulas composición de especies altura y diámetro.

Diagnóstico:

La causa de muerte del manglar fue la construcción de la carretera principal para ingresar al pueblo de Celestún desde tierra. Este camino interrumpió el flujo de agua superficial provocando el incremento de la salinidad intersticial ($> 100 \text{ g/kg}$) durante periodos largos, mientras el sitio de referencia presenta un valor promedio de 61 g/kg . Además de suelos reducidos por periodos largos de inundación.

Acciones de restauración

La acción principal de restauración fue la construcción de un canal con una longitud de $1,576 \text{ m}$, con 3 m de ancho y de $0.8 - 1 \text{ m}$ de profundidad. Este canal conectó el cuerpo de agua lagunar con la zona impactada con el objetivo de rehabilitar la hidrología (hidroperíodo) de dicha zona. Las comunidades y grupos organizados participaron activamente en la definición y ejecución de las acciones.

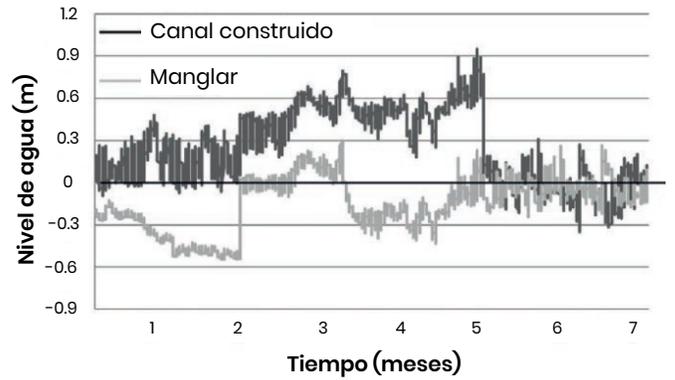
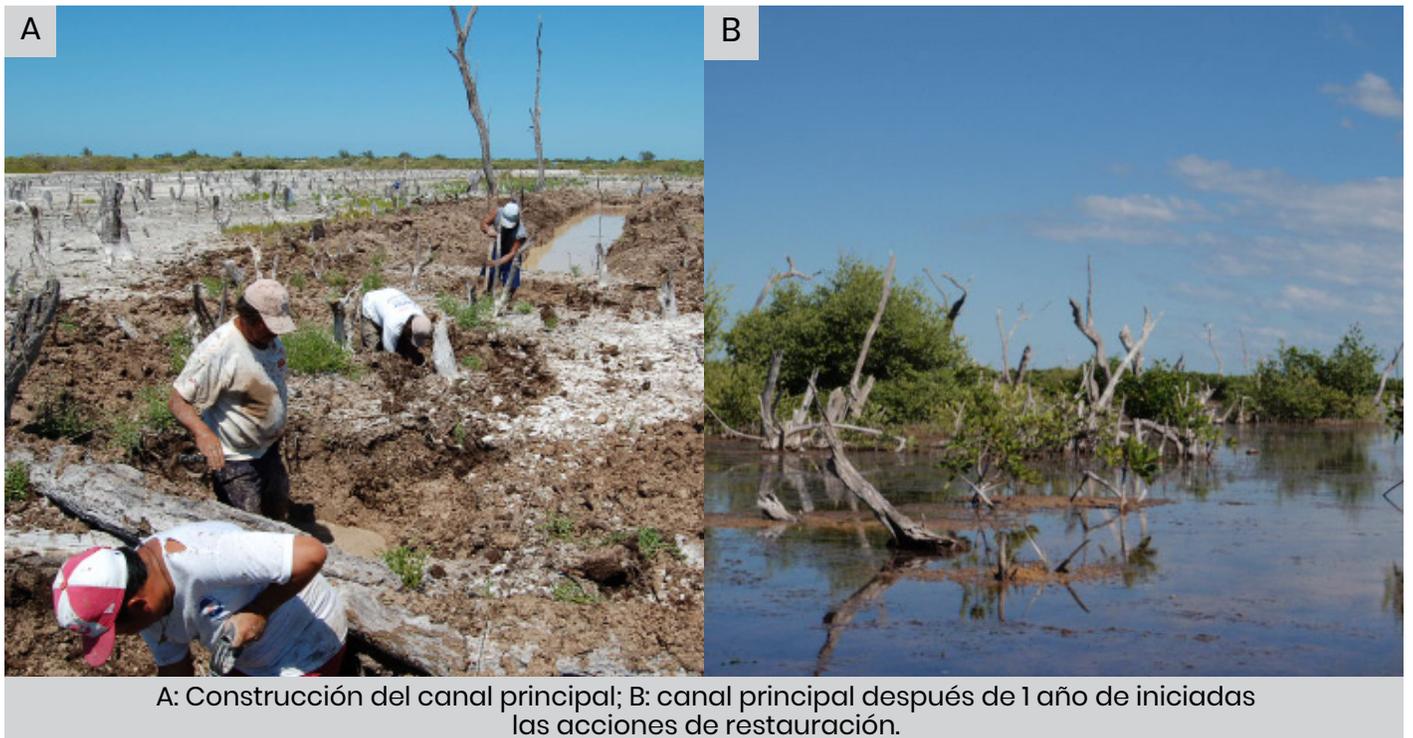


Fig.3.1.1 Sincronización del nivel de inundación después de las acciones de restauración. El cero indica el nivel del sedimento [2].



A: Construcción del canal principal; B: canal principal después de 1 año de iniciadas las acciones de restauración.

Evaluación

La salinidad se redujo paulatinamente a un promedio de 45.2 g/kg (Fig.3.1.2 A). Después de las acciones de rehabilitación hidrológica se establecieron de manera natural *Batis marítima* y *Salicornia virginica*, especies que funcionan como “facilitadoras”, al colonizar el suelo desnudo, disminuir la salinidad intersticial, aumentar la concentración de nutrientes y retener propágulos de mangle [42]. Se establecieron las 3 especies de manglar naturalmente (Fig.3.1.2 B, C). Cinco años después de la restauración, la cobertura vegetal aumentó en un 60%, principalmente se establecieron *Rhizophora mangle* y *Laguncularia racemosa* [16]. Así mismo, el manglar recuperó sus funciones, ejemplo de esto fue la presencia de peces que ocuparon el manglar en restauración como área de crianza y alimentación [43].

A través de todo el proceso de restauración se impartieron talleres de sensibilización y capacitación. Como resultado, el grupo de pobladores que participó en la construcción del canal se organizó en una sociedad civil (“Manglares de Dzinitún”) para prestar servicios de ecoturismo con diferentes actividades en los sitios restaurados. Esto garantizó la continuidad en la conservación del sitio, además de la visualización de los resultados del proyecto [2].



Aprovechamiento sustentable a través del ecoturismo en la zona por la comunidad.

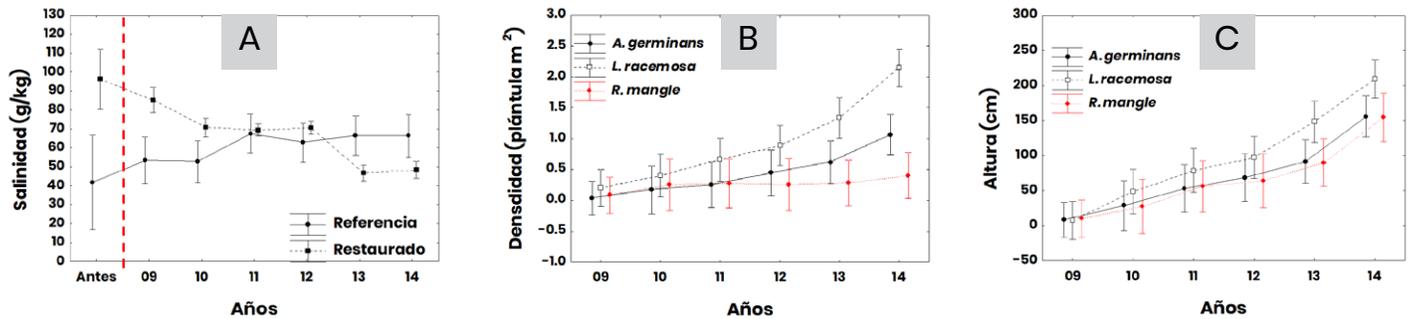


Fig.3.1.2 Monitoreo de la A: salinidad, B; el reclutamiento natural y C: el crecimiento de las plántulas en el sitio de restauración.



Comparación del área de restauración, a la izquierda en el 2009; a la derecha en el 2019.

3.2 Sian Ka'an

Grupo de trabajo

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA), Amigos de Sian Ka'an, el Banco Mundial (BM), Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, el CINVESTAV-IPN Unidad

Mérida, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), y habitantes de las comunidades de Tres Reyes y X-Hazil.

Extensión restaurada: 250 ha



El Playón, Sian Ka'an, Quintana Roo, antes de las acciones de restauración implementadas.

Objetivo	Metas	Criterio	Indicador	Variables
Recuperar servicios ecosistémicos que favorecerán la reducción de la vulnerabilidad ambiental y social a los efectos del cambio climático.	Sincronizar las variaciones del nivel de agua entre los canales construidos y el manglar en restauración.	Conectividad hídrica.	Hidrología.	Frecuencia, nivel y duración de la inundación.
	Reducir al 50% de la salinidad intersticial inicial.	Parámetros fisicoquímicos del agua.	Reducción de salinidad.	Salinidad intersticial y del agua superficial.
	Favorecer la regeneración natural en un periodo de 9 meses.	Reclutamiento natural y estructura de la vegetación.	Establecimiento, supervivencia y crecimiento.	Densidad de plántulas composición de especies altura y diámetro.
	Recuperar la capacidad de secuestro de carbono en el sitio después de 5 años.	Reactivación de procesos biogeoquímicos	Secuestro de carbono del ecosistema.	Carbono en componentes aéreos (biomasa) y subterráneos (raíces y sedimentos).

Diagnóstico:

La construcción de un camino ocasionó la interrupción del flujo superficial y escurrimiento, lo que resultó en diferencias en el hidropériodo entre el manglar de referencia y el sitio a restaurar; provocando que se secase la llanura de manglar y la consecuente hipersalinización (120-140 g/kg) por largos periodos de tiempo.

Acciones de restauración

Se desazolvaron canales naturales; se rehabilitó y amplió la influencia de los pasos de agua y se construyeron 5,000 m lineales de canales nuevos. Estos canales se construyeron basados en la microtopografía y flujos preferenciales obtenidos de la caracterización del sitio. Como parte de acciones de restauración previas de otros grupos se encontraban elevaciones topográficas a modo de centros de dispersión (CD), sin presencia de vegetación. Adicional a estos, se habilitaron nuevos CD y se sembraron propágulos provenientes del sitio de referencia.

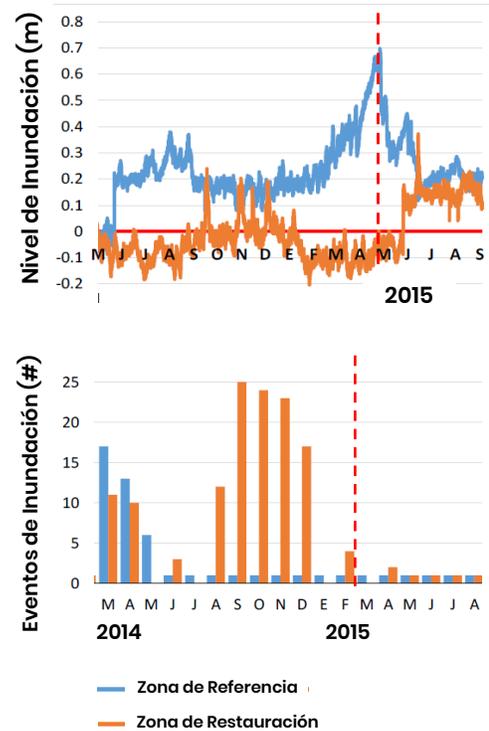


Fig.3.2.1 Componentes del hidropériodo antes (2014) y después de la rehabilitación hidrológica (2015). A: Nivel de inundación y B: eventos de inundación. La línea roja indica las acciones de rehabilitación hidrológica [6].



Evaluación

El hidropériodo se sincronizó con el sitio de referencia en el primer mes después de las acciones de restauración (Fig.3.2.1). La salinidad se redujo drásticamente después de la rehabilitación hidrológica y continuó disminuyendo paulatinamente hasta promedio de 60 g/kg.

Con la rehabilitación de la hidrología, se observó la regeneración natural en los

CD del proyecto anterior. Así mismo se observó regeneración natural, tanto en lo nuevos CD como en sitios sin ellos, en donde la densidad de especies de manglar pasó de 9,153 ind ha⁻¹ (2016) a 64,178 ind ha⁻¹ (2019). Los CD fueron colonizados de manera natural por *A. germinans*, en el 2020 se observan individuos de hasta 70 cm (Fig.3.2.2 A), similar a la estructura del

manglar chaparro de referencia (altura de $94.5 \pm 5.4\text{cm}$). El manglar restaurado recuperó su funcionalidad en el secuestro de carbono (Fig.3.2.2 mB) con lo que cumplió el objetivo de recuperar servicios ecosistémicos que favorezcan la reducción de la vulnerabilidad ambiental ante el cambio climático.



Centros de dispersión en 2020

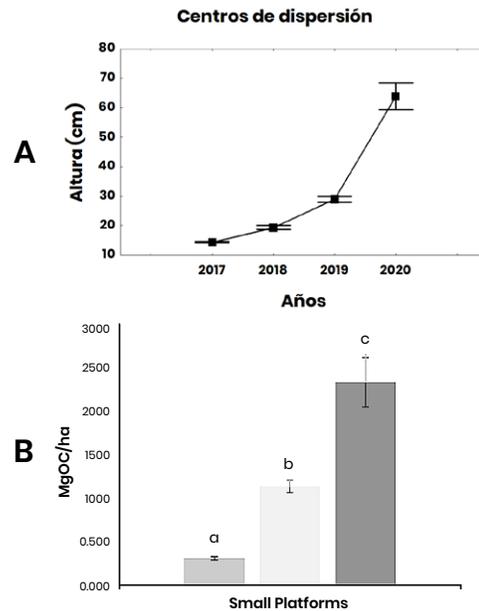
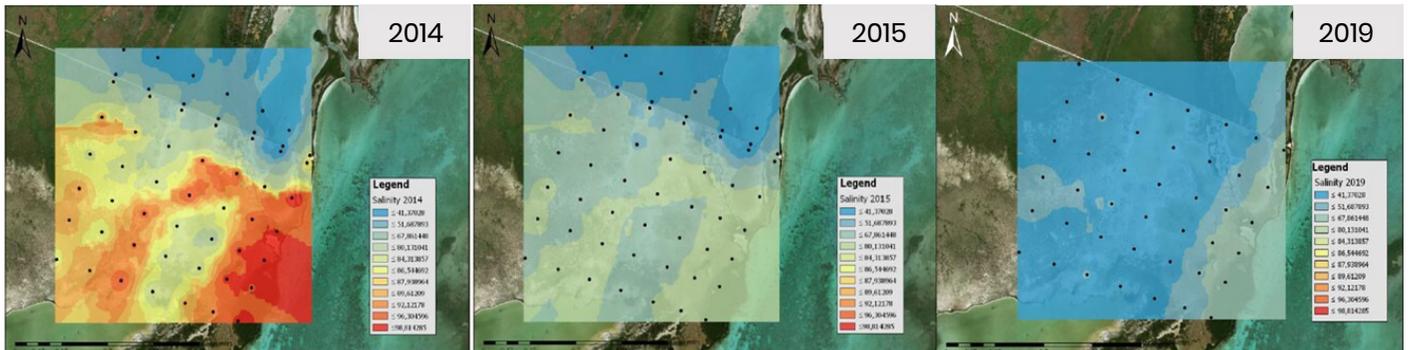


Fig.3.2.2 A: Crecimiento en altura de las plántulas en los centros de dispersión y B: su almacenamiento de carbono (Gráfica de Arenas-González [44]).



Cambio de la salinidad intersticial a través del proceso de restauración. Los valores azules fuertes representan la salinidad más baja (< 41 g/kg), mientras que los rojos, los más altos (> 98 g/kg). Figuras de Arenas-González [44].



Comparación del área de restauración, a la izquierda en el 2009; a la derecha en el 2019.

3.3 Progreso

Grupo de trabajo

CINVESTAV, Unidad Mérida, representantes del sector gubernamental, en este caso de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes Delegación Yucatán (SCT).

El grupo denominado “Chelemeras Unidos por la Restauración del Manglar”, fueron contratadas por la empresa IRAVALL CONSULTORES S.A. de C.V.

Extensión restaurada: 110 ha



La Ciénega de Progreso, Yucatán, antes de las acciones de restauración.

Objetivo	Metas	Criterio	Indicador	Variables
Recuperar características hidrológicas, estructurales y funcionales del manglar perturbado a través de acciones que ayuden a la sustentabilidad ambiental del sitio	Sincronizar las variaciones del nivel de agua entre los canales construidos y el manglar en restauración.	Conectividad hídrica.	Hidrología.	Frecuencia, nivel y duración de la inundación.
	Reducir al 30% de la salinidad intersticial inicial.	Parámetros fisicoquímicos del agua.	Reducción de salinidad.	Salinidad intersticial y del agua superficial.
	Favorecer la regeneración natural en un periodo de 12 meses.	Reclutamiento natural y estructura de la vegetación.	Establecimiento, supervivencia y crecimiento.	Densidad de plántulas, composición de especies, altura y diámetro.

Diagnóstico

La vía de comunicación Mérida-Progreso en sus dos sentidos modificó el flujo y escurrimiento superficial entre los dos lados de esta; ocasionando el azolvamiento de los canales naturales y consecuentemente modificó el hidoperíodo. Así mismo, los largos periodos de inundación en el sitio propiciaron condiciones hipersalinas (> 100g/kg). Esto causó pérdida de la vegetación original.

Acciones de restauración

El modelo hidrodinámico realizado durante la caracterización del sitio permitió determinar las zonas más susceptibles a ser modificadas con base en su nivel topográfico, así como en los flujos preferenciales, para la restauración hidrológica (Fig.3.3.1). Se rehabilitaron los canales naturales de marea y se construyeron 2,118 m de canales nuevos, se removieron escombros y se realizó la nivelación topográfica. Con el propósito de hacer uso eficiente de los recursos y el tiempo, la nivelación topográfica del terreno se realizó con centros de dispersión y con la deposición del material resultante de los canales en los sitios de mayor profundidad observada en el mapa topográfico.

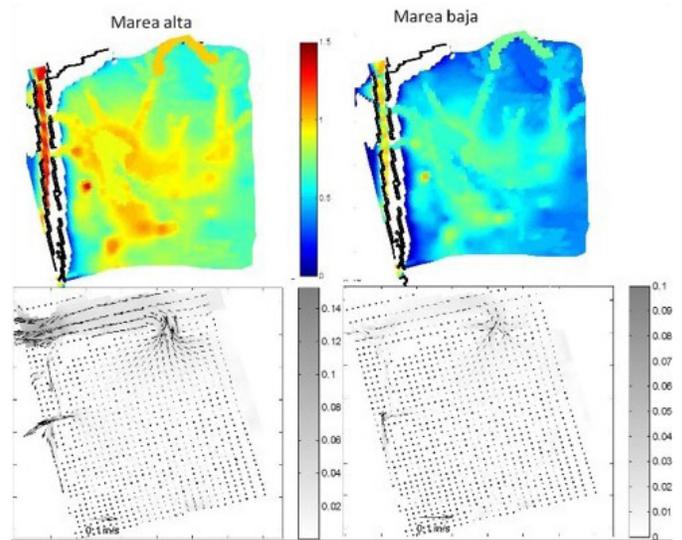


Fig.3.3.1 Modelo hidrodinámico generado con los datos topobatemétricos del sitio de Progreso para la obtención de los flujos preferenciales. Elaborado por Ismael Mariño y Cecilia Enríquez.

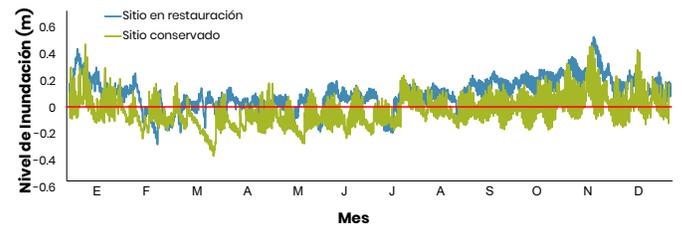


Fig.3.3.2 Sincronización del nivel de inundación entre el sitio de referencia conservado y el sitio de restauración después de las acciones de restauración, valores del 2016, Elaboró Oscar Pérez.



A: Habilitación de canales que permiten la reconexión hidrológica y centros de dispersión; B: construcción de canales nuevos; C: grupo de mujeres “Las Chelemeras”.

Evaluación

Se restableció el hidroperíodo con respecto al sitio de referencia (Fig.3.3.2) y la salinidad se redujo a un promedio de 45.78 g/kg. En los centros de dispersión, se sembraron propágulos de *Rhizophora mangle* y se establecieron de manera natural plantas de *A. germinans*. En otras zonas estas especies se establecieron también de forma natural, además de especies pioneras como *Batis marítima* y *Salicornia virginica*. Se observó disminución en la supervivencia (Fig.3.3.3 A), la cual fue resultado de la competencia interespecífica y del incremento en la cobertura de las especies sobrevivientes (Fig.3.3.3 B).

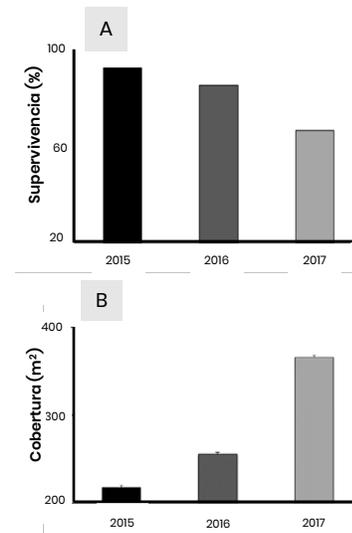
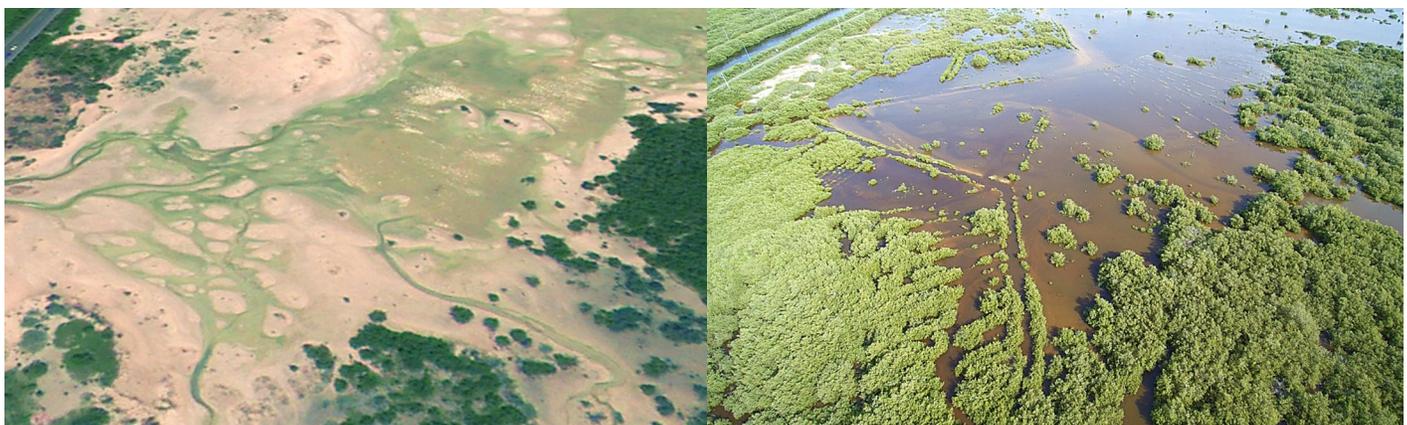


Fig.3.3.3 A: Supervivencia y B: cambio en la cobertura vegetal de las especies de manglar.^[7]



A: Antes (2009) y B: después de las acciones de restauración (2019).



Comparación del área de restauración, a la izquierda en el 2009; a la derecha en el 2019.

4. LECCIONES APRENDIDAS

- Integración de un **grupo de trabajo incluyente** que formalice su compromiso a través de acuerdos de grupo y arreglos institucionales, definiendo su participación en el proyecto desde el inicio (2.1.1).
- **Involucrar a la comunidad** desde el inicio del proyecto, durante su implementación y en su evaluación y termino (2. 4).
- El presupuesto debe **considerar los costos de monitoreo y talleres de educación ambiental y capacitaciones**.
- Definir claramente el **¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿cuánto cuesta?** la restauración para alcanzar los objetivos y metas planteados (2.1.2).
- Es necesario tener **información específica del sitio a restaurar**, importar información o conocimiento de otras localidades, no es una opción (2.1.3).
- Realizar una **adecuada ecología forense** (caracterización del sitio) para definir la causa de muerte del manglar y las condiciones iniciales del manglar degradado (2.1.3).
- **Definir el conjunto de acciones específicas de restauración** para el sitio con base en los resultados del proceso de ecología forense (2.1.)
- Deben establecerse **puntos de muestreo permanentes** para todo el proceso de restauración y su seguimiento con los indicadores de éxito (2.3.1). Los puntos de muestreo pueden complementarse estableciendo más puntos de muestreo de acuerdo a la reconfiguración del paisaje.
- La restauración se evalúa con variables hidrológicas, biológicas (plantas y organismos) y de los sedimentos que serán **indicadores de corto, medio y largo plazo**. Esto da la oportunidad de ajustar las acciones de restauración bajo el principio de “manejo adaptativo” y aumentar las probabilidades de alcanzar los objetivos y metas (2.3.1).
- **Ofrecer alternativas de actividades productivas** derivadas de los servicios ecosistémicos recuperados por la restauración (3.1).
- La evaluación de la restauración ecológica no debe sólo considerar la evaluación ecológica, sino también **debe incluir la evaluación de los componentes social y económico** (2.3.1).
- Se debe contar con una **estrategia de socialización del proyecto** a nivel local, regional y nacional (2.4).
- **Los resultados deben difundirse** pronto en mecanismos no formales, pero siempre en los formales (artículos de divulgación y científicos, y documentos técnicos) para contribuir en el avance de la creación del marco teórico de la ecología de la restauración (2.4).

REFERENCIAS

1. SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). 2004. www.ser.org
2. Estrategias de restauración de manglares de México: el caso Yucatán. En Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. UNAM, CRIM, UAEM. CONABIO. 2016. ISBN: 9786070281570.
3. Restauración ecológica de manglares en México. En Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre Una Guía para Tomadores de Decisiones. 2020. ISBN: 978-6078-444.
4. Ecological Restoration, 28(3): 333-342. 2010.
5. Rehabilitación de manglares en el estado de Yucatán sometidos a diferentes condiciones hidrológicas y nivel de impacto: el caso de Celestún y Progreso. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados. Unidad Mérida. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto GH009. 2012.
6. Rehabilitación hidrológica: producto "C". Proyecto: Implementación De Medidas De Adaptación para reducir la vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático de la comunidad de Punta Allen (Reserva De La Biosfera De Sian Ka'an) A través de la rehabilitación de un ecosistema de manglar en el humedal "El Playón". CINVESTAV, Amigos de Sian Ka'an, ANP de Sian Ka'an, INECC, IMTA -CNA. GEF. 2015.
7. Adaptación de ecosistemas costeros al cambio climático en áreas naturales protegidas de México, con énfasis en la captura y reducción de emisiones de carbono en humedales. Informe Técnico Final. ENDESU-INECC-SEMARNAT-CINVESTAV. 2017.
8. Global environmental change, 26 (1): 152-158. 2014.
9. Mangrove restoration potential-A global map highlighting a critical opportunity. IUCN. University of Cambridge. NC. 2018.
10. Annual Review of Environment and Resources, 44: 89-115. 2019.
11. Contributions of working groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2007.
12. Science, 317 (5834): 41-42. 2007.
13. Nature-based Solutions to address global societal challenges. IUCN. 2016.
14. Ecological Restoration, 23 (3): 181-186. 2005.
15. Wetlands Ecology and Management, 16 (5), 345-358. 2008.
16. Una aproximación a la integración de escalas ecológicas para la restauración de ecosistemas de manglar. Tesis Doctoral. Univeristat de Barcelona. 2017.
17. Restoration Ecology, 25: 668-673. 2017.
18. Problems of scaling in restoration ecology: a practical application. En: Restoration Ecology: a Synthetic Approach to Ecological Research. Cambridge University Press.1987. ISBN: 9780521337281.
19. Estuaries and coasts, 32 (1): 1-17. 2009.
20. Ecological Indicators, 60 (1): 442-452. 2016.
21. Marine and Freshwater Research, 49(4): 309-323. 1998.
22. Ecological Research, 19(1): 75-81. 2004.
23. Marine Pollution Bulletin, 37(8): 383-392. 1999.
24. Ecological engineering, 24(4):403-418. 2005.
25. Rehabilitación Ecológica del Manglar. Manual de campo para Rehabilitadores. Mangrove Action Project. 2014.
26. Marine Pollution Bulletin. 37 (1): 373-382. 1998.
27. Mangrove restoration- Costs and benefits of successful ecological restoration. In Proceedings of the Mangrove Valuation Workshop, Universiti Sains. 2001.
28. Ecological Applications, 26(4): 1055-1074. 2016.
29. Journal of Coastal Research, 40: 79-93. 2005.
30. Ecological restoration: a global challenge. 2010. ISBN: 9780521877114.
31. Conservation Biology, 29(2): 493-502. 2015.
32. Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. CONABIO. 2018. ISBN: 9786078570034.
33. Annual Review of Marine Science, 2: 395-417. 2010.
34. Journal of the Fisheries Research Board of Canada Bulletin. 122: 311. 1972.
35. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon press, 1984. ISBN: 9780080302874.
36. Métodos para la descripción y estudio de áreas de manglar. Ingeniería marítima, Ciencias del mar. Escuela superior Politécnica del Litoral. 1990.
37. Ecological Engineering, 37(2): 113 - 122. 2011.
38. Ecotropicos, 19(2): 72-93. 2006.
39. FAO. Mangrove forest management guidelines. 1994.
40. PLoS Biology, 10 (1) | e1001247. 2012.
41. Wetlands Ecology and Management, 17(4): 365-383. 2009.
42. Ecological Engineering, 130: 263-270. 2019.
43. Revista mexicana de biodiversidad, 87(2): 489-496. 2016.
44. The potential of blue carbon in Management in Mexico: a case study from the biosphere Reserve of Sian Ka'an. Master Thesis. The University of Manchester. Manchester, United Kingdom. 2019.



“Siempre parece imposible hasta que se hace”.

-Nelson Mandela

ISBN: 978-607-96490-9-8



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

PMG
Programa Mexicano del Carbono
RED TEMÁTICA DEL CONACYT