

Manual para la Restauración Ecológica de Manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Gran Caribe



Manual para la Restauración Ecológica de Manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Gran Caribe

Forma de citar:

Claudia Teutli-Hernández, Jorge A. Herrera-Silveira, Diana J. Cisneros-de la Cruz, Daniel Arceo-Carranza, Andrés Canul-Cabrera, Pedro Javier Robles-Toral, Oscar J. Pérez-Martínez, Daniela Sierra-Oramas, Karla Zenteno, Heimi G. Us-Balam, Eunice Pech-Poot, Xavier Chiappa-Carrara, Francisco A. Comín. 2021. **Manual para la restauración ecológica de manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano y el Gran Caribe**. Proyecto Manejo integrado de la cuenca al arrecife de la ecorregión del Arrecife Mesoamericano - MAR2R, UNEP-Convención de Cartagena, Mesoamerican Reef Fund. Guatemala City, Guatemala.

ISBN: 978-607-30-5469-0

Coordinación: Jorge A. Herrera-Silveira, Claudia Teutli-Hernández, Diana J. Cisneros-de la Cruz

Autores: Claudia Teutli-Hernández¹, Jorge A. Herrera-Silveira², Diana J. Cisneros-de la Cruz², Daniel Arceo-Carranza³, Andrés Canul-Cabrera², Pedro Javier Robles-Toral², Oscar J. Pérez-Martínez², Daniela Sierra-Oramas², Karla Zenteno², Heimi G. Us-Balam², Eunice Pech-Poot², Xavier Chiappa-Carrara^{1,3}; Francisco A. Comín⁴.

Revisores: Ana Beatriz Rivas⁵, María José González⁵, Steven Canty⁶, Francisco A. Comín⁴, Daniel Arceo Carranza³, Xavier Chiappa-Carrara^{1,3}, Carlos Rodríguez Olivet⁹, PNUMA - Convenio de Cartagena.

Las fotos que se presentan son propiedad del Laboratorio de Producción Primaria (CINVESTAV-IPN), a excepción de las que se haga referencia a su autor.

Este documento ha sido técnica y financieramente apoyado por el Proyecto Manejo Integrado de la cuenca al arrecife de la ecorregión del Arrecife Mesoamericano- MAR2R/CCAD/WWF-GEF, MAR Fund y UNEP-Convención de Cartagena bajo el Acuerdo de Cooperación firmado entre las tres instituciones. Director Ejecutivo MAR2R: Mario Escobedo Especialista Marino Costero y Salvaguardas MAR2R: Carlos Rodríguez Olivet.

1- Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Mérida

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

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

4- Departamento de Conservación de la Biodiversidad y Restauración de Ecosistemas, Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC, Zaragoza-Jaca (Huesca), España

5- Mesoamerican Reef Fund (MAR Fund)

6- Smithsonian Marine Station, EUA

7- Programa Mexicano del Carbono A.C., (PMC) Red Académica CONACYT

8- Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC), CONACYT

9- Proyecto MAR2R/CCAD/WWF-GEF



Alcance del Manual

Los manglares del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) y del Gran Caribe son el cimiento económico de más de 134 millones de personas que viven en las costas de estas regiones. Los manglares proporcionan protección contra inundaciones y amortiguación contra tormentas y huracanes, a los que es altamente vulnerable la región. Así mismo, dada su estrecha relación con otros ecosistemas como arrecifes de coral y pastos marinos, son pilares para la conservación de los ecosistemas costeros y los servicios ecosistémicos que proporcionan.

Entre estos servicios, destaca su potencial de almacén de carbono azul para hacer frente a los efectos del cambio climático, así como su importancia dentro de la industria del turismo y las pesquerías. Sin embargo, la extensión de los manglares continúa disminuyendo cada año, resultado de los impactos del cambio climático, el cambio de uso de suelo y la sobre explotación de sus recursos.

Este manual contribuye a fortalecer las capacidades locales, nacionales y regionales para la restauración ecológica y servicios ecosistémicos que proporcionan los manglares de la región del SAM y del Gran Caribe. Dentro del marco del convenio de Cartagena y la declarada Década de la Restauración por la ONU, la restauración ecológica (RE) de manglares es considerada una Solución basada en la Naturaleza (SbN) que permite hacer frente a los efectos del cambio climático. Esto favorece la conservación de la biodiversidad y el bienestar económico y social de sus habitantes, contribuyendo a los Objetivos del Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

La restauración ecológica de los manglares del SAM y el Gran Caribe es un tema prioritario en la Estrategia Regional Ambiental Marco (ERAM) de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), en la construcción del Protocolo Regional de Economía Azul liderado por el Proyecto MAR2R/CCAD/WWF-GEF, así como en la Estrategia Regional y Plan de Acción para la Valoración, Protección y/o Restauración de hábitats marinos clave en el Gran Caribe 2021-2030 (RSAP, por sus siglas en inglés), desarrollada bajo el subprograma SPAW (Specially Protected Areas and Wildlife) del convenio de Cartagena.

Contenido

Acrónimos y siglas	4
Objetivo	5
Justificación	6

Introducción	9
1. Manglares del Gran Caribe	13
2. Restauración ecológica	17

Restauración ecológica de manglar 21

1 	Conformación del grupo de trabajo	23
---	--	-----------

¿Quiénes participan en la restauración?

2 	Identificación del sitio y definición de objetivos y metas	25
--	---	-----------

¿Qué preguntas hay que contestar antes de iniciar las actividades de restauración?

3 	Ecología Forense	28
--	-------------------------	-----------

¿Qué causó la muerte del manglar? ¿Cuál es su condición actual?
 ¿Existen las condiciones adecuadas para el crecimiento del manglar?

	1. Topografía	33
	2. Hidrología	35
	3. Características fisicoquímicas	37
	4. Suelo	39
	5. Vegetación	42

**4**

Acciones de restauración

44

¿Cómo establecer un plan de restauración?

¿Cuál o cuáles acciones específicas de restauración se van a ejecutar?

**1. Rehabilitación hidrológica****47****2. Rehabilitación topográfica****54****3. Reforestación****59****5**

Monitoreo

63

¿Cómo evaluar la restauración? ¿Es necesario realizar cambios al plan?

**1. Indicadores ecológicos****65****2. Indicadores socioeconómicos****75****6**

Vinculación

80

¿Por qué compartir las lecciones aprendidas y los resultados de la restauración?

Restauración de manglares en el Gran Caribe

83

¿Cuál es el estado de restauración en la región del Gran Caribe?

Causas de degradación en la región**85****Consideraciones finales****96****Sugerencias****97****Glosario****98****Literatura citada****103**

Acrónimos y siglas

CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán (México)
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (México)
CLME+	Grandes Ecosistemas Marinos del Caribe y de la Plataforma del Norte de Brasil
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (México)
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal (México)
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (México)
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España)
DOE	Department of the Environment (Belize)
DUMAC	Ducks Unlimited de México, A.C.
ERAM	Estrategia Regional Ambiental Marco
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
FFCM	Flora, Fauna y Cultura de México A.C.
GEF	Global Environment Facility
GEM	Gran Ecosistema Marino
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (México)
IPN	Instituto Politécnico Nacional (México)
JICA	Japan International Cooperation Agency
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Guatemala)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PAC-PNUMA	Programa Ambiental del Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
REM	Restauración Ecológica de Manglares
RSAP	Estrategia Regional y el Plan de Acción para la Valoración, Protección y/o Restauración de hábitats marinos clave en el Gran Caribe
SAM	Sistema Arrecifal Mesoamericano
SbN	Soluciones basadas en Naturaleza
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)
SER	Society of Ecological Restoration
SPAW	Specially Protected Areas and Wildlife
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
WWF	World Wildlife Fund





Objetivo

El objetivo de este manual es orientar y fortalecer las capacidades locales y regionales de todos aquellos (personas, grupos, organizaciones) que estén interesados en recuperar los ecosistemas de manglar en la región del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) y del Gran Caribe, así como aumentar el éxito de los proyectos de restauración, basados en los principios de la restauración ecológica que favorece los procesos de regeneración y sucesión natural antes que la reforestación. Con este manual se apoyará el desarrollo de una estrategia que involucra: propuestas, planeación, ejecución y seguimiento a programas de restauración de manglares. El Manual puede ser usado por entidades gubernamentales, organizaciones civiles, sector académico, sector empresarial, miembros de la sociedad civil, pueblos indígenas y comunidades locales.

El Manual se basa en los fundamentos de ecología de la restauración y los principios de la restauración ecológica de la “Society of Ecological Restoration” (SER; <https://www.ser.org/>). La estrategia de restauración ecológica que se presenta en este manual se desarrolló como parte de un programa de investigación del CINVESTAV-IPN Unidad Mérida en colaboración con la Universidad de Barcelona, España; el Instituto Pirenaico de Ecología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España; el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY); UNAM-Sisal campus Yucatán; Universidad Estatal de Luisiana, EUA; Japan International Cooperation Agency (JICA); organizaciones gubernamentales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Yucatán, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); y no gubernamentales (Ducks Unlimited de México A.C. (DUMAC), PRONATURA, Flora, Fauna y Cultura de México A.C. (FFCM).

Justificación

La pérdida de los manglares a nivel mundial se ha incrementado a un ritmo alarmante en las últimas décadas, llegando a presentar tasas anuales de 1-2% (Duke *et al.*, 2007; FAO, 2007). Los manglares de la región del Gran Caribe de acuerdo con el Programa Ambiental del Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PAC-PNUMA) (Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, del Mar Caribe y de la plataforma norte de Brasil), con cerca del 26% de la cobertura mundial, han presentado la reducción del 24% de su superficie en los últimos 25 años (Wilson, 2017; De Lacerda *et al.*, 2019). Dentro de esta área, el SAM (México, Belice, Guatemala y Honduras) ha perdido en los últimos 20 años más de 110,000 hectáreas (Canty *et al.*, 2018).

La pérdida en la extensión del ecosistema de manglar se ha dado en función de las actividades económicas que se desarrollan en la región (acuacultura y usos agropecuarios, aprovechamientos forestales, infraestructura turística, urbanización, contaminación de suelos y agua) y eventos naturales (FAO, 2007). Esta pérdida trae como consecuencias la reducción de la integridad ecológica de estos ecosistemas, y el detrimento de los servicios ambientales que estos brindan a nivel local y regional, los cuales repercuten en la seguridad humana, alimentaria, de bienes inmuebles y medios de vida.

Dentro de la región del Gran Caribe, las tendencias de recuperación y reducción de la degradación de manglares no son alentadoras, debido a que, a pesar de los esfuerzos realizados, sólo un pequeño porcentaje de las áreas degradadas han sido recuperadas (Romañach *et al.*, 2018). Regionalmente, se han realizado esfuerzos para crear un instrumento que contenga una serie de estrategias y acciones necesarias para alcanzar el objetivo de la conservación y restauración del ecosistema de manglar en la ecorregión del SAM, mismo que ha sido coordinado por MAR Fund (Rivas *et al.*, 2020).





El siguiente paso será implementar acciones, políticas estratégicas y técnicas específicas. Una de ellas es la restauración de manglares siguiendo una estrategia que maximice el éxito de las intervenciones. Localmente, se han realizado acciones de restauración, donde la principal actividad es la reforestación, pero en muchos casos la experiencia se ha ganado mediante un proceso de ensayo y error (Rodríguez-Rodríguez, 2015; Quiro, 2017; Nello *et al.*, 2018).

El panorama parece ser incierto a la luz en los albores de la “Década de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas 2021-2030” (ONU, 2019), ya que las acciones de restauración de manglares en la región del Gran Caribe no se han desarrollado bajo una estrategia ni en los principios de la restauración ecológica (SER, 2010). A pesar de que los proyectos de restauración son bien aceptados socialmente por las comunidades locales, por el beneficio económico directo que reciben, los beneficios ecológicos no son tan evidentes.

Estos incentivos no aseguran el éxito en el largo plazo de la restauración, pero si constituyen una oportunidad para avanzar en el fortalecimiento de protocolos regionales impulsados por organismos como la CCAD y los cuatro gobiernos de los países del SAM, estrategias nacionales de restauración y de paisajes que incluyen las acciones de restauración bajo el Desafío de Bonn y las capacidades locales para que internalicen la importancia de la protección y restauración de los manglares para su bienestar. Por tanto, este manual contribuye a la implementación de una estrategia de restauración ecológica de manglares que maximice el éxito de los proyectos implementados en la región del Gran Caribe, que integre y beneficie a los diferentes actores involucrados.





1. Introducción

La región del Gran Caribe, de acuerdo con la estrategia regional para la protección y restauración de los hábitats marinos (RSAP, por sus siglas en inglés) del Programa Ambiental del Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PAC-PNUMA), abarca desde E.U.A. en el norte, hasta Brasil y las Guayanas en el sur (UNEP-CEP, 2020). Esta región es más amplia que la región del Gran Caribe considerada por el convenio de Cartagena, la cual integra la región del CLME+ (Grandes Ecosistemas Marinos del Caribe y de la Plataforma del Norte de Brasil, por sus siglas en inglés) con el Gran Ecosistema Marino (GEM) del Golfo de México (Fig.1.1). A lo largo del Gran Caribe se encuentran complejos arrecifales – manglares – pastos marinos que desempeñan un papel primordial en la economía y bienestar de los más de 134 millones de habitantes que viven en las costas, sobre todo en los pequeños estados insulares en desarrollo del Caribe que tienen una fuerte dependencia de los recursos marino-costeros (Patil *et al.*, 2016; UNEP-CEP, 2020). Entre estos complejos se encuentra el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM), el arrecife transfronterizo más grande del mundo y uno de los sistemas ecológicos más biodiversos, valiosos y productivos. En la región del Gran Caribe, los manglares representan aproximadamente el 26% de la extensión de manglares del planeta (De Lacerda *et al.*, 2019), y son cimientos económicos de la región debido a la diversidad de servicios ecosistémicos que proveen a la población.

Destaca su interacción con dos de las industrias más importantes de la región: las pesquerías y el turismo, que representan ingresos que ascienden a USD 5 mil millones y USD 47 mil millones respectivamente (Serafy *et al.*, 2015; Patil *et al.*, 2016; Spalding y Parett, 2019). Aunado a esto, los manglares son una importante barrera natural que reduce la alta vulnerabilidad de las costas de la región ante eventos hidrometeorológicos, como huracanes, con un valor estimado de USD 23 - 45 mil por hectárea solo para el Caribe (Beck *et al.*, 2020).

Por otra parte, representan un importante almacén de carbono azul (Donato *et al.*, 2011), componente clave en los acuerdos internacionales para la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), a través de los programas como REDD+ y los mercados de carbono, que permiten su inclusión en las contribuciones nacionalmente determinadas para cumplir con los acuerdos de París (NDCs; UNFCCC, 2016).

Pese a su importancia, los manglares de América y el Caribe han presentado una reducción del 24% en los últimos 25 años (Wilson, 2017; De Lacerda *et al.*, 2019). La sobre explotación de sus recursos, la contaminación, el cambio de uso del suelo desordenado y los efectos del cambio climático como el incremento del nivel del mar, son algunas de las principales causas de su degradación (Ellison y Farnsworth, 1996; Lugo, 2002; DeLacerda *et al.*, 2019). Esta pérdida de cobertura en la región del Caribe ha tenido como consecuencia mermas económicas y, debido a su exposición a los huracanes, ha puesto en riesgo la seguridad personal, alimentaria, de bienes inmuebles, y medios de vida en las poblaciones costeras. Tan solo para región del SAM se estima una disminución del 30% en la extensión de manglar entre 1990 y 2010, representando una pérdida económica de aproximadamente USD 602,157,600 por año (Canty *et al.*, 2018; Rivas *et al.*, 2020).

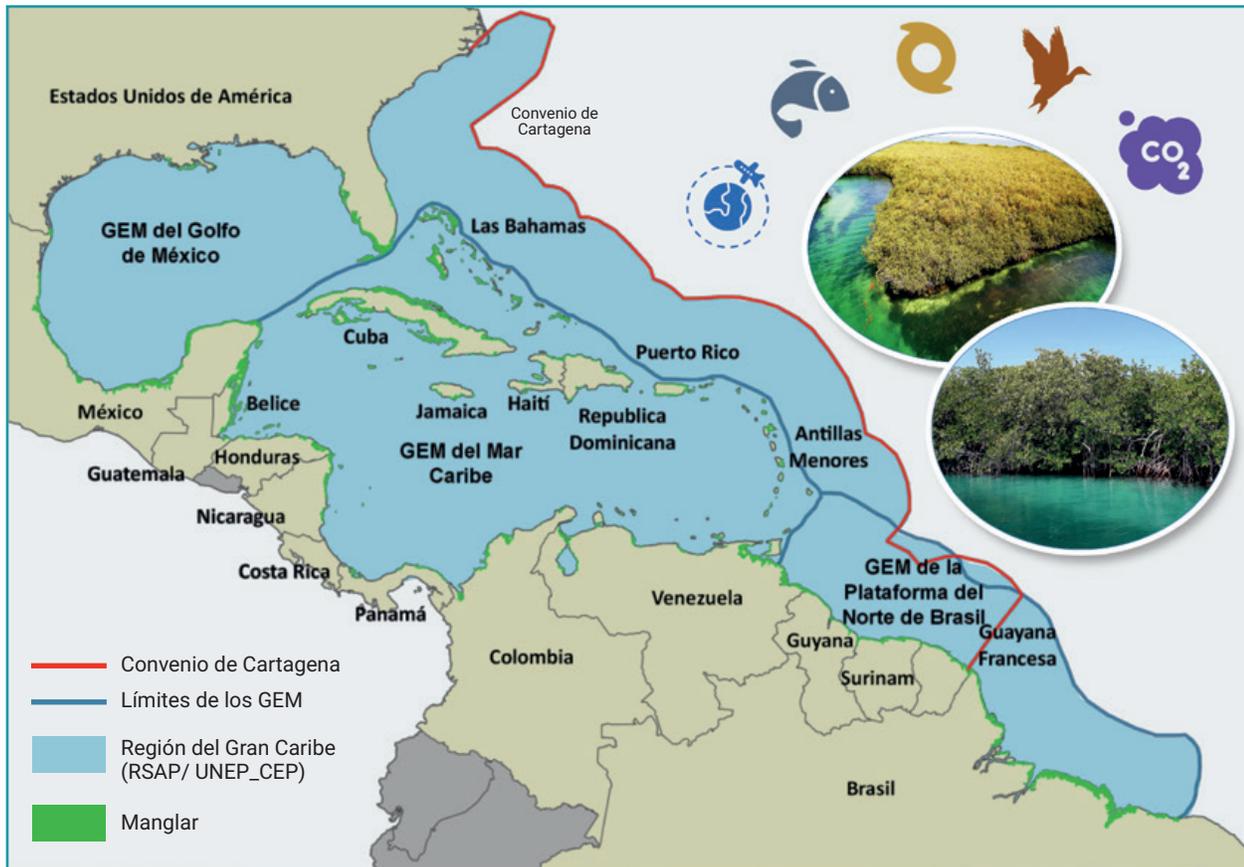


Figura 1.1 Extensión de manglares en la región del Gran Caribe, conformada por el Gran Ecosistema Marino (GEM) del Golfo de México, del Mar Caribe y de la Plataforma del Norte de Brasil de acuerdo con la Estrategia regional y plan de acción para la valoración, protección y/o restauración de hábitats marinos clave en el Gran Caribe 2021-2030 (RSAP) de UNEP-CEP (2020). Elaboró Pedro J. Robles-Toral y Diana J. Cisneros.

Por lo anterior, la conservación y restauración de los ecosistemas de manglar es un tema prioritario dentro en la región del Gran Caribe. Para lograrlo se han desarrollado diferentes estrategias (Fig. 1.2), entre las que destacan: la coordinada por MAR Fund para la ecorregión del SAM (Rivas *et al.*, 2020); y la Estrategia regional y plan de acción para la valoración, protección y / o restauración de hábitats marinos clave en el Gran Caribe 2021-2030 (RSAP), desarrollada bajo el subprograma SPAW del convenio de Cartagena. En el marco de este convenio y en la década de la restauración declarada por la ONU, la restauración de los manglares es considerada una Solución basada en la Naturaleza (SbN) que permite hacer frente a los efectos del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y el bienestar económico y social de sus habitantes, contribuyendo a su vez a los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

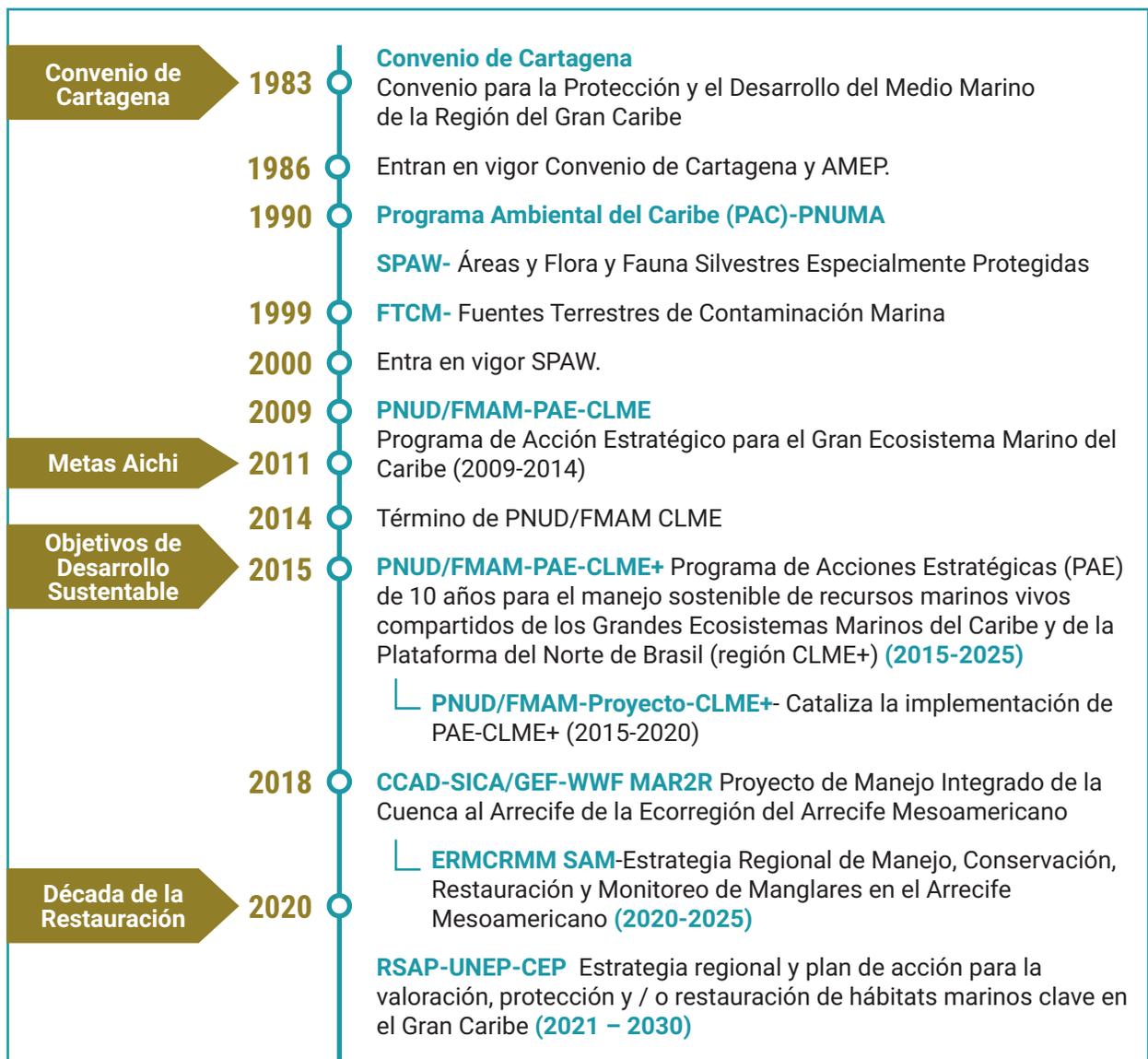


Figura 1.2 – Esfuerzos Internacionales para la conservación y restauración de los manglares de la región del Gran Caribe.

Para la región del Gran Caribe, de acuerdo con Global Mangrove Watch, se estima la pérdida y degradación de 304,715 ha de manglar de las cuales al menos 680 sitios tienen el potencial de ser restaurados (www.globalmangrovetwatch.org/), pero de las cuales sólo un pequeño porcentaje de las áreas degradadas han sido recuperadas (Romañach *et al.*, 2018).

Para cumplir con los objetivos de las estrategias regionales y acuerdos internacionales, es necesario implementar acciones que maximicen el éxito de las intervenciones de restauración en el SAM y el Gran Caribe. Este manual tiene el propósito de contribuir a fortalecer las capacidades locales y regionales para la restauración de los ecosistemas de manglar e incrementar el éxito de los proyectos implementados a través de la integración y formación de acuerdos entre los actores involucrados. La estrategia presentada en este manual se basa en la integración de componentes ecológicos, económicos y sociales, y se sustenta en el conocimiento científico, lecciones aprendidas y su transferencia a las comunidades costeras.





O.J. Pérez, Progreso, Yucatán, México

1. Manglares del Gran Caribe

En la región se han registrado hasta el momento nueve (9) especies de las poco más de 70 especies de manglar descritas hasta el momento. Las especies más ampliamente distribuidas tanto en la porción continental como insular de la región son: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Rhizophora harrisonii* (Fig. 1.3). Estas especies pueden presentarse de forma arbórea o arbustiva en respuesta a las condiciones ambientales particulares en las que se encuentren. A nivel regional, las condiciones ambientales se relacionan con tres factores principales: clima, hidrología y geomorfología; y a nivel local con el tipo de suelo, la topografía y la disponibilidad de nutrientes (Twilley *et al.*, 1998).

El resultado de la interacción de estos factores, es una gran variedad en la composición y estructura de los manglares, descritos como diferentes tipos ecológicos de manglar por Lugo y Snedaker (1974). Estos pueden presentar estructuras como manglares altos, chaparros, densos, dispersos, mono o multi- especies. Esta variabilidad en estructura y composición favorece a su vez la diversidad de servicios ecosistémicos que proporcionan.



Rhizophora mangle

Mangle rojo
Mangle colorado
Mangle de concha
Mangle macho



EUA a BRA y ANT



Avicennia germinans

Mangle negro
Mangle prieto



EUA a BRA y ANT



FIGURA 1.3

Distribución de especies de manglar en el Gran Caribe

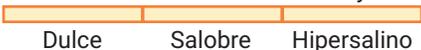


Rhizophora racemosa

Mangle caballero
Mangle zapatero



HON a BRA y ANT



Avicennia schaueriana

Mangle prieto



VEN a BRA





Laguncularia racemosa

Mangle blanco
Patabán
Merecillo



EUA a BRA y ANT



Rhizophora harrisonii

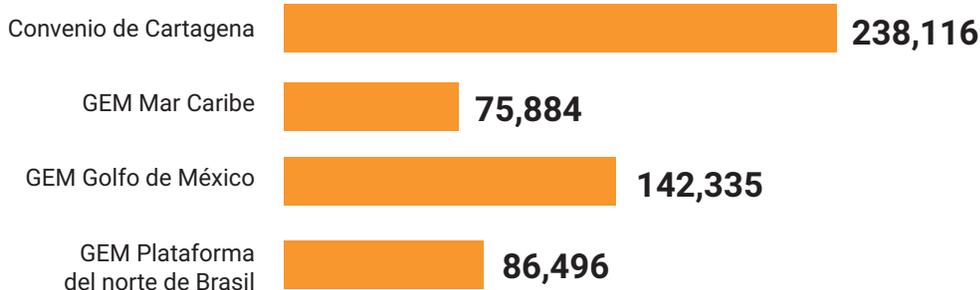
Mangle zapatero
Mangle caballero



VEN a GUF

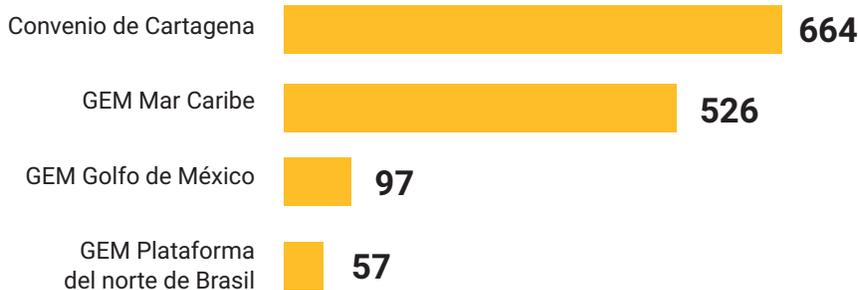


Hectáreas de manglar perdidas y degradadas



- Estados Unidos de América- EUA
- México- MEX
- Honduras- HON
- El Salvador- SLV
- Nicaragua- NIC
- Costa Rica- CRI
- Panamá- PAN
- Colombia- COL
- Ecuador- ECU
- Venezuela- VEN

Sitios de manglar con potencial de restauración



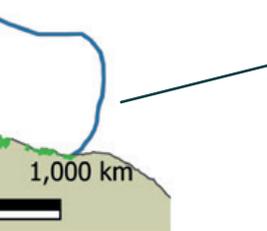
- Guayana Francesa – GUF
- Brasil- BRA
- Antillas-ANT



Árbol



Arbusto



GEM de la plataforma norte de Brasil



Avicennia bicolor

Mangle salado



SLV a PAN



Pelliciera rhizophorae

Mangle piñuela



NIC a COL



Mora oleifera

Alcornoque



CRI a ECU



Elaboró Pedro J. Robles-Toral, Andrés Canul-Cabrera y Diana J. Cisneros.

De la extensión total de manglares presentes en la región del Gran Caribe (2,616,312 ha), aproximadamente 204,330 ha corresponden a áreas degradadas o deforestadas, y de éstas se reportan, 680 sitios con el potencial de ser restaurados (Global Mangrove Watch, 2021). La región de Norte y Centroamérica presenta el mayor porcentaje de pérdida de manglar, mientras que en las Antillas menores se reporta la menor extensión, pero el mayor porcentaje de conservación (Fig. 1.4).

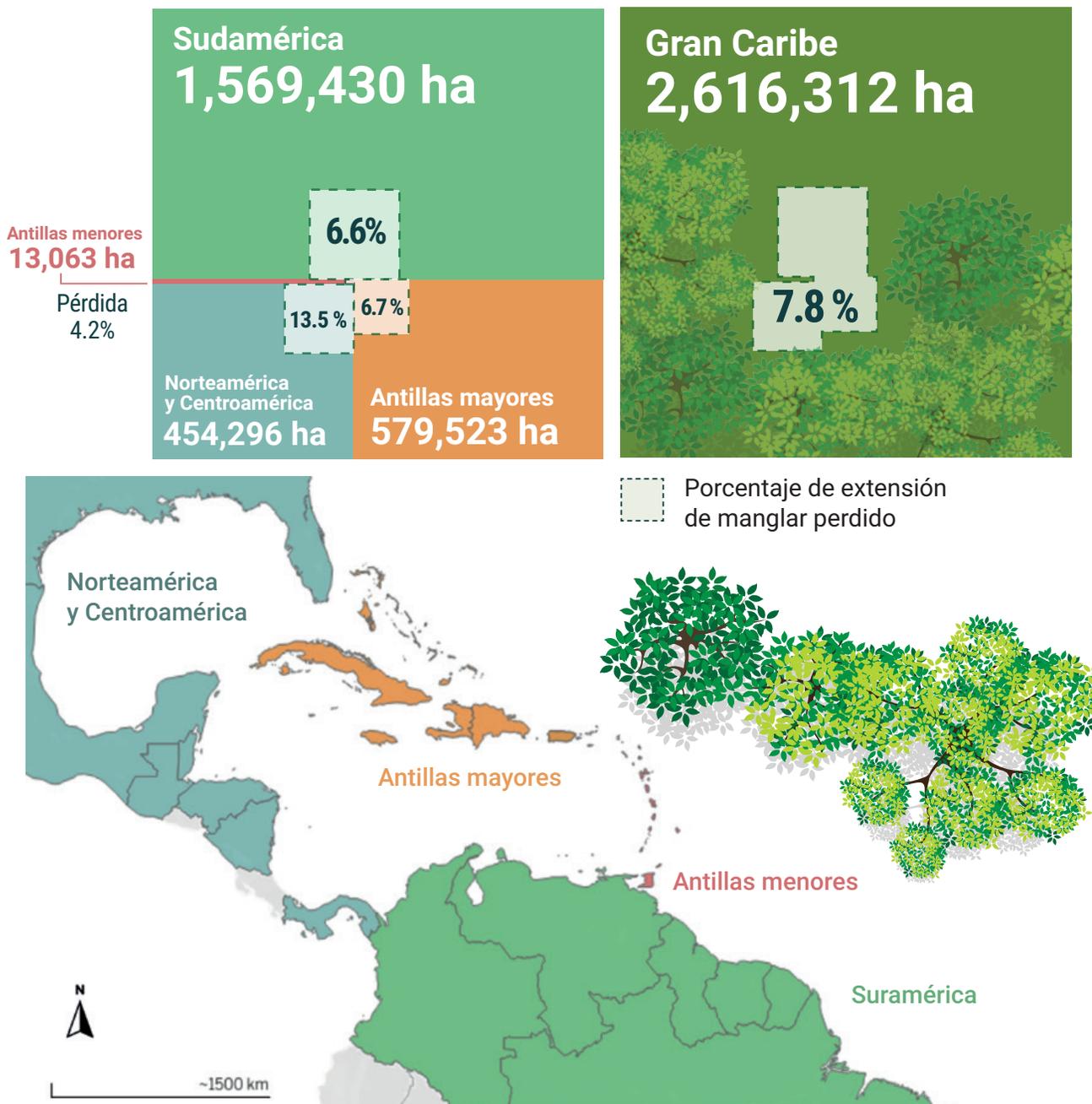


Figura 1.4 – Extensión total de manglar en la región del Gran Caribe y por subregiones con sus respectivos porcentajes de la extensión de manglar perdido susceptible para restauración. Elaboró Pedro J. Toral-Robles, Andrés Canul-Cabrera y Diana J. Cisneros.

2. Restauración ecológica

La restauración ecológica (RE) se puede definir como el proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema degradado, dañado o destruido para obtener valores señalados como inherentes al ecosistema y para proveer bienes y servicios que la gente valora (Martin, 2017).

Esta definición amplía y mejora la definición de la SER (2002) debido a que integra aspectos sociales y económicos que son inherentes a la restauración ecológica. La RE es un activador para iniciar un proceso o acelera un proceso que, favorece a la recuperación del ecosistema de manglar, teniendo en cuenta su recuperación a corto, mediano y largo plazo.

En la teoría y en la práctica de la restauración es esencial la recuperación de la estructura básica y de las funciones clave del ecosistema para que siga su auto-organización. En cualquier tipo de restauración y en cualquier sitio que se pretenda restaurar se deben de tomar en cuenta los aspectos sociales y económicos para que el proyecto sea socialmente aceptable y económicamente viable. La integración de aspectos científico-técnicos, sociales y económicos es parte del desarrollo de los fundamentos teóricos que derivan de las experiencias prácticas de la restauración (Fig. 1.5) (Comín *et al.*, 2005).

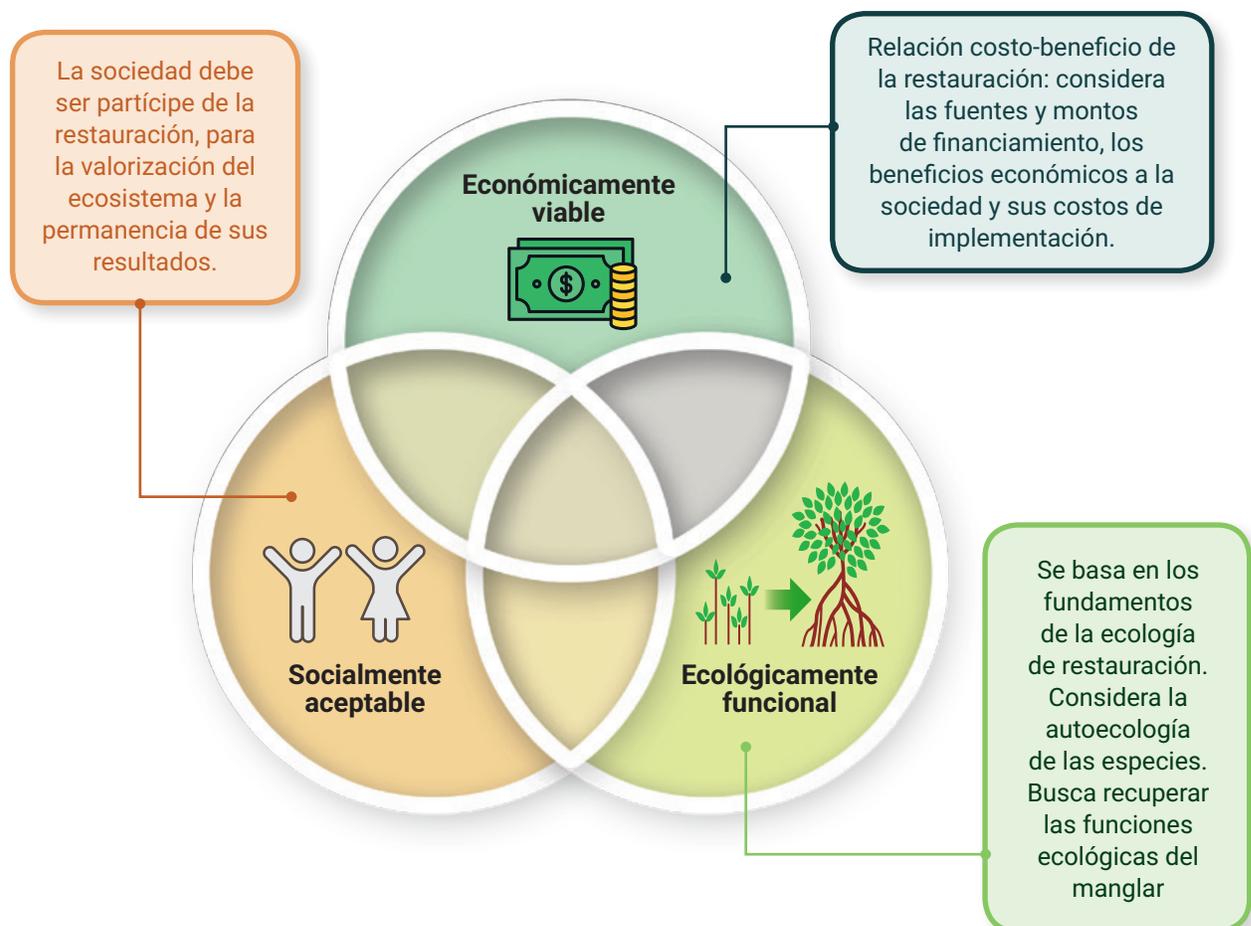


Figura 1.5 – Componentes para considerar durante la restauración ecológica.
Modificado de Teutli-Hernández, 2017.

La consideración de las escalas temporales y espaciales es uno de los aspectos más relevantes para planificar y ejecutar la restauración de ecosistemas; debido a que existen procesos que se llevan cabo en diferentes escalas espaciales (desde centímetros hasta hectáreas) y de tiempo (desde horas hasta décadas). A esto se le suman las presiones antrópicas que provocan cambios a diferentes escalas naturales de tiempo y espacio, teniendo efectos en los procesos ecológicos. En el caso de los ecosistemas costeros sedimentarios, como los manglares, la línea de costa evoluciona a lo largo del tiempo mostrando variaciones lustrales, decadales y de más largo plazo, siendo el tiempo un factor que usualmente no consideran los proyectos de restauración (Comín *et al.*, 2004) (Fig. 1.6).

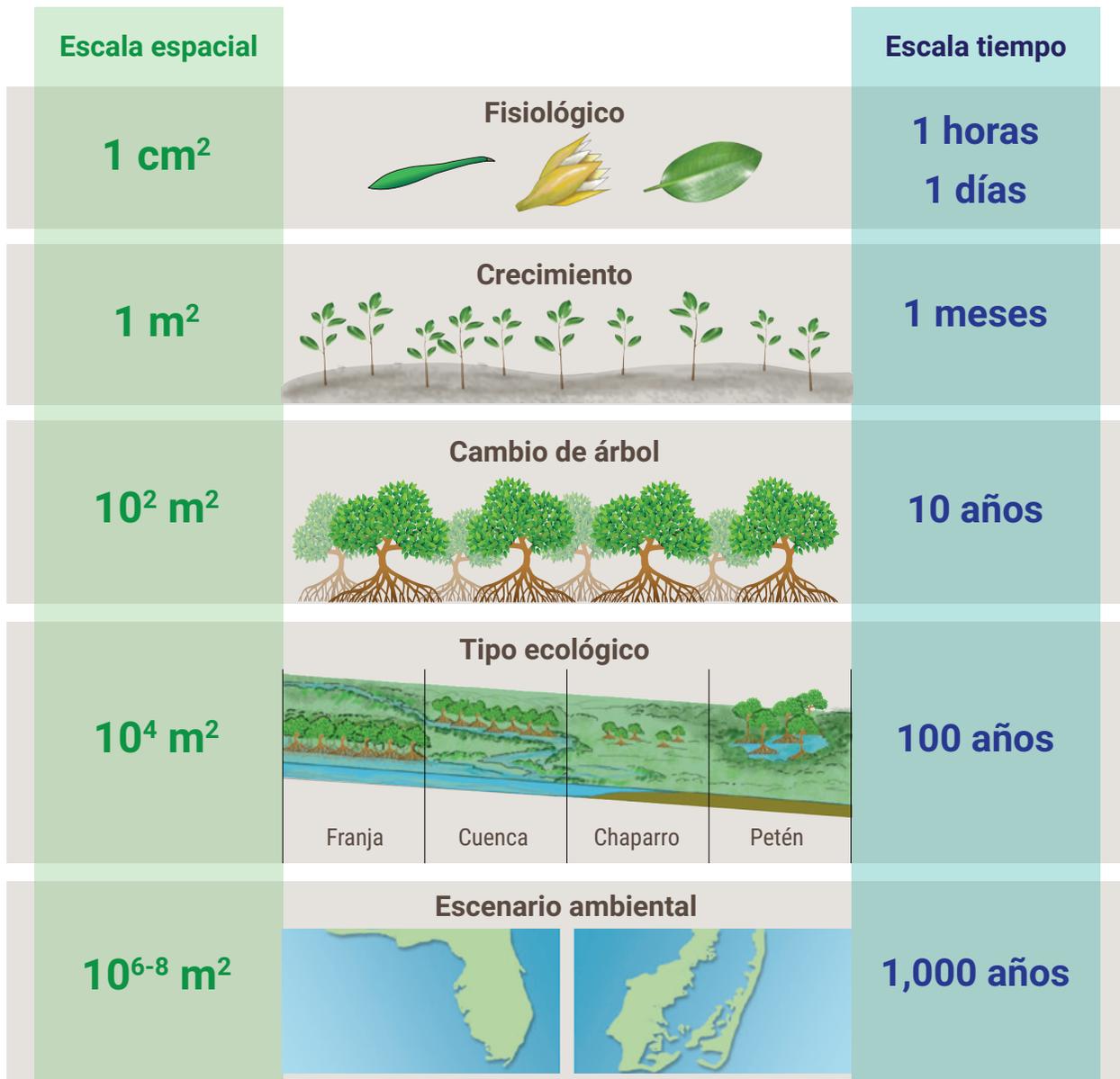


Figura 1.6 – Escalas temporales y espaciales por considerar en la restauración ecológica de manglar. Modificado de Twilley *et al.* 1999.

Es relevante considerar la escala espacial debido a que los ecosistemas de manglar están estrechamente vinculados en su funcionamiento con otros ecosistemas costeros: desde el mar abierto hasta las cuencas terrestres internas. Entre estos ecosistemas existen intercambios de materia y energía con los flujos de agua y con el transporte de sedimentos. Estos intercambios pueden contribuir a la recuperación del ecosistema de manglar, sin más intervención que la facilitación de alguno de estos flujos (restauración pasiva). A una escala espacial grande de restauración (> 100 ha), una restauración pasiva (reactivación del flujo de agua) es preferible debido a que el ecosistema de manglar se auto-organiza en relación con los otros ecosistemas vecinos. A escala espacial pequeña puede ser más eficaz una restauración activa (reforestación, modificaciones topográficas) que, además de habilitar los flujos de agua, consiste en la revegetación activa con plantas, usando técnicas adecuadas y conocimientos de la autoecología de las especies (Fig. 1.7).

Restauración pasiva



Consiste en la eliminación de factores que conducen a la degradación o destrucción. Se centra en la mejora de los procesos eco-hidrológicos para la reconstrucción de la hidrogeomorfología y la auto reposición de la comunidad biológica, promoviendo la dinámica natural del ecosistema (Simenstad *et al.*, 2006; Zhao *et al.*, 2016).

Restauración activa



Requiere una intervención física a través de acciones de ingeniería que intencional y específicamente recrean la estructura y proceso del humedal con el fin de restaurar, volver a crear o mejorar la estructura de la comunidad y los procesos de los humedales (Simenstad *et al.*, 2006; Wagner *et al.*, 2008).

Figura 1.7 – Tipos de restauración de acuerdo con el tipo de acciones de restauración implementadas. Sin embargo hoy en día se propone olvidar la dicotomía entre restauración pasiva y activa y admitir un continuo de acciones de restauración (Chazdon *et al.*, 2021).

La conexión entre el manglar con otros ecosistemas terrestres y marinos sugiere que la escala espacial de restauración del conjunto de la zona costera puede ser la más adecuada para recuperar sus ecosistemas degradados y los bienes y servicios que proveen (Fig. 1.8).

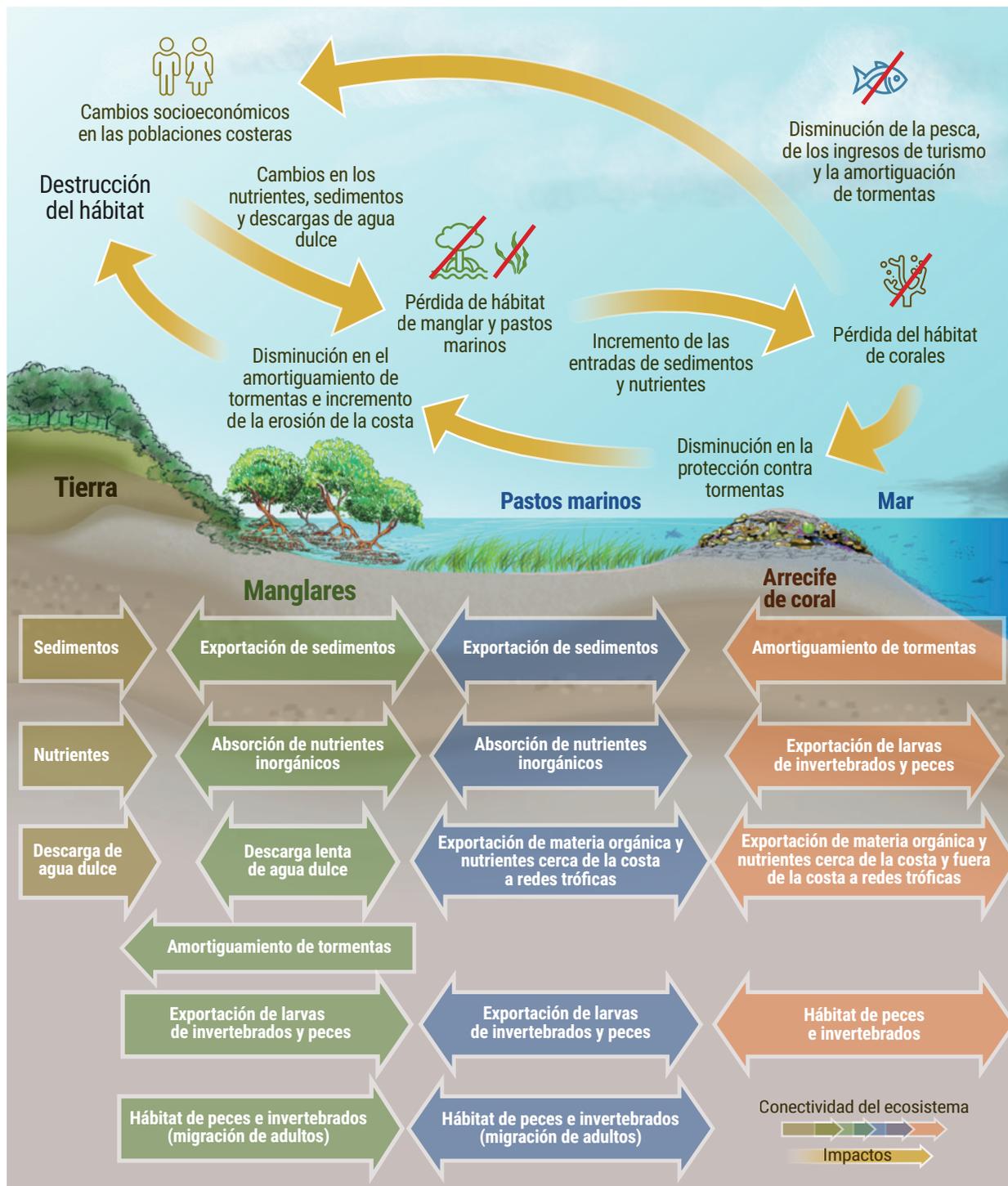


Figura 1.8 – Diagrama que muestra la conectividad entre los ecosistemas manglares, pastos marinos y arrecifes de coral. La conectividad física y ecológica entre ecosistemas se representa para cada ecosistema: terrestre (flechas marrones), manglares (flechas verdes), pastos marinos (flechas azules) y arrecifes de coral (flechas rojas). Posibles retroalimentaciones a través de ecosistemas e impactos de diferentes actividades humanas en los servicios de los ecosistemas (flechas amarillas). Modificado de Silvestri y Kershaw (2010).



2. Restauración ecológica de manglar

La estrategia para llevar a cabo un proyecto de restauración ecológica de manglares desarrollada en este manual se basa en los estándares y principios internacionales para la restauración ecológica de la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, 2004; Gann *et al.*, 2019). Tiene como pilar la creación de arreglos y acuerdos institucionales que fortalecen la gobernanza del grupo (equipo de trabajo) y que dan certeza de las acciones y responsabilidades de cada parte durante el proceso de restauración, lo que asegura su sostenibilidad económica y la permanencia del ecosistema restaurado a largo plazo.

Considera además un enfoque multidisciplinario que integra los componentes sociales, ecológicos y económicos; de manera que el proyecto se base en fundamentos ecológicos, sea económicamente viable y socialmente aceptable. Para ello, es fundamental la participación y representatividad de las comunidades locales (componente social), el grupo científico-técnico (académicos y profesionales) y el componente económico y también legal que incorpora a las autoridades y financiadores durante todo el proceso de restauración.

La estrategia se resume en seis pasos principales que incluyen los componentes sociales, ecológicos y económicos. (Fig. 2.1).



Figura 2.1 – Estrategia de restauración ecológica para manglares (modificado de Teutli-Hernández y Herrera-Silveira, 2016).

1

Conformación del grupo de trabajo



La restauración de manglares es un trabajo que debe ser abordado por diferentes sectores, de manera que presente una gobernanza adecuada y cohesión durante todo el proyecto. Se recomienda que el grupo técnico este integrado por miembros de la comunidad local, grupos sociales organizados, pueblos indígenas, organizaciones civiles, académicos y profesionales, administradores del sector ambiental y representantes de las fuentes financieras. Cada sector aporta diferentes fortalezas al proyecto para su ejecución (Fig. 2.2).



Figura 2.2 –Participación de diferentes sectores de la sociedad en el grupo de trabajo para el fortalecimiento de acuerdos institucionales durante la restauración. Elaboró Diana J. Cisneros.

Por principio, la participación de la **sociedad** (comunidades locales, pueblos indígenas) es indispensable. Esta debe ser considerada desde la planeación, en la ejecución y el monitoreo de los proyectos de restauración siendo los principales beneficiarios de los resultados. Esto debido a que viven directamente o en zonas aledañas del manglar, por lo que aportan información local valiosa sobre el sitio y deben de tener un buen manejo de sus recursos. Por ello, en todo proyecto de restauración se debe incluir los saberes locales y tradicionales, así como los intereses de la sociedad para integrarlos en los objetivos de la restauración. Su aceptación y participación es fundamental para la permanencia a largo plazo de los proyectos a través de la apropiación del sitio, de los cuales obtienen múltiples beneficios.

La **academia y los profesionales** constituyen el grupo técnico-científico que se encarga de aplicar los principios científicos durante la restauración, así como poner en práctica la ecología de la restauración y sus teorías. De modo que las acciones de restauración se basen en la relación del conocimiento de la geomorfología, hidrología y las características estructurales y funcionales del ecosistema de manglar en diferentes escalas espaciales y temporales. Esto permite, que los sitios de restauración sean laboratorios naturales que fortalecen o generan conocimiento para mejorar las técnicas actuales, así como contribuir en la formación de recursos humanos, y capacitar a las comunidades para un monitoreo comunitario que fortalezca la apropiación del sitio y la permanencia de los resultados de la restauración.

Las **autoridades y financiadores** son el grupo que se encarga de gestionar el recurso económico para llevar a cabo la restauración, así también se encargan de la gestión legal (permisos del área a restaurar) y administrativa que se tiene que realizar en un proyecto de restauración. Su participación permite el impacto de la restauración en políticas públicas, metas globales, regionales y nacionales. Esto es posible siempre que haya una adecuada comunicación y difusión del proceso y de los resultados del proyecto. La participación de las organizaciones civiles es clave, debido a que aportan certeza financiera al proyecto a la vez que contribuyen en la promoción del bienestar social, representando y vinculando los objetivos del proyecto a las necesidades locales o regionales.

Las responsabilidades de cada uno de los miembros del grupo y el nivel de participación deben establecerse desde el comienzo, a fin de que los acuerdos y arreglos institucionales o de grupo que se generen, se cumplan durante el proceso de restauración y favorezca el éxito y viabilidad a largo plazo. No siempre es posible contemplar la participación de todos los actores involucrados al inicio del proyecto, sin embargo, su participación debe ser incentivada a lo largo del proceso de restauración a través de talleres, capacitaciones y difusión adecuada del proyecto enfatizando los beneficios para cada sector involucrado.



Participación de academia, instituciones y sociedad en el grupo de trabajo para la restauración de Manglares en Sian ka'an, Quintana Roo, México.

2

Identificación del sitio y definición de objetivos y metas



La elección del sitio siempre debe estar en función de las necesidades de la comunidad y los servicios ecosistémicos que deseen ser recuperados. Puede ser un área definida por todo el grupo (i.e. sociedad, financiadores, la academia). Una herramienta para delimitar el sitio a restaurar es el mapa de restauración potencial que está disponible en <http://oceanwealth.org/mangrove-restoration/>, a través del cual se pueden visualizar áreas potenciales a restaurar. (Worthington y Spalding, 2018).



Sitio conservado cercano

Permite asegurar la disponibilidad de propágulos y semillas y así evitar el uso de viveros, disminuyendo el costo de restauración.



Fuente de agua cercana

Ubicar fuentes de agua (dulce/salobre/salada), para permitir la desalinización del sitio o salinización según sea el caso.



Accesibilidad al sitio

Considerar el tiempo y costo para los viajes, fácil de ubicar, el sitio pueda ser usado con fines de demostración y capacitación.



Beneficios a la comunidad

Beneficios directos a la comunidad (pesca, madera, apicultura, etc.).



Certeza y cantidad de financiamiento

El monto del financiamiento está relacionado con la accesibilidad del sitio, el área, el nivel de deterioro, entre otros.



Seguridad

Evitar poner en riesgo a las personas involucradas en las acciones de restauración de los sitios seleccionados.



Permisos de la autoridad y consenso de la comunidad

Tener el permiso de la autoridad y consentimiento de la comunidad autóctonas antes de iniciar los proyectos de restauración.



Vinculación con otros proyectos

El intercambio de experiencias e información de proyectos que se hayan ejecutado.



Factores de presión antrópica

Se deben considerar las presiones antrópicas del sitio y el cambio de uso de suelo para la viabilidad a largo plazo.



Tenencia de tierra y estatus de protección

Se debe contar con algún tipo de seguridad jurídica que permita que la restauración y sus beneficios perduren en el tiempo.



Objetivo del área a restaurar

El área debe adecuarse al objetivo que se desea alcanzar.



Nivel de perturbación

Considerar de acuerdo con los recursos disponibles y el costo de las acciones necesarias para su recuperación.



Oportunidad para ciencia y educación ciudadana

Cuál es el potencial educativo y de investigación con el desarrollo del proyecto.

Figura 2.3 – Criterios para considerar durante la identificación y delimitación del sitio a restaurar.

Elaboró Eunice Pech y Diana J. Cisneros.

Sin embargo, al usar esta herramienta es importante considerar la escala en la que se trabajará, pues no siempre refleja las características específicas del sitio a nivel regional y local; por lo cual siempre debe ser verificado directamente con datos de campo obtenidos del sitio elegido. Adicionalmente, para la elección de sitio es importante considerar criterios políticos, económicos, ecológicos y sociales que contribuirán a asegurar la viabilidad, ejecución y permanencia de los resultados de la restauración (Fig. 2.3). Es importante definir, si está disponible, un sitio de referencia en buena condición que permitirá establecer una meta de hacia dónde podríamos llegar o acercarnos lo más posible a esta condición con la restauración ecológica. En caso de no haberlo, consultar de acuerdo con la literatura y los datos históricos del sitio (especies, condiciones ambientales, etc.) para saber hacia dónde queremos ir con la restauración.

Se debe establecer un objetivo alcanzable y medible en el proyecto de restauración, este puede ser ecológico o social y debe responder a preguntas como: ¿Qué se quiere recuperar? La comunidad, la vegetación, la abundancia de peces, reducción en la salinidad del sedimento, el flujo hidrológico, proteger la costa, etc.; ¿Por qué se quiere restaurar? Puede ser: para recuperar la comunidad de cangrejos para carnada, recuperar la comunidad de aves, recuperar el hábitat de especies acuáticas de importancia comercial o un servicio ecosistémico específico o solucionar un problema social (e.g. crear empleos temporales con las acciones); ¿Cuánto costará la restauración? En este aspecto los implementadores deben considerar el desarrollo de talleres, el pago de jornales para la comunidad que participa en las acciones de restauración, equipamiento para el muestreo, para la implementación de las acciones de restauración y equipo de seguridad, además siempre se debe considerar un presupuesto para el monitoreo de la restauración; y para la socialización de las lecciones aprendidas durante el proceso de restauración ¿Quiénes ejecutarán y coordinarán la restauración?, ¿Cómo se evaluará la restauración?, etc.

Para contestar estas preguntas, se deben establecer metas y objetivos específicos a corto, mediano y largo plazo (Fig. 2.4).



Figura 2.4 – Características de los objetivos y metas en la restauración de manglares.

Elaboró Diana J. Cisneros.

Las metas definen la condición o estado del ecosistema y los atributos que el proyecto pretende lograr a través del proceso de restauración. Estas serán cumplidas a través de los objetivos específicos, los cuales siempre deben expresarse en términos de indicadores cuantificables para identificar si el proyecto está alcanzando o no las metas planteadas dentro de los plazos identificados (Tabla 2.1). De esta forma puede evaluarse el progreso de la restauración y si es necesario hacer modificaciones bajo el enfoque del manejo adaptativo.

TABLA 2.1 — Ejemplo de objetivos y metas planteadas en la restauración ecológica de manglares

Objetivo	Metas	Objetivos específicos	Variable indicadora
Restaurar 36 ha de manglar degradado.	Establecer plántulas de manglar mediante el restablecimiento de la hidrología y disminución de la salinidad intersticial.	<p>Reducir la salinidad intersticial a 50% en 18 meses.</p> <p>Favorecer la regeneración natural en un periodo de 18 meses.</p> <p>Sincronizar las variaciones del nivel del agua entre el canal construido y el de referencia en 6 meses.</p>	<p>Salinidad</p> <p>Número de plántulas</p> <p>Frecuencia, nivel y duración de la inundación</p>

3

Ecología Forense



Todo proyecto de restauración debe iniciar con el diagnóstico que permita identificar la causa o causas de la degradación o pérdida del manglar, y determinar las condiciones ambientales actuales del sitio. La ecología forense es el diagnóstico del sitio a restaurar, mediante la caracterización ecológica y social actual e histórica del sitio, lo cual incluye la medición de múltiples variables relacionadas con características geomorfológicas, hidrológicas, parámetros fisicoquímicos, cambios históricos del contexto social e institucional del sitio (Fig. 2.5).

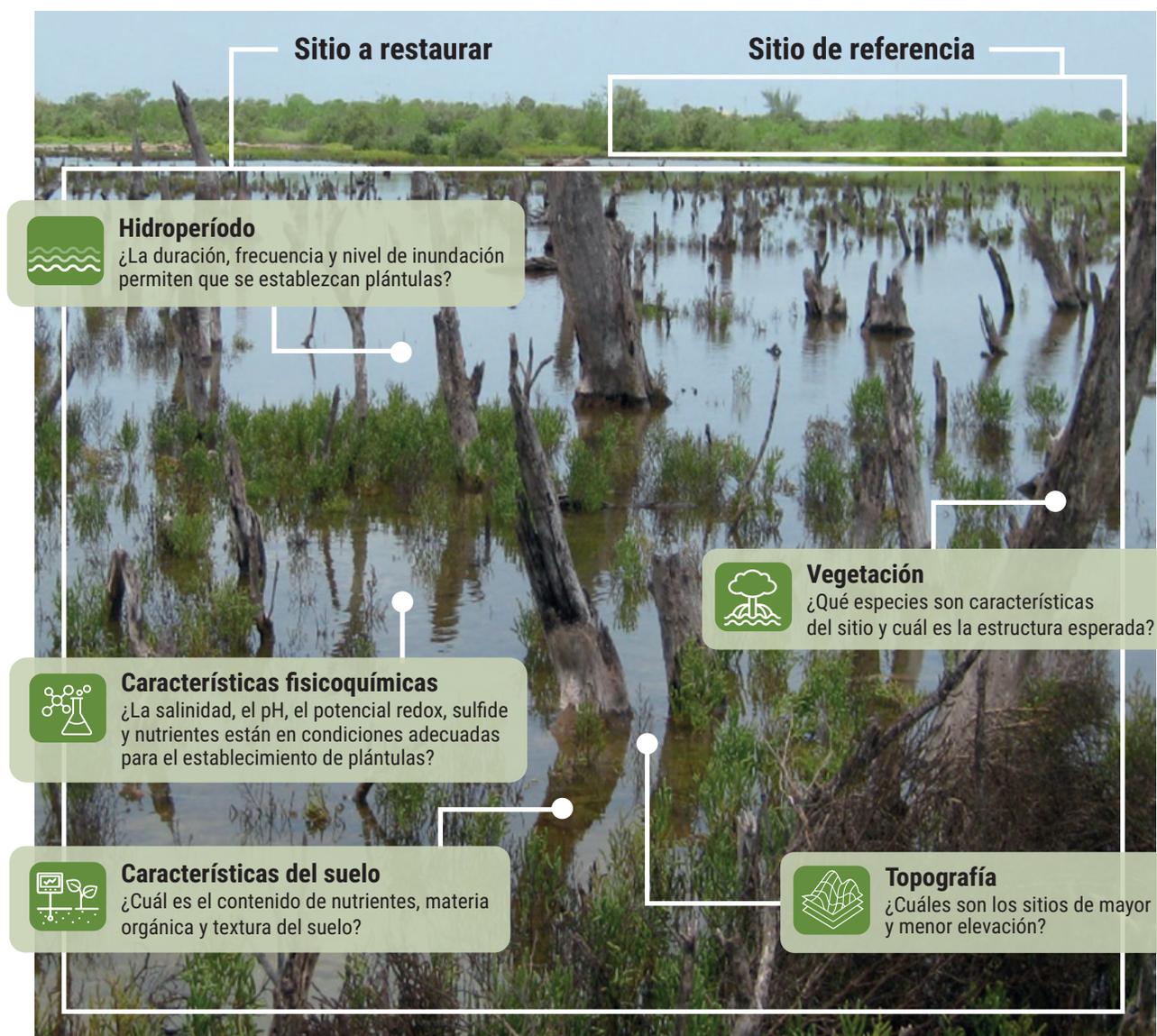


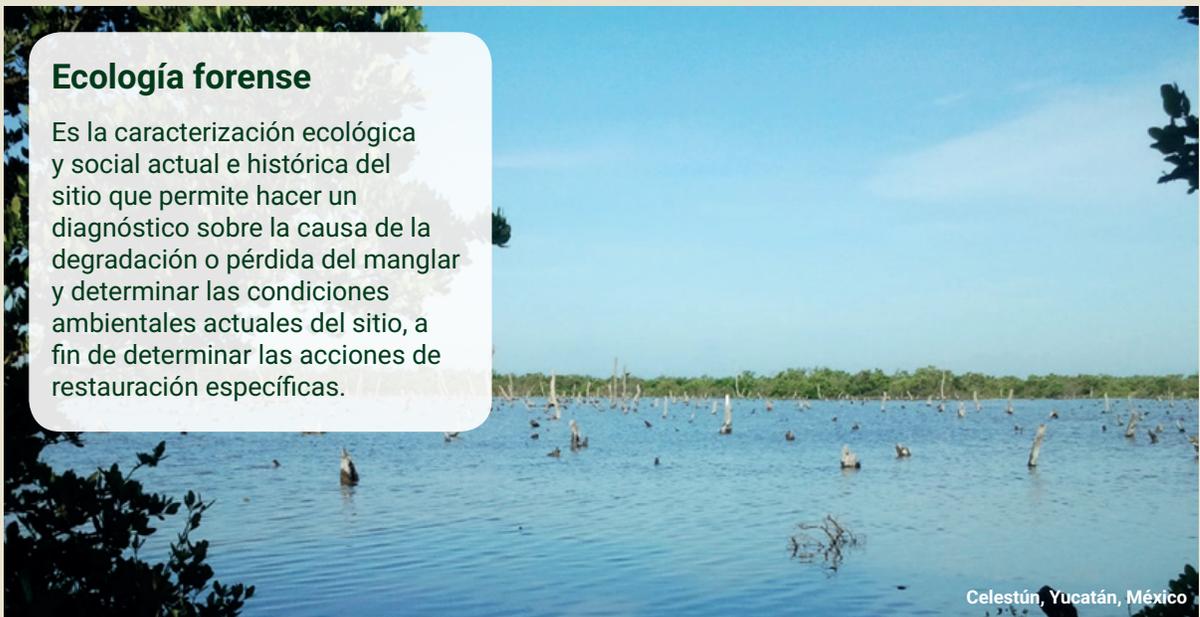
Figura 2.5 – Consideraciones ambientales en la ecología forense para el diagnóstico y caracterización del sitio. Elaboró Diana J. Cisneros.

Se debe considerar el análisis de un sitio conservado el cual fungirá como sitio de referencia en buena condición (Recuadro 2.1). Este sitio permitirá tener una aproximación a las condiciones previas a la degradación y representa el estado hacia donde se podría llegar con la restauración. En el caso de que no haya un sitio conservado disponible cerca, será necesario establecer referencias en las variables indicadoras a partir de la literatura y la investigación histórica del sitio, así como de la experiencia de los implementadores. Es recomendable, considerar también un sitio de referencia degradado que no sea intervenido y que sea evaluado al mismo tiempo que el sitio de referencia en buena condición y el sitio a restaurar. Este permite establecer el resultado propio de las acciones de la restauración, además de poder evaluar su resiliencia en caso de recuperarse de manera natural.

RECUADRO 2.1

Ecología forense

Es la caracterización ecológica y social actual e histórica del sitio que permite hacer un diagnóstico sobre la causa de la degradación o pérdida del manglar y determinar las condiciones ambientales actuales del sitio, a fin de determinar las acciones de restauración específicas.



Celestún, Yucatán, México

Sitio de referencia conservado

Permite obtener una aproximación a las condiciones previas a la degradación y representa un estado final deseable tras la restauración.



La ecología forense incluye la investigación de antecedentes sobre proyectos realizados anteriormente en el sitio, la tenencia y uso de la tierra actual e histórica, pueblos indígenas, comunidades locales y comunidades autóctonas presentes y actividades económicas realizadas en el área, así como impactos históricos y actuales del sitio. Para la caracterización ecológica del sitio, se consideran variables como: la micro topografía, la hidrología, características fisicoquímicas del agua (intersticial/superficial), propiedades del suelo y estructura de la vegetación. Las mediciones deben realizarse en el sitio de referencia conservado, sitio de referencia degradado, así como en el sitio a restaurar.

Las variables específicas a ser medidas durante la ecología forense deben definirse de acuerdo con las metas y los objetivos de la restauración que haya planteado el grupo de trabajo. Los valores obtenidos durante la caracterización ecológica del sitio ayudan a establecer una línea base respecto a la condición del sitio que permite cuantificar y seguir los cambios durante la restauración a través del monitoreo (ver capítulo 2.5). Con el fin de tener un monitoreo visual, se recomienda tener puntos fijos establecidos en toda el área a restaurar para llevar a cabo un monitoreo fotográfico. Esto, permite mostrar los resultados de manera visual a los tomadores de decisiones o a financiadores potenciales para continuar el proyecto (Fig. 2.6).

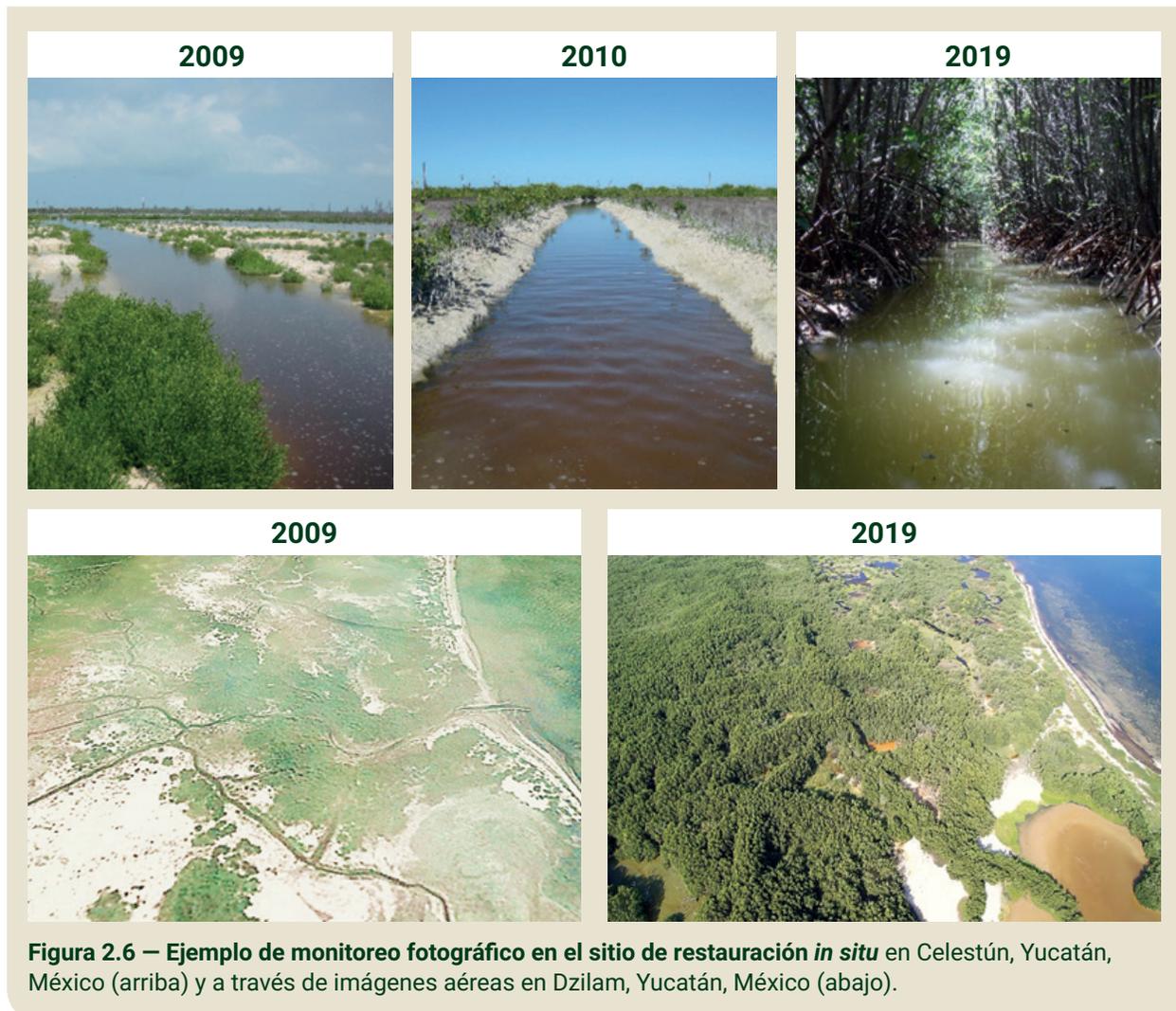
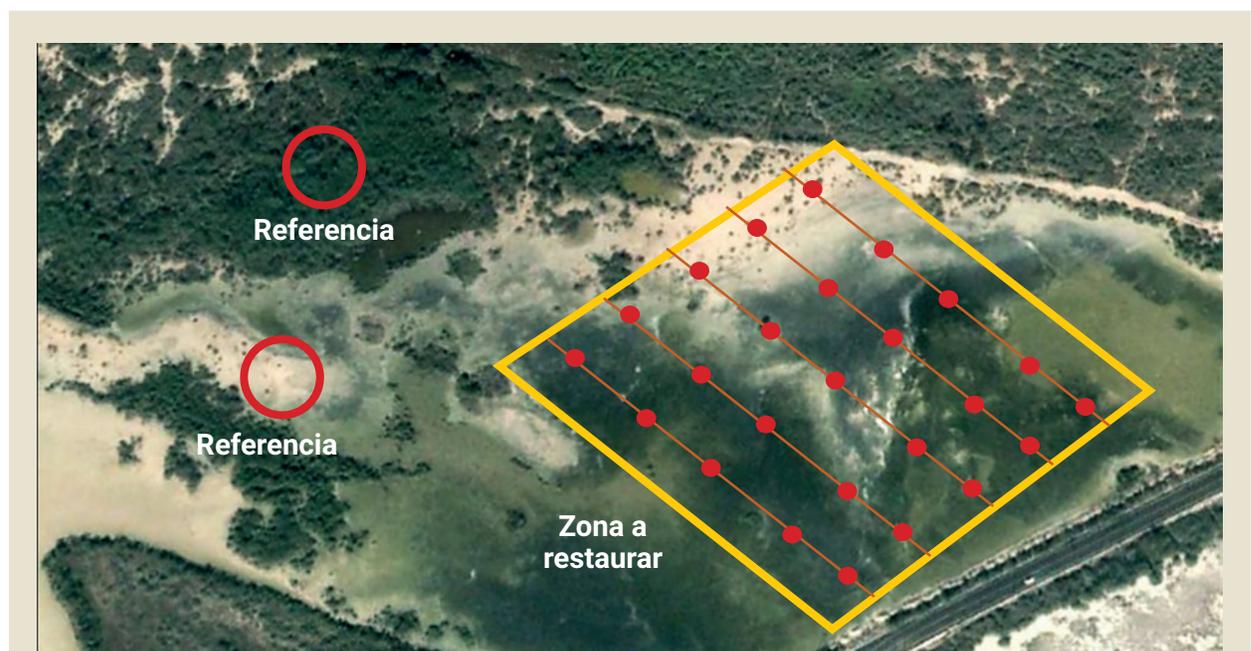


Figura 2.6 – Ejemplo de monitoreo fotográfico en el sitio de restauración *in situ* en Celestún, Yucatán, México (arriba) y a través de imágenes aéreas en Dzilam, Yucatán, México (abajo).

Es recomendable realizar un análisis a escala de paisaje, a través de fotografías aéreas e imágenes de satélite para identificar las posibles causas de la degradación en el sitio, así como definir puntos de acceso y establecer los puntos de muestreo. Para el componente ecológico, el esfuerzo de muestreo depende de los recursos disponibles y los objetivos del proyecto. Sin embargo, se recomienda un muestreo sistemático en el que se establezcan transectos con puntos de muestreo equidistantes que logren describir la heterogeneidad ambiental del sitio (Fig. 2.7). En cada punto de muestreo se medirán las variables ecológicas, de manera que se genere una matriz de información que represente las diferencias hidrológicas, topográficas y fisicoquímicas del sitio. Esta información permite desarrollar un plan de acción sitio-específico.

Las estaciones de muestreo que se establezcan durante la ecología forense permitirán establecer puntos permanentes de toma de datos y muestras para el monitoreo de las variables indicadoras que evalúen el desarrollo de la restauración.



Las fotos aéreas sirven para delimitar el sitio y puntos de muestreo.



Figura 2.7 – Ejemplificación de selección de los sitios de referencia y diseño de muestreo del área a restaurar para la caracterización del sitio, usando imágenes de satélites y aéreas.
Fotos: Progreso, Yucatán, México.

A continuación, se describen los componentes ecológicos y la importancia de ser considerados durante la ecología forense para la caracterización y diagnóstico del sitio. Para las diferentes variables se presentan opciones metodológicas y sus referencias para ser consultadas para mayor detalle de acuerdo con los diferentes objetivos y presupuestos. Sin embargo, es necesario considerar algunos materiales básicos para el muestreo del sitio durante la ecología forense y para el monitoreo, el cual puede ajustarse de acuerdo con los recursos disponibles del proyecto (Recuadro 2.2).

RECUADRO 2.2 – Material básico para el muestreo en manglar

En el desarrollo de un proyecto de restauración de manglar los recursos disponibles pueden representar un limitante para el muestreo para la ecología forense y monitoreo. Por lo que se presentan diferentes metodologías para la

medición de las variables ecológicas. Aquí se presenta un kit de herramienta y equipo básico para el muestreo en campo, los cuales pueden ser sustituidos por equipos y herramientas especializadas según los recursos disponibles.

 Vegetación	 Flexómetro	 Cinta métrica	 Cinta diamétrica *Recomendable	 Clinómetro	 Vernier	 Placas de aluminio
 Topografía	 Mangueras de plástico	 Cinta métrica 50 m	 Reglas de madera 1 m	 Hidrología	 Reglas de madera 1 m	
 Características fisicoquímicas	 Termómetro	 Refractómetro	 Tiras indicadoras pH	 Electrodos de platino y multímetro	 Jeringa de 20ml con tubo de acrílico	
 Suelo	 Tubos PVC 2" con tapa	 Bolsitas herméticas	 Reglas de madera 1 m	 Nucleador		
Generales	 Cinta flagging	 Tubos PVC 1"	 GPS	 Marcadores indelebles		



1. Topografía

En un manglar degradado es común observar variaciones en la topografía con respecto al sitio conservado. El nivel de suelo puede hundirse a consecuencia de la oxidación de la materia orgánica o aumentar por rellenos, deposición de dragados, o por cambios en la hidrología y la sedimentación. Los cambios microtopográficos en el sitio degradado resultan a su vez en cambios en el hidoperíodo (Recuadro 2.3). Su medición durante la ecología forense permitirá identificar los sitios de escurrimiento y las zonas de mayor y/o menor nivel topográfico (Fig. 2.8). Su medición permite identificar las zonas que necesitan ser modificadas a través de elevaciones o reducciones topográficas, así como las trayectorias más favorables para los canales de ser necesarios.

Es recomendable realizar análisis batimétricos del sitio y de los cuerpos de agua cercanos que tienen influencia en el manglar. Esto permite realizar modelos hidrodinámicos con el fin de identificar, mediante modelos, zonas permanentemente inundadas o zonas que se inundan temporalmente, los cuales permiten identificar flujos preferenciales y así determinar las acciones de restauración adecuadas a la topografía específica del sitio y que maximicen el éxito de la restauración (Twilley y Monroy, 2005; Pérez-Ceballos *et al.*, 2017).

RECUADRO 2.3



La topografía es uno de los principales controladores del hidoperíodo que, a su vez regula la existencia de gradientes de salinidad, disponibilidad de oxígeno y los procesos ecológicos asociados (productividad, ciclos biogeoquímicos en la columna de agua y en el sedimento) (Twilley y Rivera-Monroy, 2005; Alongi, 2009; Reddy *et al.*, 2013).



- 1** Determinar transecto y/o puntos de muestreo.
- 2** Medición puntual o en transecto.
- 3** Obtención de curvas de nivel y modelo digital.

Manguera de nivel

- Manguera 20m
- Regla graduada 1m
- Cinta métrica 50m
- GPS Moreno-Cassola y Warner, 2009

Nivelación geométrica

- Nivel
- Estadías verticales Diego-Soroa, 2020

GPS diferencial

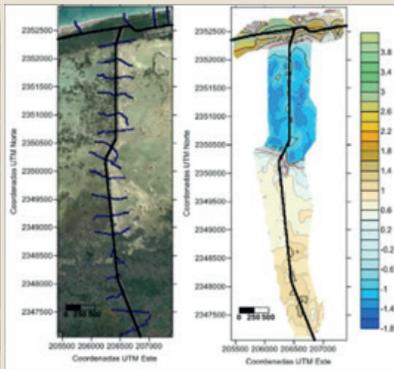
- GPS
- Estación Mantilla, 2012

Vuelos con Dron

- Dron-sensor
- Antena RTK o GNSS (mayor precisión) Mantilla-Guayanay, 2012



Medición de nivel topográfico con la técnica de la manguera.



Modelo topográfico de mediciones en transecto.



Ortomosaico generado por medio de un levantamiento fotogramétrico con cámara en dron.

Figura 2.8 – Alternativas metodológicas para la medición de la microtopografía durante la caracterización de sitios de manglar. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.



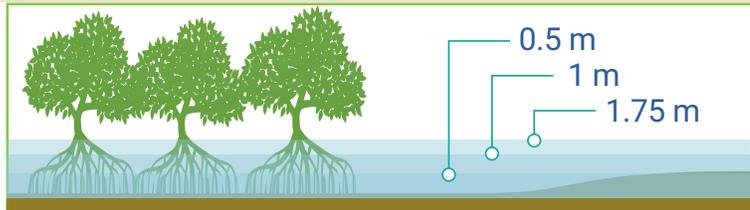
2. Hidrología

Las afectaciones en la hidrología son, generalmente, las principales causantes de la degradación del manglar (Recuadro 2.4). Para este componente se deben considerar las fuentes de agua con influencia en el humedal y su hidroperíodo (Fig. 2.9), el cual está dado por el nivel, tiempo y frecuencia de inundación (Mitsch y Gosselink, 2007). En un sitio degradado es usual observar que los patrones de inundación han sido alterados. Si el sitio permanece mucho tiempo inundado, esto no permite la oxigenación del suelo; por el contrario, si no hay presencia de agua puede haber una hiper salinización del sedimento, o bien, si los niveles de inundación se incrementan más allá de la tolerancia fisiológica de las especies de manglar, pueden causar su muerte.

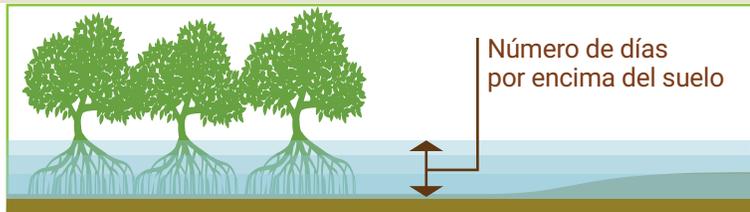
Por otra parte, se debe identificar si hubo una desconexión de los flujos de agua naturales del manglar. El uso de herramientas gratuitas como Google Maps y la colaboración de los pueblos indígenas, comunidades locales y las comunidades autóctonas que tienen buen conocimiento del sitio permite identificar zonas en donde los patrones hidrológicos han sido afectados.

RECUADRO 2.4 – Composición del hidroperíodo

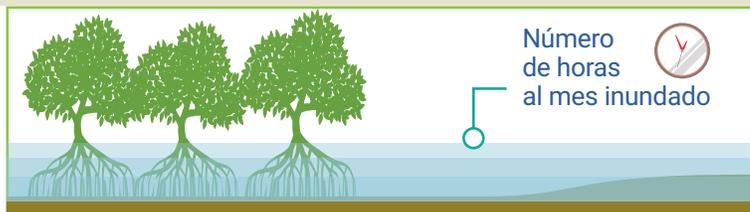
1) Nivel de inundación: la altura de la columna de agua por encima del nivel del suelo (metros; promedio mensual).



2) Frecuencia de inundación: se refiere al número de días al mes en que una columna de agua está por encima del nivel del suelo.



3) Tiempo de inundación: es la suma de las horas en que cada mes permanece inundado el suelo del manglar.



El hidroperíodo regula diversos procesos ecológicos en el manglar en diferentes escalas espaciales y temporales. Regula procesos biogeoquímicos del sedimento, así como variables fisicoquímicas del agua como la salinidad y la disponibilidad de oxígeno. Además, regula la presencia y distribución de las especies dada su tolerancia diferencial a la inundación. Los cambios en la hidrología pueden resultar en la muerte del manglar y en la limitación de establecimiento natural de propágulos (Twilley y Rivera-Monroy, 2005).



- Sensores automáticos de presión**
- Sensor automático de presión
 - Tubos PVC (polyvinyl chloride)

Moreno-Cassola y Warner, 2009

Piezómetros

- Tubos PVC
- Sonda para medir profundidad
- Flexómetro o metro de madera

Diego-Soroa, 2020

Estadal permanente

- Estadal
- Flexómetro o metro de madera

Diego-Soroa, 2020

1 Selección sitios mayor y menor nivel

2 Medición puntual o continua



Sensor automático de presión marca HOBOTM



Colocación de sensor de presión automático en sitio conservado de referencia

Figura 2.9 – Medición del hidroperíodo en el sitio degradado y el sitio de referencia a través de diferentes herramientas y técnicas. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.



3. Características fisicoquímicas

La medición de las características fisicoquímicas en el sitio de referencia en buena y mala condición y en el sitio a restaurar permiten determinar que variables han sido afectadas y la magnitud de su cambio (Fig. 2.10). Para su medición es necesario tomar muestras del agua intersticial y superficial (en caso de que esté presente), en todos los sitios. Las variables fisicoquímicas que se recomienda medir son: salinidad, temperatura, pH, potencial redox, sulfuro y nutrientes inorgánicos (nitritos + nitratos, fosfato, amonio). El análisis de estas variables permitirá tener una aproximación del grado de degradación y de recuperación del sitio restaurado (Recuadro 2.5).

Si no es posible medir todas las variables fisicoquímicas se sugieren como variables esenciales para la caracterización y posterior monitoreo: la salinidad intersticial, la temperatura, el pH y el potencial redox, tanto del agua intersticial, como de la superficial, en caso de haber (Fig. 2.10).

RECUADRO 2.5

Las variables fisicoquímicas son factores que regulan la estructura y función de los ecosistemas de manglar (Twilley y Rivera-Monroy, 2005). Entre ellos, la salinidad fuera de los rangos de tolerancia de las especies de manglar representa un estrés fisiológico, limitando su crecimiento y distribución.

Por otra parte, el potencial redox y el pH son variables reguladas y/o estresores asociados a la hidrología del sitio. El estado de oxidación del suelo (potencial redox), el contenido de azufre y su especiación y distribución de sulfuros (Sulfide) son factores relacionados entre sí y determinantes en el pH del suelo (Oxmann *et al.*, 2010; Sha *et al.*, 2018).

Estas variables a su vez se relacionan con la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes como el P y el N, interviniendo en la reactivación de los ciclos biogeoquímicos y regulando a su vez el establecimiento, supervivencia y crecimiento de la flora y fauna del humedal (Mitsch & Gosselink, 2007; Reddy & DeLaune, 2008; Oxmann *et al.*, 2010).





Figura 2.10 – Técnicas para la medición de variables fisicoquímicas del agua intersticial y superficial (*en caso de presentarse) para la caracterización y monitoreo de manglar. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.



4. Suelo

El suelo de los ecosistemas de manglar es el mayor almacén de carbono orgánico, por lo que es un componente clave. En un ecosistema de manglar en buena condición, el contenido de materia orgánica almacenada en el suelo es un buen indicador de conservación. En zonas degradadas los cambios en el hidropérido causan la oxigenación y una rápida descomposición de la materia orgánica, por lo que el contenido de materia orgánica y por ende de carbono suele ser menor (Recuadro 2.6). Las variables para medir las propiedades del sedimento son: contenido de materia orgánica, densidad aparente y la relación carbono-nitrógeno-fósforo (Fig. 2.11). Estas variables funcionan como indicadores de la condición del suelo. A través de ellos pueden observarse los impactos ocurridos y el contenido de nutrientes disponibles en el sedimento. Así mismo, permiten determinar si el suelo es apto para el crecimiento de la vegetación. Si bien los cambios más rápidos se dan a los primeros 30 cm del suelo, siendo la capa más vulnerable, en los humedales las capas más profundas del suelo también pueden ser afectadas (Hooijer *et al.*, 2006).

RECUADRO 2.6

Los cambios en la hidrología del sitio se reflejan en las características del sedimento, por lo que sirven como variables integradoras para conocer los impactos y los procesos biogeoquímicos que han ocurrido a través del tiempo. Las características del sedimento reflejan los impactos en la carga de nutrientes y contaminantes en el sitio (Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2018). Debido a que los indicadores físicos del suelo pueden permanecer más allá del tiempo en que las condiciones del suelo han sido alteradas, se consideran indicadores permanentes y estables y por ello tienen un fuerte valor en la evaluación del sitio (Campos y Moreno-Casasola 2009; Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2018).





Para el análisis del suelo es necesario coleccionar núcleos (Fig. 2.11), el número a coleccionar dependerán de los puntos de muestreo establecidos, tanto en el sitio referencia (conservado/ degradado) y el sitio restaurado. Esto permitirá hacer comparaciones entre sitios, así como ver la recuperación del sitio restaurado. Al coleccionar el núcleo se debe hacer una descripción del color, que se puede sistematizar usando las Tablas Munsell, y el grosor de los diferentes estratos y la presencia de materia orgánica visible, que pueden servir como variables "proxys" si no hay recurso para análisis de laboratorio (Fig. 2.12).

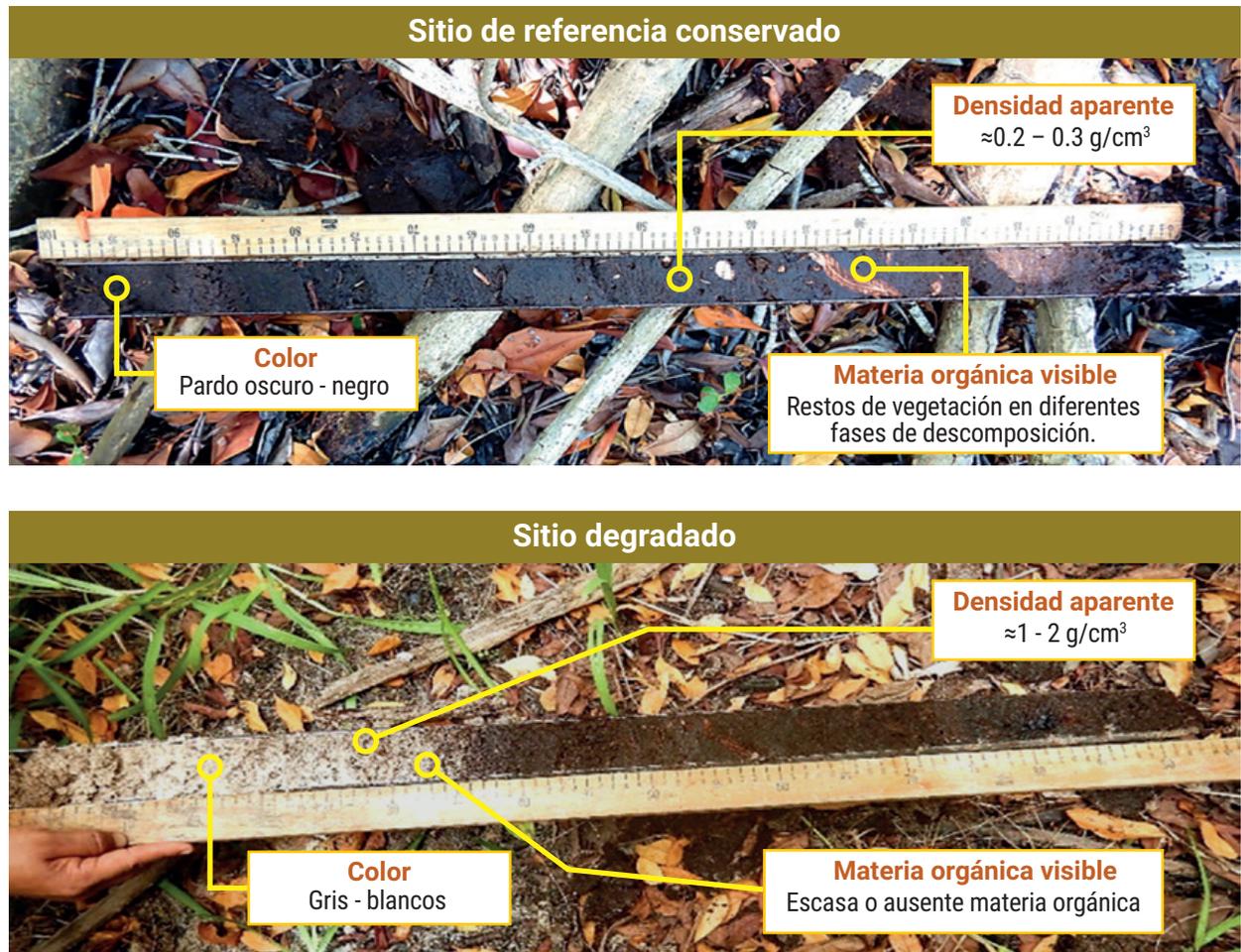


Figura 2.12 – Comparación de variables "proxy" como color, densidad aparente y materia orgánica visible en los núcleos de sedimento de un sitio conservado de referencia y uno degradado.



5. Vegetación

La evaluación de la estructura forestal dentro del sitio degradado y de referencia proporciona una aproximación de las condiciones en las que se encontraba el sitio antes de la perturbación (Recuadro 2.7). La cercanía de un sitio en buen estado de conservación funciona como una fuente de propágulos y semillas de manglar para la regeneración natural del sitio a restaurar.

El sitio degradado, pudiera presentar parches de vegetación o árboles muertos en diferentes grados de descomposición. La medición de la vegetación remanente dentro del sitio permitirá determinar la previa estructura y composición del sitio.

Se recomienda medir las siguientes variables: altura total, diámetro normal o diámetro a la altura del pecho (DN o DAP), área basal, densidad de individuos, número y frecuencia de especies, Índice de Valor de Importancia (IVI) y repoblamiento (medición de plántulas y juveniles) (Fig. 2.13). Una vez que se han elegido las variables específicas a medir durante la ecología forense, estas deben ser medidas durante todo el monitoreo de la restauración cuidando seguir las mismas técnicas y equipo para disminuir el error de muestreo.

RECUADRO 2.7

Las variables estructurales del manglar son indicadores de la condición del ecosistema. Las características estructurales son un “proxy” del resultado de la restauración, y está en función del tipo fisionómico de manglar en el que se esté trabajando (franja, cuenca, chaparro, etc.).

La medición del repoblamiento en el sitio de referencia ayuda a establecer la dinámica de la población y saber si el bosque produce los suficientes propágulos y semillas para el establecimiento de nuevos individuos. Al restablecer la hidrología del sitio, estos pueden ser dispersados al área en restauración y si se han recuperado las condiciones adecuadas, establecerse y crecer. La composición de especies del sitio conservado brinda información sobre las especies que se espera puedan regenerarse naturalmente en el sitio, o bien de aquellas que podrían servir en caso de ser necesaria la reforestación.





Figura 2.13 – Medición de estructura y composición de la vegetación en el sitio de referencia y en el sitio degradado. Debido a la gran heterogeneidad ambiental y estructural de los manglares se han desarrollado directrices generales para la medición de manglares que pueden ser consultados en Cintrón y Schaeffer-Novelli (1983), Kauffman *et al.*, (2013) y Rodríguez-Zúñiga *et al.*, (2018). Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.

4

Acciones de restauración



Las acciones de restauración ecológica tienen como principal objetivo recuperar las condiciones ambientales, hidrológicas y fisicoquímicas que permitan el establecimiento y crecimiento de la vegetación (Recuadro 2.8). La estrategia diseñada para la ejecución de las acciones de restauración debe basarse en el resultado de la ecología forense (Paso 3), donde se determina un plan de acción sitio – específico, basado en las características topográficas, hidrológicas, fisicoquímicas y biológicas del sitio (Fig. 2.14).

El plan de acción siempre debe considerar el monitoreo de la restauración, ya que permite evaluar si las acciones implementadas están dando resultados o se deben realizar modificaciones bajo el enfoque de manejo adaptativo de acuerdo con las metas y objetivos planteados por el grupo de trabajo (ver capítulo 2.5). Así mismo, siempre debe considerar los talleres y capacitaciones para la comunidad. En el plan de acción se debe considerar las metas previamente establecidas, así como los objetivos y el tiempo en el que se proyecta su cumplimiento.

RECUADRO 2.8 – Acciones de Restauración Ecológica

Su objetivo principal es recuperar las condiciones ambientales que favorezcan el establecimiento y crecimiento del manglar, con el fin de recuperar la estructura y función del ecosistema.



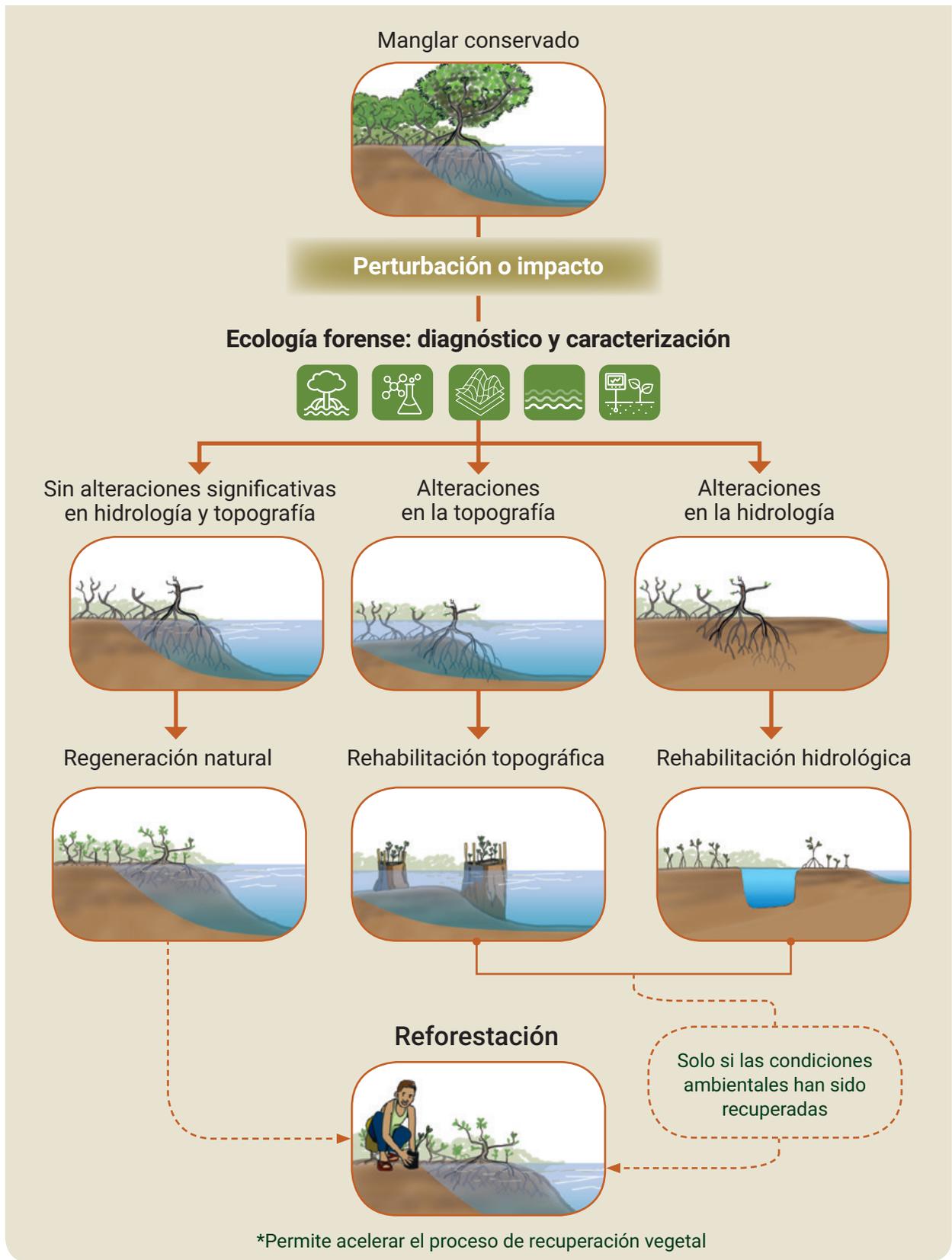


Figura 2.14 – Diagrama de decisión para elaborar un plan de acción y la elección de las acciones de restauración a implementar. Diseñado por Diana J. Cisneros.

Las acciones de restauración se pueden dividir en dos tipos: pasiva (restauración hidrológica) y la activa (rehabilitación topográfica y/o reforestación) (Fig. 2.15). Se recomienda que la implementación de las acciones de restauración sea a través de la participación colaborativa entre diferentes sectores, involucrando a miembros de las comunidades, organizaciones de la sociedad civil, empresas locales, académicos y entidades gubernamentales. Durante la implementación de la restauración, siempre deben llevarse bitácoras de actividades, verificación de acciones y un registro fotográfico que sirvan como mecanismos de control.





1. Rehabilitación hidrológica

La rehabilitación hidrológica (restauración pasiva) puede ejecutarse a través de acciones, como el desazolve de pasos de agua y canales naturales, hasta la creación de nuevos canales. La ubicación de los canales estará definida por la información recabada durante la ecología forense, a fin de identificar las zonas donde los flujos de agua han sido interrumpidos, las rutas de los flujos naturales y para establecer posibles rutas para canales nuevos (Recuadro 2.9). La participación de los pueblos indígenas, las comunidades locales y las comunidades autóctonas es fundamental durante la planeación de la rehabilitación hidrológica, pues contribuyen con su conocimiento empírico para identificar canales naturales y retroalimentar los modelos de flujos preferenciales creados con la topobatemetría del sitio.

RECUADRO 2.9

Canal primario



Canal espina de pescado



Canal forma de "zig zag"



La habilitación de canales es una de las prácticas más comunes para la rehabilitación hidrológica. Al restablecer la hidrología del sitio se recuperan paulatinamente las condiciones adecuadas que permitan el establecimiento de plántulas de manera natural.



Desazolve de canales

El desazolve consiste en la remoción de los depósitos de sedimentos o material sólido orgánico e inorgánico que obstruye los flujos de un cauce hidrológico, con la finalidad de lograr mayor capacidad de desagüe y hacer más eficiente la circulación del agua dentro del sitio, de acuerdo con los flujos naturales. El desazolve también es considerado parte del mantenimiento que se debe realizar a canales nuevos y es recomendable realizarlo entre cada año y hasta cinco años (según el grado de azolve), de preferencia en la época de secas. Sin embargo, se espera que el diseño de los canales contribuya a disminuir los esfuerzos de mantenimiento. Generalmente esta acción consigue restaurar la hidrología del sitio y con ellos las condiciones adecuadas para desencadenar el proceso de sucesión secundaria la cual permite el restablecimiento de la vegetación (Recuadro 2.10).

Es importante mencionar que la materia orgánica que se remueva de estos sitios debe dejarse dentro del área del proyecto para que pueda continuar con su proceso de descomposición y contribuir a los almacenes de carbono. El desazolve de canales debe ser realizado con la participación de personal técnico o especializado en el área, y con la participación de la comunidad (Fig. 2.16).

RECUADRO 2.10

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 las paredes de los canales y por tanto las acciones de mantenimiento sean poco frecuentes (Teutli-Hernández *et al.*, 2020). El sedimento no debe dejarse en los bordes del canal. Esta es una mala práctica que, limita la inundación de las zonas degradadas a ambos lados del canal.




Causas del azolve



Infraestructura vial, erosión y deforestación arrastran los sedimentos hacia las partes bajas y/o canales.




Mantenimiento de canales



Imitar la configuración de los canales naturales para disminuir el mantenimiento.


Participación comunitaria



Debido a la dificultad de acceso a las zonas, se recomienda hacer esta acción manualmente.

1

Identificación de los canales obstruidos

2

Marcaje del canal o cauce identificado

3

Retirar el sedimento azolvado



- Google Earth ©
- Equipo de cómputo



- GPS
- Tubos PVC y cintas



- Palas, pico
- Costales de rafia

Figura 2.16 – Pasos y recomendaciones para el desazolve de canales naturales como acción de restauración ecológica de manglares. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.

Rehabilitación de pasos de agua

La construcción de los caminos es una de las causantes más comunes de cambios negativos en la hidrología de un sitio (Teutli-Hernández y Herrera-Silveira, 2018). En la construcción de carreteras suelen diseñarse pasos de agua que regularmente son ineficaces ya que no permiten un adecuado intercambio de agua entre ambos lados del camino (Recuadro 2.11). Cuando éste es el caso, es necesario rehabilitar los canales de conexión ya existentes (Fig. 2.17).

Se sugiere que los pasos de agua tengan forma de “Y” invertida a partir del punto de conexión del paso de agua, con una longitud de aproximadamente de 5 m teniendo un punto de conexión con los canales, (Fig. 2.17). Esta acción tiene como objetivo que la distribución y alcance del agua que pasa por estas estructuras sea lo más amplio espacialmente. Los canales deben tener una profundidad de al menos 1 m para asegurar el flujo de agua entre cada lado, aún en mareas bajas y época de estiaje. Estas medidas orientativas deben adecuarse en función de la intensidad de los flujos de agua, la profundidad de la roca madre y el área a restaurar.

RECUADRO 2.11

Es necesario construir adecuadamente los pasos de agua de conexión para permitir el flujo de agua entre ambos lados. La estrategia de desazolve y la adecuada modificación aumenta la probabilidad de que el agua fluya en diversas direcciones en el humedal a restaurar y reduce el riesgo de colmatación y por ende las acciones de mantenimiento serían temporalmente menos frecuentes (1 a 5 años).



Paso de agua obstruido por escombros

Paso de agua desazolvado, en forma de “Y”.



 **Recomendaciones**



Se debe considerar una profundidad de al menos 1 m para asegurar el flujo de agua entre cada lado aún en mareas bajas y época de estiaje.



1 Identificar los pasos obstruidos

2 Trazar canales en "Y" invertida

3 Retirar el sedimento acumulado



- Google Earth ©
- Equipo de cómputo



- Tubos PVC



- Palas y picos, carretillas
- Retroexcavadora

Figura 2.17 – Rehabilitación de pasos de agua para restablecer el flujo de agua en sitios afectados por la construcción de caminos. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.

Habilitación de canales nuevos

La habilitación de canales nuevos debe ser considerada cuando el desazolve de canales naturales no sea suficiente para restaurar la hidrología del sitio. Los canales nuevos tienen como objetivo asegurar el flujo de agua de manera continua y que esta tenga entrada y salida. Las rutas de la red de canales son establecidas con la información recabada en la ecología forense. Para la realización de los canales se requieren herramientas de uso manual o, en su caso, maquinaria pesada como retroexcavadoras, esto dependerá de las características del sitio, la magnitud y recursos del proyecto (Fig. 2.18).

Las características de los canales nuevos con respecto a profundidad y ancho variarán de acuerdo con las condiciones específicas de los sitios, tratando de imitar la configuración de los canales naturales (Recuadro 2.12). Se recomienda que las paredes de los canales tengan una inclinación de 30-45° y una profundidad mínima de 1 m (según las características del sitio, en suelos poco profundos puede ser hasta de 0.5m) para proporcionar heterogeneidad y que el flujo-reflujo del agua no erosione con facilidad las paredes de estos y así las acciones de mantenimiento sean poco frecuentes. El sedimento extraído de los canales generalmente es dejado en las orillas de los canales, lo que evita que la influencia del canal se expanda más allá de sus orillas. Por lo que es recomendable expandir el sedimento o bien este puede ser usado para otras acciones complementarias como rellenar sitios de menor nivel topográfico que así lo requieran (ver remoción de sedimentos en el capítulo 2.4.2).

RECUADRO 2.12

La participación de la comunidad en las acciones de restauración contribuye en la apropiación del valor del sitio. Su capacitación es fundamental, así como proporcionar todo el material necesario para que las acciones se realicen con las medidas de seguridad requeridas.





Figura 2.18 – Pasos y recomendaciones para la habilitación de nuevos canales que permitan restablecer la hidrología del sitio degradado. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.



2. Rehabilitación topográfica

Esta acción se lleva a cabo cuando la zona a restaurar presenta cambios en el nivel topográfico con respecto al sitio de referencia en buena condición (Recuadro 2.13). Las diferencias topográficas en el sitio degradado tienen como consecuencia afectaciones en la hidrología del sitio, erosionando el sedimento o alterando los niveles y frecuencia de la inundación. Por lo tanto, no permite el establecimiento del manglar y es cuando se debe realizar la remoción del sedimento. Así también se pueden presentar zonas permanentemente inundadas (> 1 m), debido a la subsidencia del sedimento resultado de la descomposición de la materia orgánica, aumentando el nivel de inundación que no permite el establecimiento de propágulos o semillas de manglar, por lo que se tienen que realizar elevaciones topográficas.

RECUADRO 2.13

Un ecosistema heterogéneo favorecerá el repoblamiento por diferentes especies, promoviendo un proceso de sucesión secundaria, y proporcionando mayor probabilidad de resistir o recuperarse posterior a un impacto, esto en comparación con un ecosistema homogéneo, e.g. como en las reforestaciones monoespecíficas.



Remoción del sedimento

Esta acción se basa en la reducción topográfica del nivel del terreno de las partes altas; o bien se realiza como parte del mantenimiento de los pasos de agua, el desazolve de canales naturales o en la creación de nuevos (ver capítulo 2.4.1). Para la remoción del sedimento es importante identificar a través de la modelación topográfica y la hidrología del sitio, aquellas zonas de mayor nivel topográfico. Esta información permite identificar las zonas donde el sedimento puede ser transportado (Fig. 2.19). El rastrillado del sedimento contribuye, además de nivelar los bordes de los canales, a la remoción de costras de sal que se pudieran haber formado contribuyendo a la regeneración natural en el sitio.



Figura 2.19 – Recomendaciones y pasos para la remoción de sedimento para la rehabilitación topográfica en la restauración ecológica de manglar. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.

Centros de dispersión

En los casos en donde los niveles topográficos sean menores a los de referencia y los niveles de inundación sean muy altos que, no permiten el establecimiento de las plántulas, se pueden acondicionar centros de dispersión (CD). Los CD, o también llamados tarquinas o plataformas, son modificaciones topográficas que permiten elevar el nivel topográfico y crear las condiciones adecuadas para el establecimiento de plántulas (Recuadro 2.14). Estudios preliminares en la utilización de los centros de dispersión reportan que crean condiciones fisicoquímicas del sedimento adecuadas para el establecimiento de plántulas de manglar (Pinzón-Vanegas, 2017).

RECUADRO 2.14

Los centros de dispersión son modificaciones topográficas que elevan el nivel para que las condiciones de inundación sean adecuadas para el establecimiento de plántulas. Estos centros de dispersión deben habilitarse con diferentes niveles, a fin de que haya heterogeneidad topográfica que propicie una mayor diversidad y resiliencia en el ecosistema.



Los CD pueden realizarse de diferentes formas y con diferentes materiales de acuerdo con la disponibilidad del material que este en cada región y los recursos del proyecto. Se requiere que el material con el que se elabore sea permeable, de manera que permita el paso de agua, pero que a su vez evite el lavado del sedimento. Un ejemplo de material que puede ser usado es la malla geotextil o malla sombra. Se recomienda que los CD sean elaboradas de manera artesanal, con ayuda de los grupos de la comunidad que este participando en el proyecto. La malla es soportada con al menos 4 estacas de madera aproximadamente de 1.5-2 m, usando hilo alquitranado para el amarre. También se puede usar material vegetal ya sean herbáceas, ramas, o cualquier material que ayude a retener el sedimento y mantenga la elevación adecuada. La altura de los CD debe ser igual o 5-10% menor a la altura máxima de inundación del sitio a restaurar (esta se define con el nivel al que se presenta el sitio de referencia en buena condición), por lo que la información del diagnóstico es básica para definir con precisión este tipo de detalles. Se recomienda que la altura final de los CD sea similar al sitio de referencia en buena condición (Fig. 2.20).

El sedimento que se utiliza para los CD es obtenido del desazolve o de la elaboración de los canales (Fig. 2.20). Sin embargo, es importante asegurar que los CD 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, al permitir el correcto flujo de agua, las condiciones de salinidad sean propicias para el establecimiento de plántulas. La estructura de la malla con los postes puede reciclarse posteriormente cuando se registren individuos estructuralmente establecidos.



Para su distribución, se sugiere formar conglomerados aleatorios conformados por 5 centros de dispersión abarcando un área determinada (Fig. 2.21). El número y ubicación de los 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 de los recursos económicos disponibles. El área de los CD puede ser variable, pero entre 1 y 5 m de diámetro han demostrado mayor eficiencia en el restablecimiento de la vegetación.

Centros de dispersión (Elevación topográfica)

Elección para la ubicación de los CD



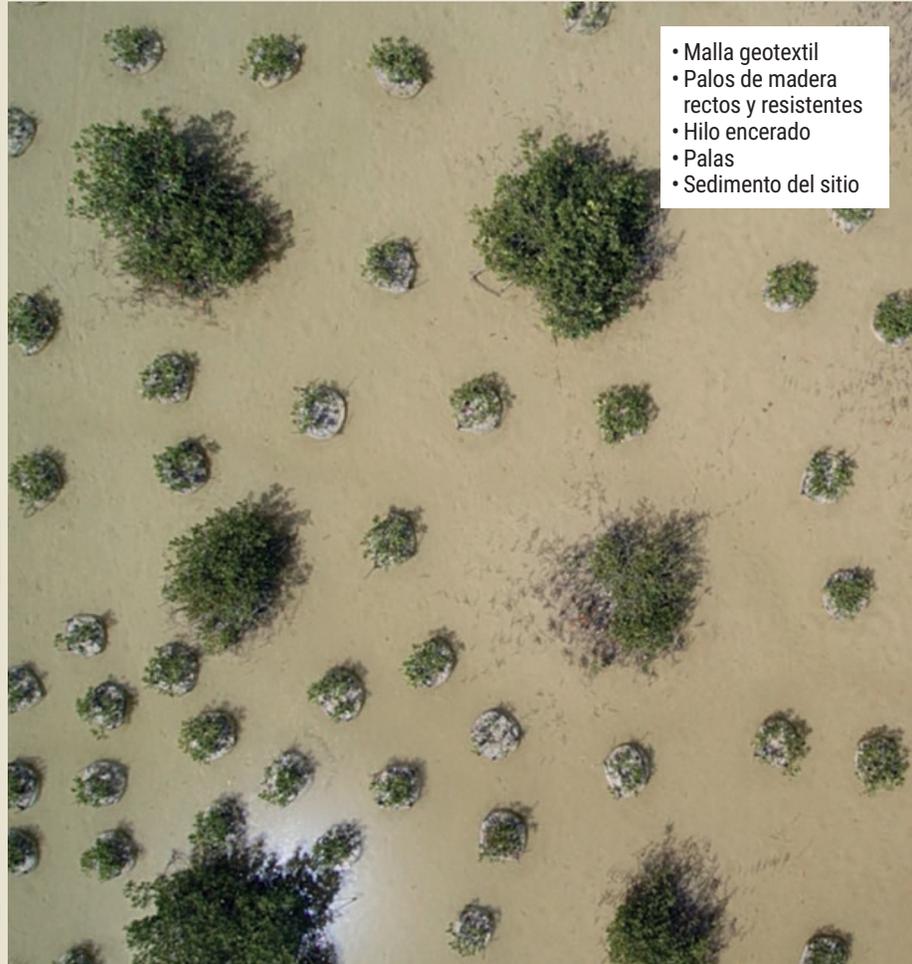
Elaboración de CD con malla-sombra



Instalación de CD en zonas inundadas



Conglomerados de 5 centros de dispersión



- Malla geotextil
- Palos de madera rectos y resistentes
- Hilo encerado
- Palas
- Sedimento del sitio

1 Selección de la ubicación

2 Elaboración

3 Habilidad



Se sugiere ubicarlos en sitios donde el nivel de inundación es mayor a 0.4 - 0.5 msnm y la salinidad intersticial < 80 ups.



Pueden ser zonas de establecimiento natural o reforestación, lo cual permitirá a través de la restauración activa acelerar el proceso para la recuperación.

Figura 2.21 – Habilidad de centros de dispersión (CD) en el área degradada de manglar. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.



3. Reforestación

La reforestación ha sido la técnica más empleada mundialmente para proyectos de restauración de manglar (FAO, 1994; Teutli-Hernández, 2017). 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 dispendio/dispersión de recursos y esfuerzo, sin resultados exitosos.

La reforestación se recomienda cuando la dispersión de semillas y propágulos no es suficiente en el sitio, por una baja tasa de regeneración natural. La reforestación permite acelerar la recuperación de la estructura y funciones del manglar, y sirve como una medida para reforzar la participación comunitaria en el sitio (Recuadro 2.15) (Teutli-Hernández, 2017; Brown *et al.*, 2014).

Al decidir como acción la reforestación, es necesario que el sitio a restaurar tenga las condiciones ambientales adecuadas (hidrológicas y fisicoquímicas) para el establecimiento de las plántulas. Si las condiciones no son adecuadas, deben realizarse las acciones de restauración pertinentes antes de la plantación, y las plántulas deben estar previamente aclimatadas a estas condiciones de salinidad y exposición de luz.

RECUADRO 2.15

Se debe implementar una reforestación que propicie la heterogeneidad ambiental, la cual proporciona mayor resiliencia al sistema, evitando crear monocultivos que no garantizan la recuperación de las funciones ecológicas del ecosistema. Para la elección de las especies a reforestar se debe tener como referencia las registradas en el sitio conservado o de referencia.



Siembra directa

La reforestación directa consiste en la siembra de propágulos, lo que permite que las plántulas crezcan desarrollando estrategias funcionales adecuadas a las condiciones ambientales en las que se encuentran (Cisneros-de la Cruz, 2019). Como consecuencia las plántulas presentan mayor supervivencia y resiliencia. Se recomienda que el origen del material vegetal para restaurar sea 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.

También es importante que la colecta de propágulos se haga en diferentes árboles, de preferencia con al menos 10 m de separación entre sí, esto permite una mayor diversidad genética de los propágulos por sembrar. La recolecta del material vegetal se realiza con la participación de las comunidades, capacitadas para distinguir las semillas o propágulos que estén sanos, maduros y libres de enfermedades (Fig. 2.22). Es necesario que se consideren los permisos adecuados del gobierno para su colecta en caso de que exista una legislación para la protección y manejo de las especies de manglar de la región.

<p>Colecta de propágulos y semillas</p>				
		 <p>Formar conglomerados</p>	 <p>Origen de los propágulos</p>	 <p>Selección de especies</p>
<p>Siembra y transplante</p>		<p>Semillas: 10 por m². Propágulo: 5 por m² con una talla mínima de 15 cm, excepto en propágulos de manglar tipo chaparro.</p>	<p>El material vegetal para restaurar debe ser recolectado de las zonas conservadas aledañas al sitio.</p>	<p>La reforestación debe considerar la autoecología de la especie, así como las especies presentes en el sitio de referencia.</p>

Figura 2.22 – Reforestación por siembra de semillas o propágulos de manglar. Elaboró Oscar Pérez, Andrés Canul y Diana J. Cisneros.

Viveros

Los viveros son útiles para acelerar el proceso de crecimiento en la estructura del manglar y cuando la tasa de regeneración natural del bosque de manglar es baja (Lewis III, 2005). Los viveros permiten controlar el crecimiento de propágulos hasta que las plántulas sean menos vulnerables a la herbivoría o a los cambios de inundación y a la fuerza de las mareas (Melana *et al.*, 2000; Ravishankar y Ramasubramanin, 2004). Los propágulos cultivados deben ser originarios a los sitios cercanos al área de restaurar, lo que permite que las plantas tengan mayor capacidad de adaptación (Proffit y Travis., 2010).

Así mismo, se deben considerar las especies que se encuentren en el sitio de referencia para conseguir un manglar más diverso y resiliente. Al cultivar en un vivero es necesario considerar las condiciones ambientales a las que serán trasplantadas. Si las plántulas son cultivadas bajo condiciones de baja salinidad e incidencia solar y son sembradas en condiciones contrastantes serán sometidas a un estrés fisiológico que ocasionará su muerte. Por tanto, su cultivo bajo condiciones similares al del sitio o la correcta aclimatación es indispensable para aumentar las probabilidades de supervivencia de las plántulas. Para ello es necesario conocer y considerar los límites fisiológicos de las especies (Recuadro 2.16).

RECUADRO 2.16

La recolecta del material vegetal se realiza con la participación de las comunidades, capacitándolos para distinguir las semillas o propágulos en estado óptimo para su siembra. Se debe conocer la temporada de fructificación o fenología de cada especie. Las especies seleccionadas deben ser en función de la salinidad del área degradada o de interés. Se sugiere que el vivero cuente con inundaciones periódicas, con la mayor incidencia de luz y con acceso de agua dulce y salada.





La reforestación es una actividad que permite reforzar el involucramiento social de diferentes tipos de actores y la apropiación del ecosistema. Sin embargo, siempre debe hacerse tomando en cuenta la autoecología de la especie y una vez que las condiciones ambientales han sido recuperadas.

5

Monitoreo



El monitoreo permite evaluar el progreso de la restauración respecto a los objetivos y metas específicas establecidas para el proyecto. Es indispensable considerar el seguimiento de la restauración, en la medida de lo posible, por al menos cinco años; lo que permitirá hacer ajustes bajo el enfoque de manejo adaptativo si fuera necesario para cumplir con los objetivos previstos y metas (Biswas *et al.*, 2009). El monitoreo consiste en la evaluación de criterios de éxito a través de un seguimiento sistemático y análisis de variables indicadoras (Fig. 2.23).

Las variables indicadoras son atributos específicos y cuantificables en el tiempo que ayudan a cumplir con los objetivos a corto, mediano y largo plazo. Para evaluar el progreso de la restauración es necesaria la medición de variables indicadoras en los sitios de referencia en buena condición, degradado y en el sitio restaurado, para demostrar el grado de la recuperación o no del sitio restaurado, lo que falta respecto a las metas establecidas y lo que se ha mejorado respecto al estado degradado inicial (SER; 2004, Marchand *et al.* 2021).

Existen indicadores esenciales que se recomiendan medir siempre debido a que son variables importantes en los ecosistemas de manglar, mientras que otros indicadores resultan complementarios o de mayor especificidad de acuerdo con los objetivos y recursos particulares de cada proyecto. El número de indicadores y la frecuencia de los muestreos estarán delimitados por los objetivos y los recursos humanos y económicos disponibles, es recomendable crear sistemas de monitoreo comunitario en donde se involucre a la sociedad en la evaluación. Esto permite la apropiación del ecosistema y por tanto la vigilancia ciudadana.

En cualquiera de los casos, es fundamental que el monitoreo siempre se aborde desde el enfoque de manejo adaptativo, el cual permite lidiar con la incertidumbre y complejidad del ecosistema y si es el caso, adecuar las estrategias para mejorar los resultados basándose en la información que resulta del programa de monitoreo (Biswas, *et al.*, 2009).

Los indicadores ecológicos consisten en su mayoría de las variables que se usaron y que se describen metodológicamente en la ecología forense, lo que permite llevar su seguimiento durante la restauración (ver sección 3. Ecología Forense, pág. 28), además de otras variables que permiten evaluar la recuperación de la biodiversidad del sitio. Así mismo, a la par se debe evaluar el componente socioeconómico. Su inclusión durante la implementación y evaluación del proyecto permite evaluar el costo-beneficio de la restauración y así como fortalecer las prácticas en la restauración. A la vez, garantiza la participación y bienestar social y la permanencia de los resultados a través de un aprovechamiento sustentable de los recursos.

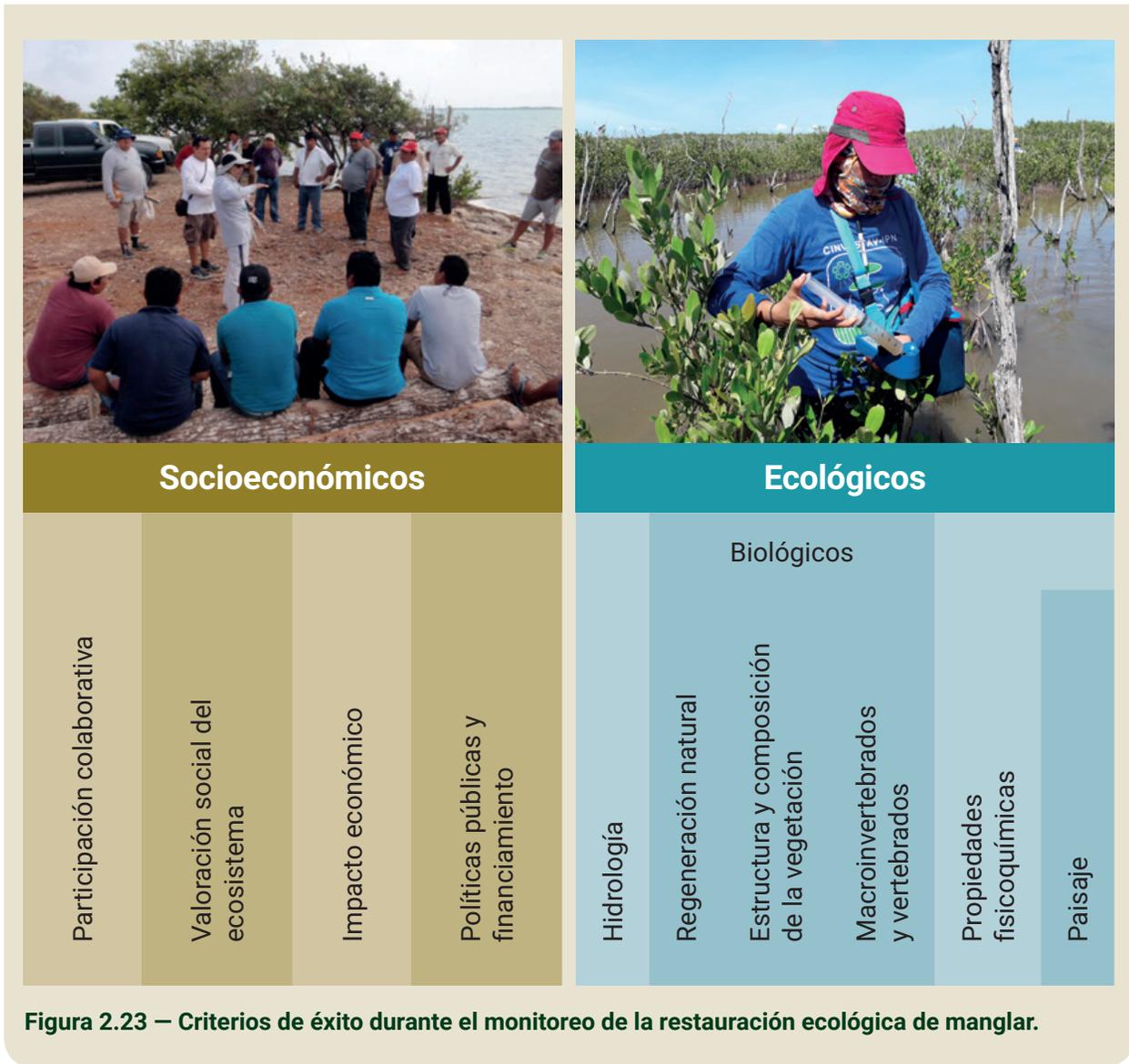


Figura 2.23 – Criterios de éxito durante el monitoreo de la restauración ecológica de manglar.

A continuación, se describen los criterios ecológicos y socioeconómicos, así como las variables indicadoras recomendadas para su medición y su implicación durante la restauración ecológica de manglares.

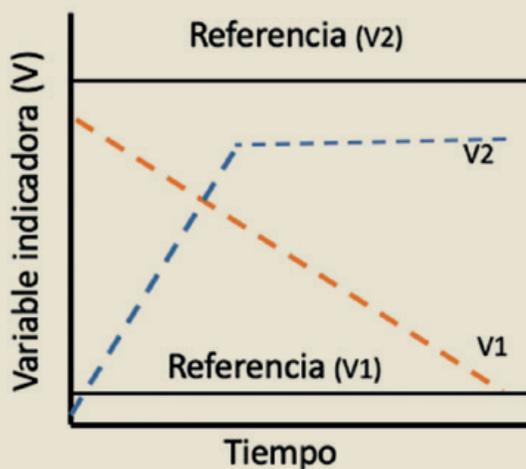


1. Indicadores ecológicos

Los indicadores ecológicos deben reflejar las condiciones ambientales del sitio restaurado, por lo que deben mostrar patrones a diferentes escalas y ayudar a determinar acciones apropiadas. Estos indicadores se derivan de mediciones de la condición actual del sistema restaurado, incluyen: la estructura y composición del manglar, características fisicoquímicas del agua y del sedimento, evaluación de la fauna posterior a las acciones de restauración (Tabla 2.2). Se debe tener presente que el papel principal de un indicador es medir la respuesta del ecosistema restaurado (Niemi y McDonald, 2004).

Para la evaluación, es importante considerar que la restauración está sujeta al nivel de organización biológica y características estructurales y funcionales en escalas temporales y espaciales (Suding y Gross, 2006) ya que los procesos ocurren a diferente tiempo de respuesta, lo que permite mayor entendimiento del proceso de recuperación del manglar (Allen y Hoekstra, 1987). En la evaluación de los atributos de un sitio restaurado, es necesario la comparación con los valores de los sitios de referencia para estimar el éxito de restauración (Ruíz-Jaen y Aide, 2005), pudiendo ser los sitios de referencia zonas bien conservadas y zonas degradadas. Una forma de evaluar los proyectos de restauración de manera cuantitativa es por medio de mediciones repetidas en el tiempo de los indicadores y su representación gráfica es por medio de las curvas de funcionamiento (Kentula *et al.*, 1992), trayectorias de restauración (Hobbs y Norton, 1996) o trayectorias de equivalencia funcional (Simenstad y Thom, 1996). Esto se refiere al monitoreo de variables indicadoras, midiendo en el sitio restaurado y al mismo tiempo midiendo un sitio de referencia, lo cual es crucial para entender cuándo y por qué una técnica es exitosa y reducir la posibilidad del fracaso (Fig. 2.24).

Aunque la medición no repetida de atributos estructurales o de función pueden proporcionar una excelente evaluación del éxito de la restauración (Smokorowski y Randall, 2017).



El manejo adaptativo se dirige a alcanzar los objetivos reduciendo la incertidumbre mediante la incorporación del aprendizaje durante el monitoreo de los indicadores de éxito.

Figura 2.24 – Ejemplificación de monitoreo de variables indicadoras de éxito a través de curvas de funcionamiento en la restauración ecológica. Las líneas negras representan variables indicadoras en el sitio de referencia en buen estado (V1, V2), mientras que las líneas punteadas representan esas mismas variables en el sitio en restauración y sus diferentes trayectorias de cambio hasta llegar a valores similares al sitio de referencia con diferentes velocidades.

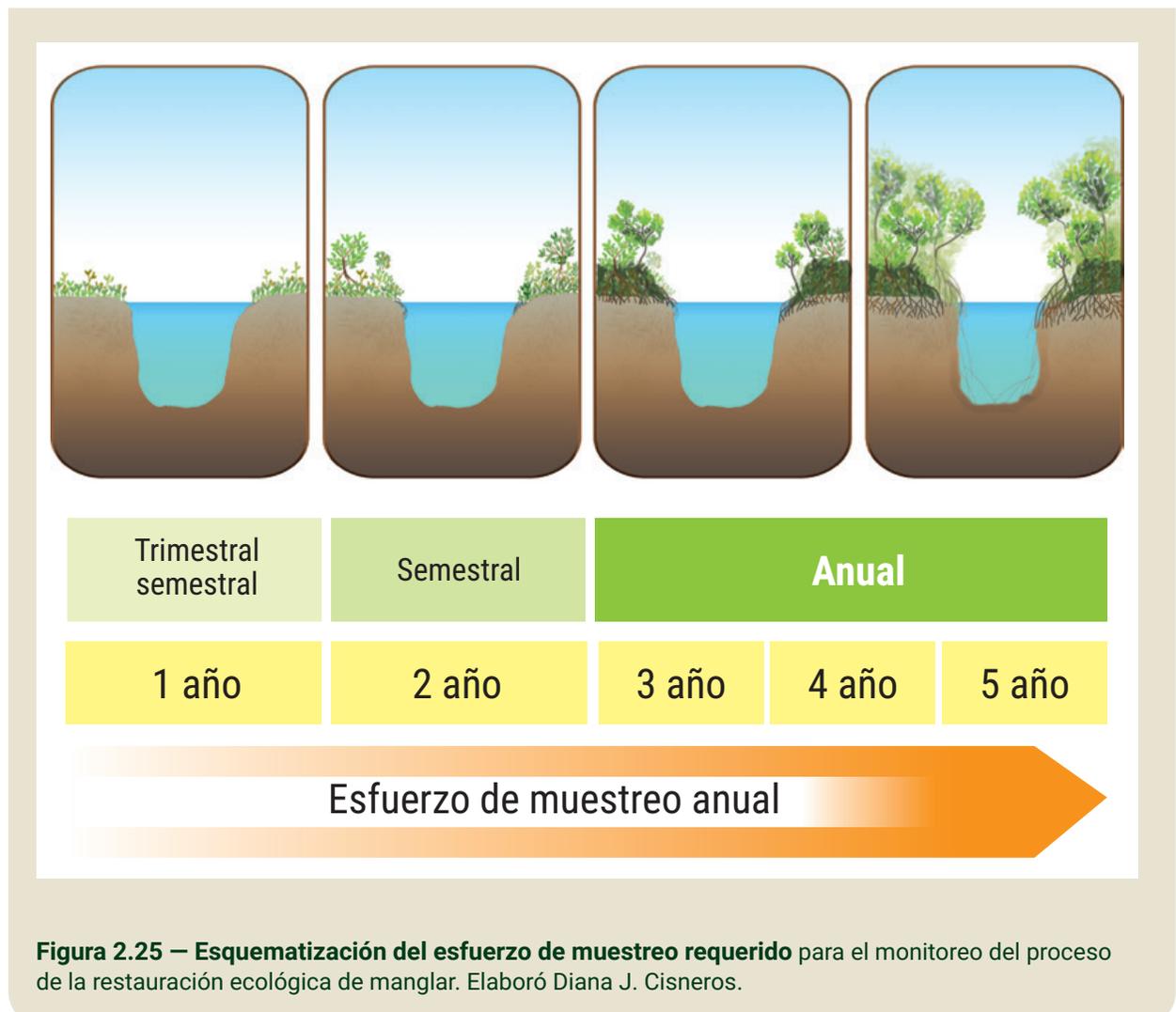
TABLA 2.2 – Criterios e indicadores ecológicos recomendados

Criterios e indicadores ecológicos recomendados para su medición durante el monitoreo de la restauración ecológica de manglares y el plazo de respuesta aproximado en el que ese espera observar cambios significativos. Plazos de respuesta: corto (días hasta meses); mediano (1-5 años); y largo (> 5 años).

Criterio	Indicadores	Plazo de respuesta
Hidrología		
Hidroperíodo	Frecuencia de inundación	Corto
	Nivel de inundación	
	Tiempo de inundación	
Biológicos		
Estructura y composición de la vegetación	Altura, densidad, diámetro, área basal, índice de valor de importancia (IVI), cobertura vegetal, abundancia, densidad, diversidad, índices de diversidad, riqueza	Largo
Regeneración	Reclutamiento, tasa de supervivencia, composición	Medio
Macroinvertebrados y vertebrados	Presencia/ausencia de grupos funcionales (peces, aves, moluscos, aves):	Corto-Largo
	Abundancia, densidad, diversidad, riqueza	Corto-Largo
Variables fisicoquímicas		
	Salinidad intersticial y superficial	Medio
	pH	
	Potencial redox	
	Temperatura	
	"Sulfide" (H ₂ S)	
	Nutrientes (NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ³⁻)	
Sedimento		
	Materia orgánica del suelo, densidad aparente	Largo
	Grosor de los estratos, textura y coloración del sedimento	
Análisis de paisaje		
	Cobertura vegetal, fragmentación	Largo
	Flujos de materia orgánica y nutrientes	

El éxito puede evaluarse a través de indicadores a corto (días-semanas-meses), mediano (1-5 años) y largo plazo (>5 años). La frecuencia del monitoreo está dada por las escalas espaciales y temporales en las que los procesos ecológicos ocurren, pero se puede ajustar de acuerdo con el esfuerzo de muestreo y recursos económicos disponibles. Al principio de la restauración, en un corto plazo, la frecuencia del monitoreo es mayor para dar seguimiento a la respuesta de las acciones de restauración y hacer cambios según el enfoque de manejo adaptativo si es necesario. Por lo que se recomiendan muestreos cada 3 a 6 meses durante el primer año.

A partir del segundo año, el monitoreo puede ser cada seis meses y a partir del tercer año, si es que se han comenzado a desarrollar patrones de distribución en el crecimiento vegetal, el muestreo puede ser cada año (Fig. 2.25). No obstante, estos periodos deben adaptarse de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto.



Hidrología

Después de la implementación de las acciones de restauración, se espera la sincronización del hidroperíodo del sitio restaurado con el sitio de referencia y es de los primeros indicadores de éxito durante la restauración. Su recuperación desencadena la recuperación de las condiciones fisicoquímicas adecuadas para el establecimiento vegetal y la reactivación de los procesos biogeoquímicos (Gosselink y Turner, 1978). La instalación de los sensores colocados durante la ecología forense permitirá su monitoreo durante todo el proceso de restauración para registrar los cambios originados por las acciones de restauración (Fig. 2.26).

Sensores de presión para la medición del hidroperíodo como parte del monitoreo (sección 2.3.2).



Figura 2.26 – Monitoreo del hidroperíodo durante la restauración.

Variables fisicoquímicas

Las variables que regulan el crecimiento y supervivencia de la vegetación son la salinidad, el pH, el potencial redox (Eh), el “sulfide” o sulfuro, la concentración de nutrientes, entre otros (Twilley y Rivera-Monroy 2005), y son los indicadores que tienden a asemejarse al sitio de referencia en un mediano plazo (Fig. 2.27).

La salinidad es un indicador que siempre debe ser medido durante la restauración ecológica de manglar debido a que es un regulador clave en la distribución, supervivencia y desarrollo del manglar (Lovelock & Feller, 2003; Rivera-Monroy *et al.*, 2006; López-Hoffman *et al.*, 2007). Así como en el desarrollo estructural de la vegetación (CONABIO, 2009).

El pH y temperatura permite determinar si las condiciones son adecuadas para la disponibilidad de nutrientes y por otra, brinda un panorama general de los procesos fisicoquímicos del sedimento (Oxmann *et al.*, 2010).

El potencial redox (oxido-reducción) es una medida rápida del estado de óxido-reducción que permite estimar la estabilidad de varios compuestos que regulan la disponibilidad de nutrientes y metales en los sedimentos, así como los niveles de descomposición de la materia orgánica la cual está relacionada con el pH y el contenido de oxígeno libre para facilitar este proceso (Herrera-Silveira *et al.*, 2013). Se relaciona con la condición reductora u oxidada de los sedimentos e indicadora de procesos biogeoquímicos del estado de descomposición de la materia orgánica.

Los nutrientes inorgánicos disueltos permiten conocer el grado trófico, la calidad del agua y su origen, ya que son indicadores de los procesos que ocurren en los sedimentos de manglar. La concentración y las variaciones de los nutrientes inorgánicos permiten explicar la conexión que hay entre las variables fisicoquímicas del sedimento y la hidrología. (Herrera-Silveira *et al.*, 2012).



Biológicos

Estructura vegetal

Es el indicador más empleado, debido a que la recuperación del bosque de manglar es la meta más evidente de la restauración y se relaciona con la recuperación de las funciones ecológicas asociadas (productividad, intercambio de nutrientes, secuestro de carbono) y pueden alcanzar valores similares al sitio de referencia en periodos de entre 10 a 15 años e incluso hasta 30 años (McKee y Faulkner, 2000; Donath *et al.*, 2003; Bosire *et al.*, 2008; Matthews *et al.*, 2010). En el transcurso del proyecto las plántulas crecen y se desarrollan a individuos juveniles y adultos; por esta razón la dimensión de las parcelas permanentes se debe ampliar durante este proceso (Fig. 2.28). Las variables indicadoras para medir son las mismas que se usan para caracterizar la estructura de la vegetación y son sugeridas por Schaeffer-Novelli y Cintrón (1990) (ver la sección 5. Vegetación, pág. 42).



Figura 2.28 – Dimensión de las parcelas para la evaluación estructural de la vegetación a través del proceso de restauración y el desarrollo de la vegetación. Elaboró Heimi G. Us Balam.

Regeneración natural

El reclutamiento natural tanto de especies pioneras (Recuadro 2.17), como de especies de manglar es un indicador de éxito en el mediano plazo (Lewis III, 2005; Kamali y Hashim, 2011; Teutli-Hernández, *et al.*, 2019). El crecimiento de las especies pioneras (e.g. *Batis spp.*, *Salicornia spp.*) contribuye, por ejemplo, a la disminución de la salinidad, la reducción de la temperatura del sedimento superficial, el incremento de nutrientes, la retención de semillas y propágulos, con un consecuente aumento de la tasa de reclutamiento, crecimiento y supervivencia de las especies de manglar (Teutli-Hernández *et al.*, 2019).

Las variables para evaluar en las plántulas de manglar son: especie, altura, diámetro, y densidad (ver la sección 5. Vegetación, pág. 42). Después del primer año se recomienda como mínimo un monitoreo cada seis meses llevando un control de crecimiento y densidad de las plántulas. Los cuadrantes serán de 1 m² abarcando el área establecida en la caracterización. Se sugiere la mayor cantidad de réplicas posibles, como mínimo 15 parcelas de plántulas. Para evaluar las especies pioneras se mide la cobertura total del área.

RECUADRO 2.17



La regeneración es un indicador biológico de la dinámica del bosque y permite evaluar la recuperación de la vegetación de manera natural en las áreas degradadas.

Macroinvertebrados y vertebrados

La diversidad biológica en sus diferentes expresiones (taxonómica, funcional, de especies, genética) es un atributo de los ecosistemas que refleja el funcionamiento y estado de salud de estos, esta diversidad se ve disminuida por la degradación ambiental e impacto a los ecosistemas. La disminución de especies, de gremios, de grupos funcionales, de presas en una red trófica, etc., puede mostrar un panorama de los organismos más tolerantes, debido a que estos se adaptan mejor a los cambios y por lo general se vuelven las especies dominantes en el sistema, mientras que las especies más sensibles (especialistas) disminuyen en su abundancia o desaparecen del ecosistema (Vargas-Ríos, 2011). Es por esta razón, que la diversidad puede utilizarse como indicadora de impactos o recuperación, utilizando la calidad del hábitat, del agua, del suelo o sobre diferentes recursos del medio como podrían ser las presas en las redes tróficas.

En los ecosistemas de manglar, la cuantificación de la diversidad en grupos como peces, aves e invertebrados acuáticos pueden indicar las funciones del hábitat, como son la alimentación, crianza y anidación que los manglares brindan a la fauna (e.g., especies de aves migratorias, diversidad de presas en redes tróficas, hábitat de crianza de especies marinas, especies bioturbadoras, etc.). Estas especies pueden relacionarse con distintas variables hidrológicas, ambientales y estructurales, utilizando análisis estadísticos (uni o multivariados), así como también la integración de diversos índices.



Figura 2.29 – Trampas y soporte para cámaras utilizadas para colecta y toma de videos de peces en los canales de manglar. Fotos de Daniel Arceo.

Las características estructurales de los manglares hacen difícil tener algún método de muestreo estandarizado. Para el caso de los peces, dependiendo de la profundidad, presencia de raíces y neumatóforos, así como el tipo de sedimento, se pueden utilizar trampas (tipo “minnow traps”), atarrayas o redes de arrastre pequeñas. Cuando la turbidez lo permite, la utilización de cámaras subacuáticas también es útil (Fig. 2.29). Para más detalles sobre las metodologías consultar Ebner y Morgan (2013).

La comparación de atributos comunitarios como biomasa, abundancia, riqueza de especies y diversidad en los sitios en restauración con sitios de referencia pueden indicar la similitud en la estructura y el funcionamiento del ecosistema (Fasham *et al.*, 2005). La diversidad de gremios tróficos indica los recursos que son explotados en cada uno de los ambientes, en donde la presencia de muchas especies oportunistas o generalistas pueden evidenciar sistemas más impactados, mientras que gremios que muestran cierta especialización como los zoobentívoros (invertebrados acuáticos), insectívoros y piscívoros indican que hay un funcionamiento del ecosistema más próximo a sitios conservados o con buen estado de salud.

Una misma especie puede comportarse como zoobentívoros o carnívora cuando hay suficientes presas, mientras que esa misma especie en un sitio en restauración que no presenta suficientes recursos y tiene detritus y materia orgánica en exceso puede explotar recursos de un nivel trófico más bajo (e.g. detritófago) (Hernández-Mendoza *et al.*, 2019).

La presencia de organismos bentónicos puede indicar la relación con las características del sustrato, como son humedad, materia orgánica, salinidad y disponibilidad de alimento. Esto es útil en los sitios de restauración porque pueden identificarse especies indicadoras de alguna condición particular.

Para estudios de fauna bentónica, se pueden utilizar nucleadores para extraer muestras de sedimento (infauna), así como el conteo directo de individuos o de madrigueras por metro cuadrado en el sustrato (cangrejos), también la utilización de trampas de caída tipo “pitfall” (Fig. 2.30).



Figura 2.30 — Organismos bentónicos sobre el sustrato (moluscos) y el método de cuadrante para el conteo de individuos o madrigueras por metro cuadrado. Fotos de Daniel Arceo.

Para el monitoreo de aves, puede realizarse un censo y determinar la composición y abundancias de las especies que entran al bosque de manglar (Ralph *et al.*, 1996). De la misma forma, puede realizarse conteo de nidos sobre las ramas de los manglares para identificar la función de anidación que el mangle brinda. También se puede determinar la presencia de diversas especies alimentándose en las raíces de los manglares (vadeadoras) o en las aguas alledañas. De esta forma, es posible identificarse el uso que las aves hacen del manglar, ya sea con enfoque alimenticio, reproductivo o de descanso (Fig. 2.31).



Figura 2.31 – Nido de “monjita” (*Himantopus mexicanus*) en zona de restauración en Progreso, Yucatán, México. Foto: Oscar J. Pérez-Martínez.

Suelo

Las características fisicoquímicas de los sedimentos permiten integrar condiciones hidrológicas y biológicas que intervienen en las características ecológicas de los manglares. La colecta de las muestras de sedimento se recomienda dos veces en el año inicial y a partir del segundo año una colecta anual. Las variables evaluadas serán; densidad aparente, materia orgánica, carbono, nitrógeno y fósforo (ver capítulo 2.3.4). De igual forma se debe considerar el grosor y color de los estratos del sedimento ya que permiten tener un panorama general de la recuperación de los procesos biogeoquímicos en el sedimento.

Análisis del paisaje

La escala de paisaje permite evaluar la conectividad dentro del sistema y su función dentro de la unidad geomorfológica a través de la conexión con otros ecosistemas (Kelly *et al.*, 2011; Kuenzer *et al.*, 2011). La ecología del paisaje es una herramienta importante para entender y ejecutar acciones de “restauración” de los ecosistemas (Cotler *et al.*, 2004). La extensión y las características de accesibilidad del ecosistema del manglar dificultan la evaluación “in situ” suficientemente extensa. Por ello, se requiere la implementación de otro tipo de herramientas que permita el análisis a una escala espacial más amplia.

El análisis espacial pretende identificar la heterogeneidad en la localización y distribución de fenómenos geográficos, permitiendo diferenciar unidades territoriales dominantes y los principales factores asociados a estas diferencias. La percepción remota es una herramienta

que permite realizar el análisis espacial basado en la detección y evaluación cuantitativa de unidades del paisaje. La interpretación de la clasificación del paisaje se puede hacer usando índices del estado de la vegetación, con los cuales se da seguimiento a indicadores de los cambios en el tamaño, cobertura y forma de la vegetación (Fig. 2.32). Los índices de vegetación son medidas cuantitativas basadas en valores digitales que miden la biomasa o vigor vegetal. Las técnicas para el análisis ecológico “in situ” en conjunto con herramientas de teledetección, contribuyen a identificar con mayor exactitud los agentes que intervienen en los procesos que definen las unidades espaciales.

El análisis del paisaje permite evaluar los cambios en la cobertura de la vegetación para dar seguimiento a los indicadores de éxito.



Figura 2.32 – Vista aérea con fotos tomadas con un dron de una zona en restauración en Progreso Yucatán, México.



2. Indicadores socioeconómicos

Los criterios socioeconómicos permiten evaluar la participación de diferentes sectores y actores durante todo el proceso de restauración y los beneficios sociales que se obtiene de ella; ya sea económicos, científicos, culturales o ecológicos. La profundidad y análisis de la evaluación socioeconómica del proyecto dependerá por una parte de la participación de expertos en las ciencias sociales y por otra parte del tiempo y los recursos disponibles para ello (Egan y Estrada, 2013).

La participación de expertos en el área permitirá crear las herramientas de evaluación adecuadas, como talleres o entrevistas, que deben ser elaboradas para cada comunidad, sitio y proyecto. La evaluación de los criterios se realiza con indicadores socioeconómicos y se deriva de los objetivos planteados para cada sector, además incluye la evaluación del fortalecimiento de capacidades de los participantes del proyecto y la sustentabilidad en el tiempo a través de la apropiación del ecosistema y la gobernanza de las comunidades involucradas (Fig. 2.33).



Figura 2.33 – Preguntas detonadoras para la definición de los criterios socioeconómicos a evaluar durante la restauración ecológica de manglares, basados en los propuestos por Egan y Estrada (2013) y Gann *et al.* (2019).

Se proponen cuatro criterios principales basados en indicadores propuestos en Egan y Estrada (2013), los principios de la SER (Gann *et al.*, 2019) y la experiencia de este grupo de trabajo en diversos proyectos de restauración ecológica de manglares (Herrera-Silveira *et al.*, 2020). En cualquier caso, para ser comparables entre proyectos se pueden relativizar respecto al área de restauración, al presupuesto del proyecto, a los años de ejecución, al éxito relativo de la restauración, o a otras variables de estado del proyecto (Tabla 2.3).

TABLA 2.3 – Criterios e indicadores socioeconómicos
Basados en los propuestos por Egan y Estrada (2013) y Gann *et al.* (2019).

Criterios	Indicadores
Participación colaborativa	Número de instituciones/organizaciones/sectores participantes
	Acuerdos institucionales creados
	Percepción del cumplimiento de los objetivos por sector (representantes)
Valoración social del ecosistema	Percepción de la sociedad sobre el ecosistema
	Participación de la comunidad (número de participantes y permanencia)
	Implementación de talleres de educación ambiental, capacitaciones y cursos: (número de actividades e instituciones o grupos beneficiados, asistencia)
Sustentabilidad económica	Análisis costo-beneficio
	Cantidad de empleos generados / empresas contratadas
	Auto sustentabilidad de la comunidad (generación de oportunidades de aprovechamiento sustentable)
	Valoración económica de servicios ecosistémicos recuperados
	Número de familias beneficiadas
Políticas públicas y financiamiento	Número de jornales durante las diferentes fases del proyecto
	Disponibilidad de financiamiento sostenible
	Aumento de inversión en conservación y restauración
	Influencia en políticas públicas

Participación colaborativa: La representación de diferentes sectores de la sociedad es importante durante todo el proceso de restauración brindando sustentabilidad y continuidad al proyecto (Herrera-Silveira *et al.*, 2020). Este criterio permite evaluar la representatividad de los diferentes actores involucrados en la restauración y su representatividad durante el proyecto. Se puede evaluar con el número de arreglos institucionales creados y el número actores participantes; como los tomadores de decisiones, los ejecutores, instituciones

gubernamentales, representantes locales, etc. La evaluación puede reportarse a través de porcentajes, número de representantes, entrevistas o evaluaciones del número de objetivos cumplidos en el tiempo propuesto (Egan y Estrada, 2013).

Valoración social del ecosistema: La percepción y participación de la comunidad son fundamentales para la continuidad del proyecto a través de la conservación y mantenimiento de las acciones ejecutadas y resultados del sitio (Rönback *et al.*, 2007; Walters *et al.*, 2008). La participación y aceptación del proyecto por la comunidad depende en gran medida de la percepción social que se tiene del ecosistema (Stone *et al.*, 2008). Por tanto, al inicio del proyecto es necesario evaluar la percepción actual que la comunidad tiene del manglar tanto conservado como degradado. Durante el proyecto es necesario el fortalecimiento de las capacidades locales a través de talleres, tanto de las características de los manglares, los servicios ecosistémicos que ofrece, como de los principios de la restauración (Fig. 2.34).



Figura 2.34 – Capacitación en el taller “Estructura y Función de los bosques de manglar: Conceptos actuales y su aplicación en proyectos de rehabilitación y restauración en la zona costera”. El curso es realizado gracias a las facilidades que DUMAC da para uso de las instalaciones en el sitio de restauración ecológica de Celestún, Yucatán, México. Curso organizado por CINVESTAV, DUMAC y CICY.

Por otra parte, el sitio en restauración puede convertirse en un aula natural para la educación ambiental, a través de promover recorridos, talleres, cursos y capacitaciones, tanto a miembros de la comunidad, como a escuelas de diferente nivel educativo, organizaciones privadas y públicas, instituciones gubernamentales, entre otros.

Los indicadores para este criterio pueden ser el número de participantes (desagregados en hombres y mujeres) de la comunidad o instituciones/organizaciones, su permanencia durante todo el proyecto, así como evaluaciones a través de entrevistas sobre su percepción antes y después del proyecto, el número de actividades educativas o de capacitación implementadas y su alcance en cuestión de número de personas e instituciones participantes.

Sustentabilidad económica: Este criterio permite determinar en términos económicos los beneficios generados a la sociedad como resultado de la restauración, así como realizar un análisis costo-beneficio del proyecto (Adger *et al.*, 1997; Spurgeon, 1998; Walters *et al.*, 2008). La evaluación económica de los resultados de la restauración debe considerar las actividades que tienen un impacto directo en la comunidad en términos económicos, culturales y recreativos (Adger *et al.*, 1997; Blignaut *et al.*, 2014; Wainaina *et al.*, 2020), así como los servicios de regulación, como la captura de carbono, filtración de agua o la protección contra inundaciones que tienen un valor en el mercado (Adame *et al.*, 2014, Narayan *et al.*, 2016; Menéndez *et al.*, 2020).

A corto plazo, la evaluación del impacto económico puede evaluarse a través de indicadores como el número de empleos directos generados por el proyecto, en este sentido es importante considerar salarios justos e inclusivos. La participación de grupos organizados de mujeres permite la equidad de género y fortalece las capacidades locales y el bienestar de las familias locales (Fig. 2.35).

A largo plazo, la restauración de los procesos ecológicos provee bienes y servicios que permiten la auto sustentabilidad de la comunidad a través de actividades económicas, como la pesca artesanal, la apicultura, el ecoturismo, entre otras (Rönnbäck *et al.*, 2007).

En las escalas nacionales e internacionales, el pago de servicios ecosistémicos que tengan valor en el mercado (bonos de carbono, filtración de agua, entre otros) es un indicador de éxito, para ello es importante una apropiada valoración económica basada en la restauración ecológica de los servicios ecosistémicos. Es importante delimitar la evaluación del impacto económico de acuerdo con los objetivos planteados.

Debido a que la evaluación económica de los servicios restaurados del manglar es un proceso que implica la inversión de recursos económicos y sociales, es importante delimitar los beneficios que serán evaluados. Si el objetivo de proyecto es la mitigación de los efectos del cambio climático, la evaluación se debe basar en la cantidad de carbono capturado y almacenado por la restauración. Sin embargo, es necesario no dejar de lado los valores de no uso del manglar, como pueden ser los valores de legado y de existencia (Sanjurjo y Welsh, 2005).



Figura 2.35 – Grupos sociales organizados que participan activamente en la restauración de manglares en la península de Yucatán, México. Arriba las “Chelemeras” en Progreso y abajo los “amigos restauradores” de Dzilam de Bravo. Fotos: Guadalupe Valladares, Jorge Herrera.

Políticas públicas y financiamiento: Los arreglos institucionales generados entre los actores proporcionan sustentabilidad económica al proyecto y la integración de los esfuerzos de todos los sectores permite que los objetivos y expectativas de cada sector sean cumplidos, a la par de un proceso de aprendizaje colaborativo. Su participación y una evaluación apropiada del cumplimiento de los objetivos, así como la difusión adecuada de los resultados, permiten a largo plazo a una escala local, incidir en la renovación del financiamiento, la consolidación y creación de nuevos proyectos (Thompson, 2018).

A una escala regional o nacional, el éxito de los proyectos de restauración puede contribuir en la modificación de políticas públicas en beneficio de la conservación del manglar y el aumento de inversión en los proyectos de restauración del manglar (Walters, 1997; Primavera, 2000; Lee et al., 2019).

6

Vinculación



La práctica de la restauración ecológica requiere vincular a las comunidades o pueblos indígenas afectados por la degradación del ecosistema. Los grupos de interés locales pueden colaborar positivamente en el desarrollo de proyectos de restauración y ser beneficiarios de sus resultados (Comín *et al.*, 2005). Se les debe involucrar desde la concepción de la idea del proyecto, en las acciones y monitoreo de la restauración.

La vinculación de grupos de interés tiene dos aspectos relevantes: (1) han de ser colaboradores importantes y (2) han de aportar sus conocimientos del territorio. La aportación de conocimientos puede ser local, de los habitantes del sitio o cercanos; regional, por experiencias de acciones similares; e internacional, por la posible vinculación de la restauración a programas de ámbito internacional.

Respecto a la colaboración, los grupos locales (personas, asociaciones, empresas, entidades) pueden aportar un potencial relevante para llevar a cabo acciones concretas, sin olvidar que los proyectos de restauración requieren de permisos de obras de las autoridades locales en muchas ocasiones.

Por todos estos motivos, la vinculación de grupos de interés es conveniente que tenga lugar lo más temprano posible en la planificación del proyecto de restauración. De hecho, en un esquema general sencillo de planificación de un proyecto de restauración, uno de los primeros pasos esenciales es evaluar la aceptación social del proyecto y sus acciones (Comín, 2002), lo cual implica la necesidad en cualquier caso de vincular a la población y sus grupos de interés.

Dado que en todos los ecosistemas la intervención y el aprovechamiento de sus beneficios están estrechamente unidos a la población humana, el componente social ya está implícito. Aún con esto, el término socio-ecosistemas, se está utilizando cada vez más, incluso se ha llegado a hablar del concepto de restauración socio-ecológica (Fernández-Manjarrés *et al.*, 2018).

Desde cualquier perspectiva, la repercusión de los proyectos de restauración de ecosistemas tiene una componente social importante, porque los beneficios de la restauración tienen que repercutir positivamente en la población. Esto es de relevancia significativa en la restauración de manglares degradados por los múltiples servicios ambientales que después de su restauración reportan local, regional y globalmente.

Los beneficios locales de la restauración de manglares abarcan desde empleos hasta protección frente a eventos meteorológicos y, en conjunto, bienestar social, lo cual contribuye a su desarrollo socioeconómico. El alcance social de los proyectos de restauración también tiene una dimensión regional y global (Fig. 2.36). Los manglares, en la línea de costa, tienen un papel regulador de numerosos procesos hidro-geomorfológicos y de refugio de especies de interés indirecto y directo socio económico.



Figura 2.36 – Observación de aves en el manglar como parte de las acciones de valorización de los servicios ecosistémicos del manglar.

Otro aspecto relevante para la sostenibilidad de las acciones ambientales es la gobernanza. La restauración de ecosistemas requiere la integración de numerosos aspectos legales administrativos y de relaciones entre entidades participantes, además de los científico-técnicos, de los sociales y de los económicos. Así, el éxito de la restauración requiere también integrar en la planificación, en la ejecución y en la evaluación de las realizaciones del proyecto reglas y prácticas de buena gobernanza (Sapkota *et al.*, 2018).

La información a tiempo, detallada y clara de los objetivos y avances de un proyecto de restauración, también de las dificultades que surjan, es importante para su adecuada gobernanza. La restauración de ecosistemas degradados puede promoverse y ejecutarse por cualquier entidad o particular con interés en hacerlo. En cualquier caso, deben de cumplirse las regulaciones propias de cada sitio en el que se planifique la actuación.

Por ello, es necesario contar con los permisos de obras necesarios antes del inicio de las actuaciones. La relación, incluso la colaboración, con entidades oficiales responsables del control administrativo y de las regulaciones ambientales es importante mantenerla fluida y adecuada en el marco normativo.

De igual modo, la inversa es también importante, las entidades responsables de las regulaciones administrativas y ambientales para la ejecución de acciones y proyectos de restauración deben favorecer la celeridad y claridad en sus comunicaciones con los promotores y ejecutores de los proyectos.

Todos los aspectos de la restauración ecológica de manglares son útiles para la vinculación de la sociedad y la socialización y gobernanza de los proyectos. Las experiencias y enseñanzas que da la realización de proyectos de este tipo son útiles para la educación y la formación de las personas, especialmente a escala local. Durante las etapas del proceso de recuperación de cobertura de manglares se favorece la vinculación de la sociedad, la socialización de experiencias, así como la gobernanza de los proyectos.

Involucrar a las comunidades en el proceso de restauración de manglares, favorece a que los participantes se organicen, adquieran experiencias, formalicen el conocimiento que tienen del manglar, por lo que se fortalecen las capacidades locales. Los proyectos exitosos de restauración ecológica integran los aspectos científico-técnicos, sociales, económicos y de gobernanza, los cuatro pilares de la sostenibilidad (Fig. 2.37).





3. Restauración de manglares en el Gran Caribe

Se realizó una búsqueda sistemática en sitios de libre acceso utilizando motores de búsqueda como Google y Google académico de publicaciones de acceso abierto (open access), tesis, reportes técnicos, memorias de congresos, notas periodísticas y páginas web que hicieran referencia a proyectos de restauración ecológica en ecosistemas de manglar en la región de Gran Caribe (GEM del Golfo de México, Mar Caribe y Plataforma Norte de Brasil). Se recopilaron en total 158 fuentes de información, incluyendo literatura primaria y gris, de estas sólo 112 hacían referencia explícita a restauración de manglares e incluían datos para formar parte de este análisis.

Sin embargo, existen muchos más trabajos que no son publicados en ninguna modalidad o solo se encuentran disponibles a través de revistas de pago por suscripción. Los proyectos de restauración revisados se han llevado a cabo en 27 países y territorios desde 1979 hasta 2019. El 74.1% se registran en la región continental (83) y el 25.9% en áreas insulares (29). Por región, la que corresponde al GEM del Golfo de México presenta el mayor porcentaje de proyectos (53.6%) seguido del GEM de Mar Caribe (42.0%) y sólo 4.5% en el GEM de la Plataforma Norte del Brasil (Fig. 3.1).

Los países que presentan el mayor porcentaje de proyectos de restauración son: México (57.1%), Colombia, Estados Unidos y San Martín (3.6% cada uno), y, por último, Bahamas, San Vicente y Granadinas (2.7% de los proyectos cada uno) (Fig. 3.1). Cabe destacar que el territorio francés de San Martín posee el 75% de los proyectos implementados en el país, mientras que el territorio holandés posee el 25%. No se podría establecer una razón única de las grandes diferencias en la información disponible. Sin embargo, algunas de estas podrían ser: la información se queda almacenada en reportes institucionales internos, tesis de grado, las cláusulas de confidencialidad de las fuentes financiadoras a los implementadores no permiten su disseminación, los resultados no son exitosos desde la perspectiva de las metas propuestas y no se difunden, entre otras.

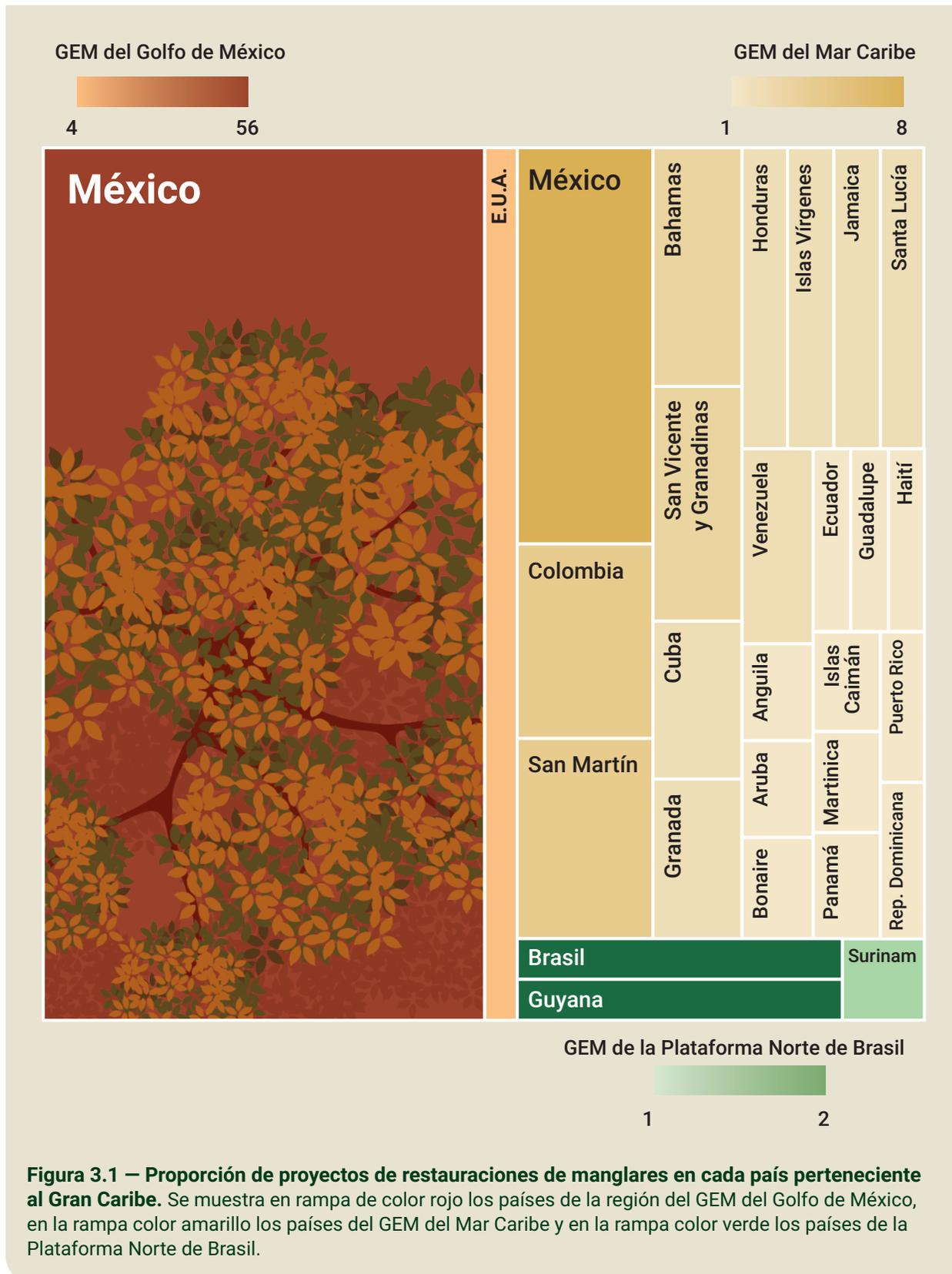


Figura 3.1 — Proporción de proyectos de restauraciones de manglares en cada país perteneciente al Gran Caribe. Se muestra en rampa de color rojo los países de la región del GEM del Golfo de México, en la rampa color amarillo los países del GEM del Mar Caribe y en la rampa color verde los países de la Plataforma Norte de Brasil.

Causas de degradación en la región

Las causas de la degradación de los ecosistemas de manglar en la región se encuentran estrechamente relacionadas con usos y costumbres de las comunidades, así como con el modelo de desarrollo económico en cada país. En la región Gran Caribe las principales amenazas registradas en los reportes de proyectos fueron el cambio y uso del suelo, el desarrollo urbano, la extracción de productos maderables, eventos naturales y la industria minera y de hidrocarburos (Tabla 3.1). Sin embargo, hay reportes que no mencionaban las causas de la degradación. Hay causas de degradación de manglares que son comunes para toda la región, algunas de ellas son: carreteras y caminos, cambio de uso del suelo a urbano-turístico, eventos naturales extremos, cambios hidrológicos por todas las anteriores (Tabla 3.1). Si bien la gran mayoría de especies manglar de la región del Caribe se encuentran protegidas bajo acuerdos internacionales y leyes propias de cada país, el cambio de uso de suelo y la extracción de productos maderables por parte de las comunidades es un problema común para toda la región del Gran Caribe.

TABLA 3.1 – Amenazas y causas de la degradación de los ecosistemas de manglar en la región del Gran Caribe

Amenaza	Causa	País
Cambio de uso de suelo	Establecimiento de granjas camaroneras	Brasil ¹
	Ganadería y tala incidental	Guyana ²
	Desmante	Martinica ³ , Honduras ¹⁴ y Guatemala ¹⁵
Desarrollo urbano	Construcción de carreteras	México ^{4,5}
	Construcción de puentes	Aruba ⁶
Extracción de productos maderables	Producción de carbón	Granada ⁷ , Jamaica ⁸ y Guatemala ¹⁴
Eventos naturales	Destrucción por huracanes	Puerto Rico ⁹ y México ¹⁰
	Azolvamiento de canales	México ¹¹
Industria	Minería y extracción de recursos	Venezuela ¹²
	Derrame de hidrocarburos	Panamá ¹³

¹Ferreira, Ganade and de Attayde (2015); ²Caribbean Environment Programme (2019); ³<http://evenements.developpement-durable.gouv.fr/campagnes/evenement/11359>; ⁴Herrera-Silveira *et al.*, (2012); ⁵Alonso-Parra (2011); ⁶Dutch Caribbean Nature Alliance (2017); ⁷Heemsoth (2021); ⁸Grenadian – German Pilot Programme (2018); ⁹Society of Ecological Restoration (1994); ¹⁰Echeverría-Ávila *et al.*, (2019); ¹¹PRONATURA (2013); ¹²Society of Ecological Restoration (2004b); ¹³Outterson (2014); ¹⁴CEM (2021); ¹⁵MAR FUND (2021).

¿Qué se ha hecho para restaurar manglares en las regiones del Sistema Arrecifal Mesoamericano y del Gran Caribe?

El número de proyectos de restauración de manglares es un indicativo de la importancia que se le ha dado a la conservación y restauración de este ecosistema en la región. Se han decretado áreas naturales protegidas, las especies están en algún estatus de protección (ley, norma, reglamento, estrategia nacional), se han implementado políticas públicas dirigidas a estrategias de restauración para recuperar los ecosistemas de manglar con objetivos diversos, se han implementado proyectos coordinados por organizaciones o instituciones como medida de compensación a una obra que causó impacto ambiental, o más recientemente para restablecer los servicios ecosistémicos perdidos, por ejemplo, para mitigar los impactos de eventos hidrometeorológicos (tormentas, huracanes e inundaciones).

De acuerdo con la información recopilada, en la región del Gran Caribe las acciones de restauración iniciaron hacia finales de la década de 1970, siendo la reforestación la principal acción de restauración (Fig. 3.2). En la región del GEM del Golfo de México, las acciones de restauración se implementaron desde la década de 1980. Las actividades incluyen además de la reforestación otras relacionadas con la rehabilitación hidrológica, principalmente restableciendo flujos de agua entre el manglares y ecosistemas vecinos (Fig. 3.2). Ya en la década de 1990, además de la reforestación como acción única, se empiezan a ejecutar acciones conjuntas de rehabilitación hidrológica y reforestación, principalmente con el objetivo de reducir la salinidad y favorecer el éxito de plantar organismos que en algunos casos provenían de viveros (Fig. 3.2).

Es a partir del año 2000 que, en la región del GEM de la Plataforma Norte de Brasil se identifican proyectos de restauración de manglares. Se incorpora a las acciones de restauración el uso individual o combinado del manejo topográfico que tiene como objetivo amortiguar los cambios en los niveles de inundación en los manglares temporalmente. También se observa que el número de proyectos de restauración de manglar tiene un repunte a partir del año 2000, presentándose la mayoría de ellos en la región del GEM del Golfo de México (Fig. 3.2). Es muy probable que estos resultados tengan el sesgo por la disponibilidad de reportes de proyectos y datos abiertos.

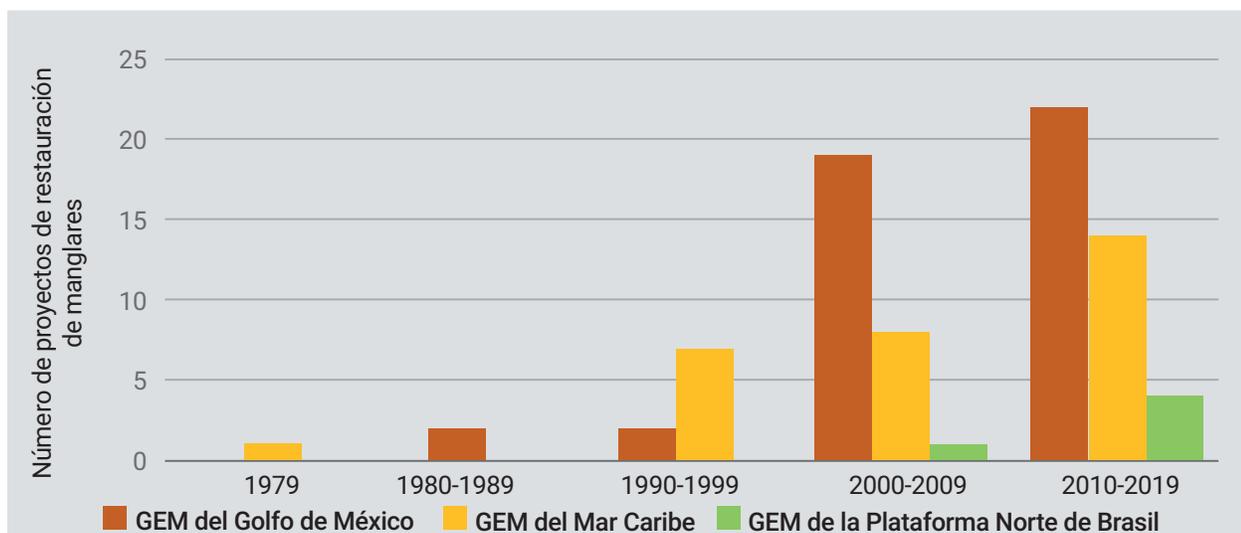
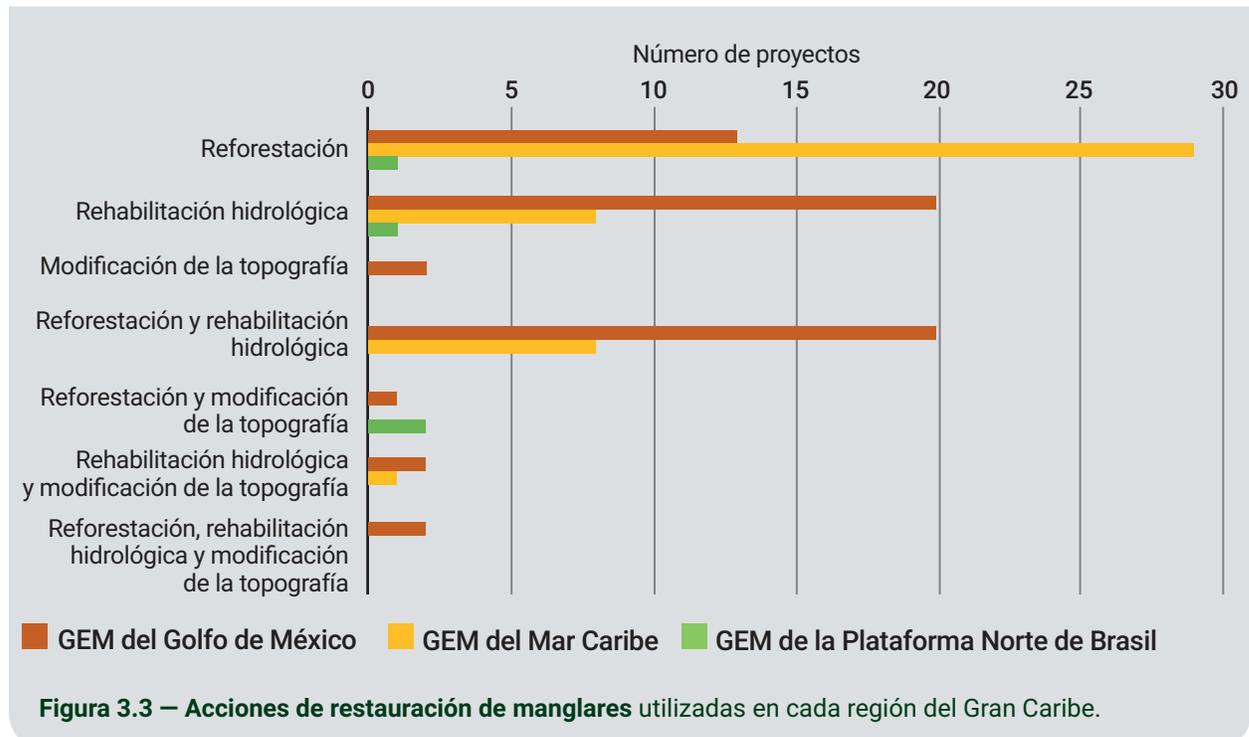


Figura 3.2 – Número de trabajos de restauración de manglares en las tres regiones del Gran Caribe a lo largo del tiempo.

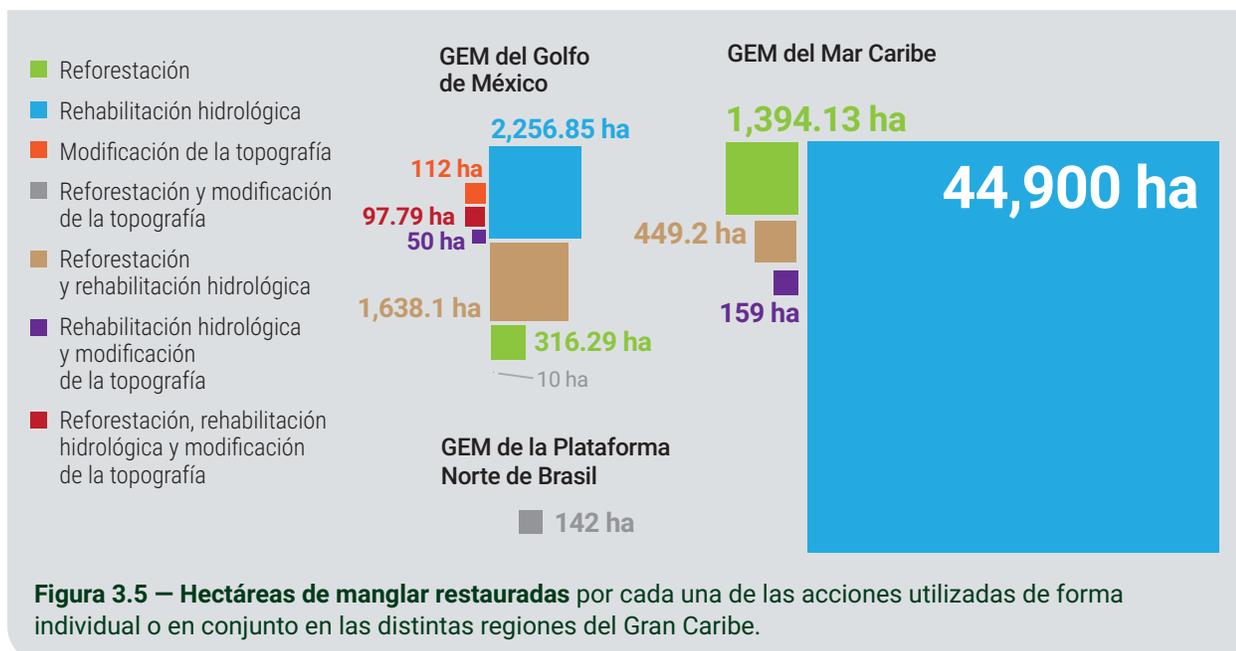
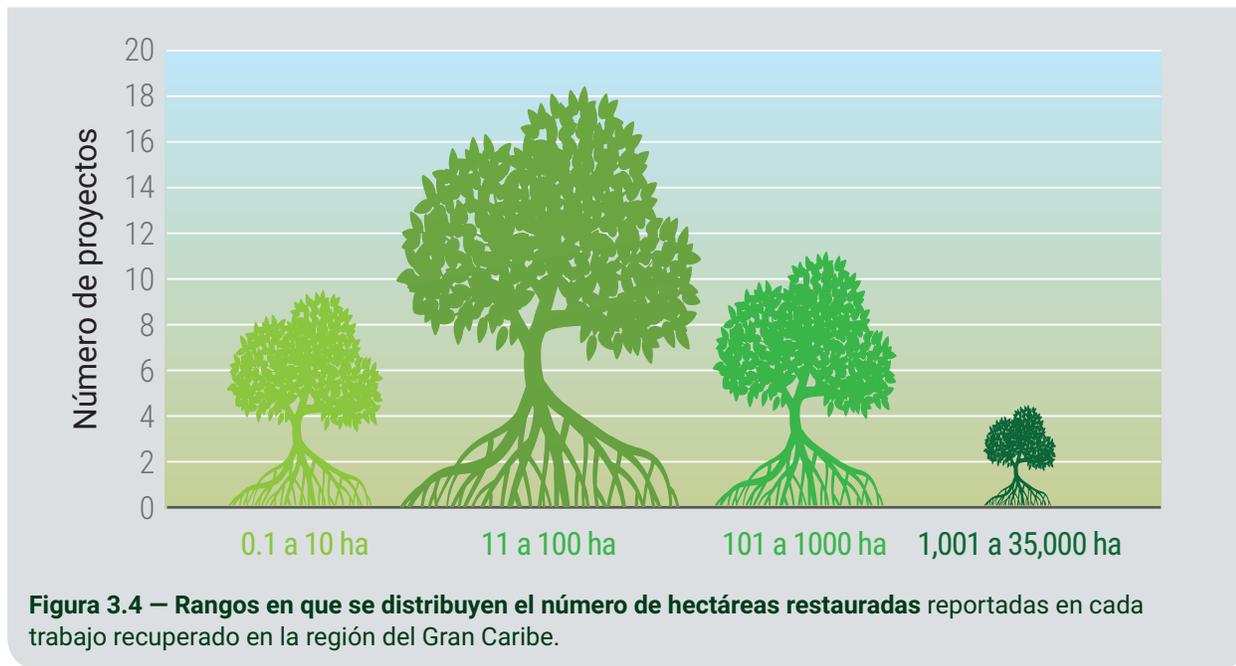
En el análisis de la información de los reportes se observa que las acciones de restauración de manglares tienen a la reforestación como la principal actividad, seguida de la rehabilitación hidrológica (Fig. 3.3). Hay proyectos que hacen combinación de acciones, por ejemplo, la reforestación combinada con la rehabilitación hidrológica es la más utilizada por las regiones del GEM del Golfo de México y Mar Caribe. En el caso del GEM de la Plataforma Norte de Brasil la reforestación combinada con la modificación de topografía es el único conjunto de estrategias utilizado como medida de restauración (Fig. 3.3). Por otro lado, la aplicación en conjunto de las tres estrategias de restauración solo ha sido utilizada por la región del GEM del Golfo de México (Fig. 3.3).



¿Cuántas hectáreas han sido intervenidas en la restauración de manglares?

De las fuentes de información analizadas se identifica que, en los últimos 40 años se han intervenido aproximadamente 51,355 ha en la región del Gran Caribe. Las extensiones de manglar donde se han implementado proyectos restauración van desde 0.1 ha en Marina Baywatch en Martinica, hasta 35,000 ha en La Ciénega Grande de Santa Marta en el Caribe Colombiano. La mayor parte de los trabajos revisados sugieren que las acciones de restauración se realizan a nivel local en extensiones menores a 100 ha, el resto de los proyectos se ejecutan a escala de paisaje o regional (más de 100 ha) (Fig. 3.4). El proyecto de la Ciénega Grande de Santa Marta en Colombia favorece que sea el GEM del Mar Caribe la región con el mayor número de hectáreas de manglar en restauración (46,902 ha), no obstante que el GEM del Golfo de México es la región con el mayor número de proyectos de restauración implementados, pero sólo con 4,311 ha reportadas y el GEM de la Plataforma Norte de Brasil con tan solo 142 ha. Por otro lado, de manera particular en la región del SAM se han logrado restaurar 312 ha, de las cuales México es el país que más hectáreas ha intervenido.

Respecto a la superficie en la que cada acción de restauración ha sido implementada se identificó que la rehabilitación hidrológica, la reforestación y la combinación de estas dos actividades presentan la mayor extensión intervenida con 47,157 ha, 1,710 y 2,087 ha respetivamente. En conjunto estas acciones representan más del 98% de la extensión de manglar intervenido con acciones de restauración en las regiones del GEM del Golfo de México y Mar Caribe (Fig. 3.5). Si bien en el GEM de la Plataforma Norte de Brasil se han realizado acciones de reforestación y rehabilitación hidrológica, no fue posible encontrar resultados de estas acciones. En la región del SAM las acciones más utilizadas son la implementación conjunta de reforestación y rehabilitación hidrológica, y sólo la reforestación con 219 ha y 92 ha respectivamente.



¿Cuál ha sido el éxito de la restauración de manglares en la región del Gran Caribe?

Se considera que un proyecto de restauración puede tener mayor probabilidad de éxito si incorpora la actuación de los sectores social, gubernamental, no gubernamental y técnico-científico. En la región del Gran Caribe el 85% de las fuentes de información mencionan este aspecto, sin embargo, no es común que los reportes mencionen específicamente la participación de los diferentes sectores, ya sea de forma individual o en su conjunto.

Los primeros proyectos de restauración de manglares en la región fueron realizados por las comunidades locales siguiendo la estrategia de “ensayo y error”, con fondos del sector privado, ONG’s y gubernamentales nacionales.

Posteriormente, con el objetivo de aumentar el éxito de la restauración se involucró la academia a través de universidades, centros de investigación y departamentos especializados de ministerios o secretarías de gobierno. Este involucramiento dio como resultado mejorar las estrategias de restauración y adecuarlas a cada región en particular. Se promovió la capacitación de los grupos implementadores de las acciones de restauración, muchos de ellos formados por miembros de las comunidades aledañas a los proyectos.

El involucramiento del sector académico en los proyectos de restauración ha favorecido que se avance en el conocimiento de la ecología de la restauración de manglares. Cada proyecto de restauración tiene sus particularidades, por lo que es un “experimento” que al evaluarse se identifican las causas del nivel de éxito de la restauración.

Por otra parte, la capacitación que ofrecen los grupos académicos, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales ha favorecido la formalización del conocimiento empírico de las comunidades sobre los manglares y la restauración. Actualmente se pueden identificar grupos de hombres, mujeres y mixtos, que se iniciaron como jornaleros ejecutando las acciones de restauración, estos se han organizado en cooperativas independientes de restauradores capacitados.

Si bien estos grupos ha sido coordinados principalmente por ONG’s o grupos académicos, en los últimos años han surgido grupos con un actuar más independiente, los cuales además de realizar las labores de restauración, realizan tareas de monitoreo y gestión de los recursos naturales del sitio, algunos ejemplos de estos grupos se muestran en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2 — Lista de algunos de los grupos de restauradores de manglar presentes en la región del Gran Caribe

País	Grupo de Restauradores	Actividades
México	Comunidad de restauradores de isla Aguada	Reforestación y rehabilitación hidrológica
México	Miembros de la comunidad de Villa Isla Aguada	Reforestación y rehabilitación hidrológica
México	Grupo de Jornaleros de las comunidades de Sodzil, Chunkanán, Pomuch y Hecelchakán	Reforestación, rehabilitación hidrológica y modificación de la topografía
México	Ejidatarios de Nunikiní	Monitoreo
México	Habitantes del poblado Higuierillas-Mezquital, municipio San Fernando y ejido Francisco J. Mujica	Reforestación y educación ambiental
México	Comunidad de Bahamitas	Rehabilitación hidrológica
México	Comunidad local de Laguna de Términos	Rehabilitación hidrológica
México	Comunidades de El Pájaro, Mano Perdida, Pérez y Jiménez, y La Guadalupe	Reforestación, rehabilitación hidrológica y modificación de la topografía
México	Jornaleros de las localidades de Sodzil, Chunkanán, Pomuch y Hecelchakán	Reforestación y rehabilitación hidrológica
México	Sociedad Cooperativa de Pescadores de la Ribera de Sontecomapan	Reforestación
México	Asociación civil Reserva de la Biósfera y la Asociación de Silvicultores de Los Tuxtlas.	Reforestación
México	Miembros de la comunidad "La Nueva Reforma"	Reforestación
México	Miembros de la comunidad de el Pájaro	Reforestación
México	Miembros de la comunidad de Cárdenas	Reforestación
México	Grupo de mujeres del Ejido Moral y Mosquitero	Reforestación
México	Chelemeros unidos para la protección y restauración del manglar	Reforestación, rehabilitación hidrológica y modificación de la topografía y educación ambiental
Belice	Coralive	Reforestación y educación ambiental
Belice	Fragments of hope	Reforestación, gestión de los recursos naturales y educación ambiental
Belice	Habitantes de Placencia Village	Reforestación y vigilancia
Belice	Habitantes de Corazal	Reforestación y vigilancia

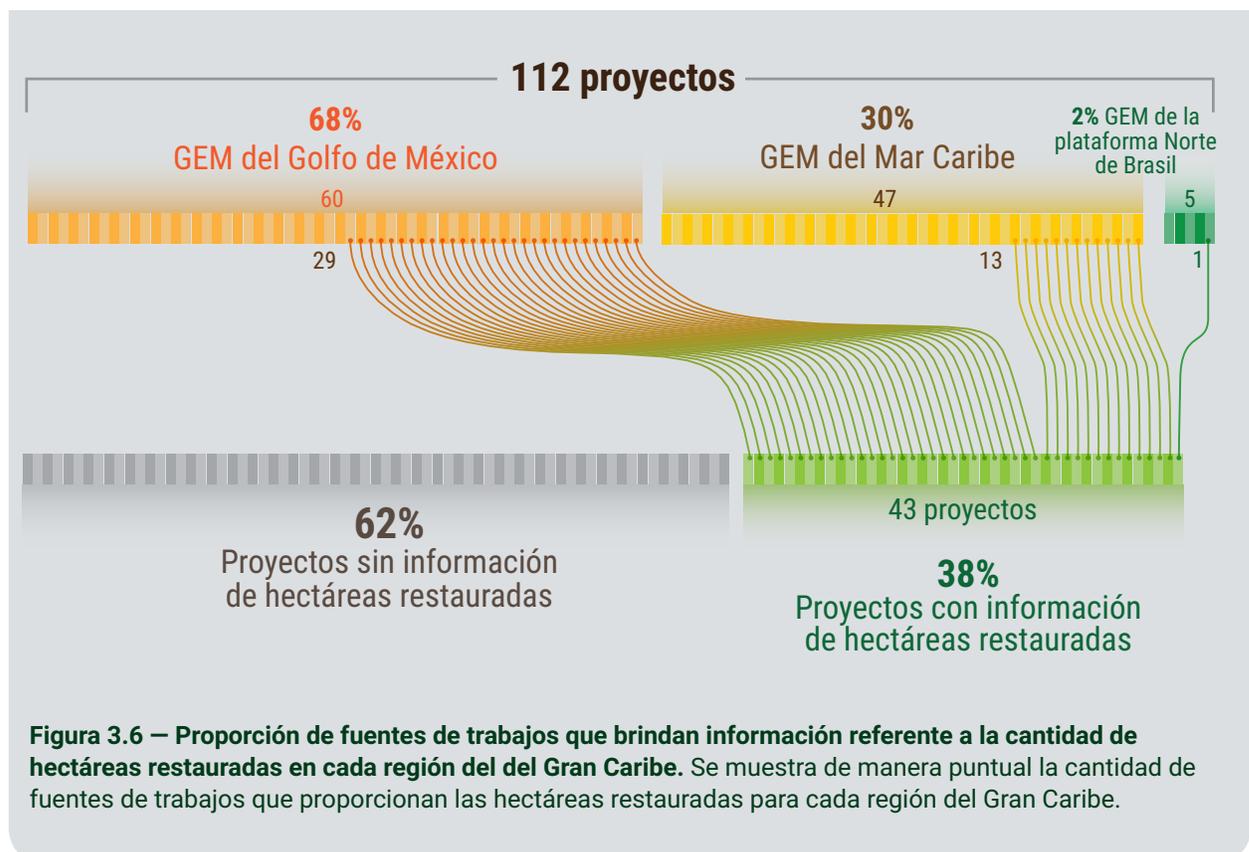
Belice	Habitantes de San Pedro	Reforestación y vigilancia
Belice	Habitantes de Belize city	Reforestación y vigilancia
Belice	Placencia Tour Guide Association	Reforestación
Belice	Southern Environmental Association	Reforestación
Belice	Coastal Zone Management Authority and Institute	Reforestación, gestión de los recursos naturales
Guatemala	Mesa Local de Mangle (MLM) Golfete de Río Dulce	Reforestación
Guatemala	Ak' Tenamit	Reforestación y educación ambiental
Guatemala	Pobladores de la comunidad de Cayo Quemado	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Guatemala	Pobladores de la comunidad de La Angostura	Reforestación y vigilancia
Guatemala	Pobladores de la comunidad de Barra Lámpara	Reforestación y vigilancia
Guatemala	Asociación Maya Probienestar Rural del Área Sarstun	Reforestación
Guatemala	Pobladores de la comunidad de Barra Sarstún	Reforestación y vigilancia
Guatemala	Pobladores de la comunidad de San Juan	Reforestación y vigilancia
Honduras	Grupo Recuperación Bejucales	Reforestación
Honduras	Asociación para la Conservación Ecológica de Islas de la Bahía (BICA-Guanaja)	Reforestación y educación ambiental
Honduras	Pobladores de la comunidad de Lis Lis	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Honduras	Pobladores de la comunidad de Balfate	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Honduras	Comunidad del Estero Prieto/Las Flores	Reforestación
Colombia	Asociación sostenible de mangleros y pescadores (Boca Cerrada)	Monitoreo
Colombia	ASOAMANGLEBAL (Asociación ambientalista de mangleros de la balsa)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMATIC (Asociación de mangleros de tinajones de composteros de san bernardo del viento)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMAGPESTIN (Asociación de pescadores y mangleros de tinajones)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMASAN (Asociación ambientalista de mangleros de san bernardo del viento)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMAGRO (Asociación de mangleros agroecológicos de san antero)	Reforestación y gestión de los recursos naturales

Colombia	COOPROCAÑO (Cooperativa de productores y comercializadores agrícolas de caño lobo)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASMADECOS (Asociación de mangleros para el desarrollo del ecoturismo en el antiguo delta del río Sinú)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	COMASCAL (comité de mangleros solidarios de caño lobo)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMAUSAN (asociación de mangleros unidos de san antero)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMAPEBCA (asociación de mangleros y pescadores de base de Cantarillo)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMAPESCA (Asociación de mangleros y pescadores de caño lobo)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOMASANBV (Asociación ambientalista de mangleros del municipio de San Bernardo del Viento)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	ASOAGROCHI (Asociación ambientalista agrícola del corregimiento de Chiqui del municipio de San Bernardo)	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Colombia	Pobladores de Tasajera, Pueblo Viejo, Isla del Rosario, Palmira, Bocas de Cataca, Buena Vista, El Morro, y los caseríos del Caño Clarín.	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Jamaica	Comité local del proyecto de reforestación de manglares del puerto de Kingston	Reforestación
Haití	Habitantes de la comuna de Fonds-Verrettes, comuna de Cayes-Jacmel y la localidad de Gros Cheval	Reforestación y educación ambiental
Haití	Miembros de las cuencas costeras de Aquin y Saint Louis du Sud	Educación ambiental
Haití	Comunidad de Aquin	Reforestación
Cuba	Pobladores de Playa Cajío	Reforestación y rehabilitación hidrológica
Santa Lucía	Comunidad de Ma Koté	Reforestación y rehabilitación hidrológica
Guyana	Grupo de Mujeres Productoras de la Reserva de Mangles Guyana	Reforestación y educación ambiental
Guyana	Comunidades aledañas a la reserva West Coast Berbice	Reforestación y gestión de los recursos naturales
Surinam	Comunidad de Weg naar Zee	Reforestación y gestión de los recursos naturales

De acuerdo con la información obtenida solo el 13% de las fuentes de información analizadas mencionan la cobertura en hectáreas de manglar degradado que había al momento de iniciar las acciones de restauración, así como el número de hectáreas que se lograron restaurar. El resto carecen de alguno o ambos elementos. La falta de datos sobre las superficies de hectáreas de manglares en restauración o restauradas, hace difícil realizar el análisis del éxito de la restauración a nivel regional.

De las hectáreas degradadas o impactadas reportadas en las fuentes de información revisadas (112), el 25% mencionan la extensión afectada o la que se pretende recuperar. La región del GEM del Golfo de México presenta el mayor porcentaje de documentos con esta información (64%), seguida del GEM del Mar Caribe (32%) y el menor en la GEM de la Plataforma Norte del Brasil (4%).

En cuanto a la recuperación del ecosistema de manglar derivada de las acciones de restauración implementadas, únicamente 43 (38%) de las fuentes de información analizadas (112) mencionan el número de hectáreas recuperadas. De estas el GEM del Golfo de México es la que reporta el mayor porcentaje de documentos con esta información (68%), mientras que el GEM de la Plataforma Norte del Brasil (2%) presenta el menor porcentaje (Fig. 3.6). De manera particular el GEM del Golfo de México presenta el mayor porcentaje de fuentes de información (48%) en comparación de las regiones del GEM del Mar Caribe y Plataforma Norte del Brasil que es menor al 30% en ambos casos (Fig. 3.6).



¿Cuáles han sido los costos de la restauración de manglares en la región del Gran Caribe?

En cuanto a los costos de los proyectos de restauración existe alta variabilidad en la relación hectáreas restauradas vs el costo. Es importante mencionar que los resultados representan el costo total de los proyectos ajustados de acuerdo con la inflación para el año 2021.

Los costos de la restauración incluyen pago de jornales, acciones de restauración (reforestación y rehabilitación hidrológica o modificación de la topografía), construcción de viveros cuando fue necesario, capacitación, etc.

El costo del programa de monitoreo de las acciones de restauración como paso fundamental en la estrategia que este manual describe en los capítulos anteriores, sólo se considera durante el periodo de vigencia del proyecto, evaluando algunas de las variables sugeridas en el capítulo de monitoreo de este manual. El costo de las acciones de restauración de manglares por hectárea en GEM del Golfo de México varió entre US\$ 2,000-120,000, este último en West Lake, Florida (EUA) donde se restauraron 500 ha de manglar a lo largo de 11 años mediante la rehabilitación hidrológica con el proyecto “Mangrove Restoration at West Lake (Broward County)” (Fig. 3.7).

En el caso del GEM del Mar Caribe el costo por hectárea va de US\$ 2,050-25,000 este último en Culebra, Isla Culebra (Puerto Rico) en donde se recuperaron 8.1 ha a través de la reforestación con más de 4,000 individuos de *R. mangle* dentro del proyecto “Culebra Island: Puerto del Manglar Red Mangrove Restoration” (Fig. 3.7). Del sitio de esta región con mayor extensión en área intervenida con acciones de restauración (Ciénega Grande de Santa Martha, Colombia) no fue posible obtener la inversión, pero muy probablemente sea la mayor en la región.

La gran variabilidad en los costos de la restauración de manglares está relacionada principalmente con el tipo de acción o acciones implementadas. En la rehabilitación hidrológica los costos además de la mano de obra y materiales utilizados (palas, picos, costales) para abrir canales manualmente, se incluyen gastos requeridos en la renta de maquinaria para abrir canales que requieren la movilización de grandes volúmenes de sedimento, así como la construcción de bases o tubos de concreto para crear los pasos de agua por ejemplo en carreteras.

En el caso de la reforestación, su costo aumenta por la construcción y mantenimiento de viveros, así como el tipo de material utilizado para la siembra. Al comparar los proyectos con acciones de rehabilitación hidrológica, se observa una tendencia de incremento de hectáreas restauradas a medida que aumentan el coste, sin embargo, esta tendencia no es tan clara cuando la acción es la reforestación (Fig. 3.8).

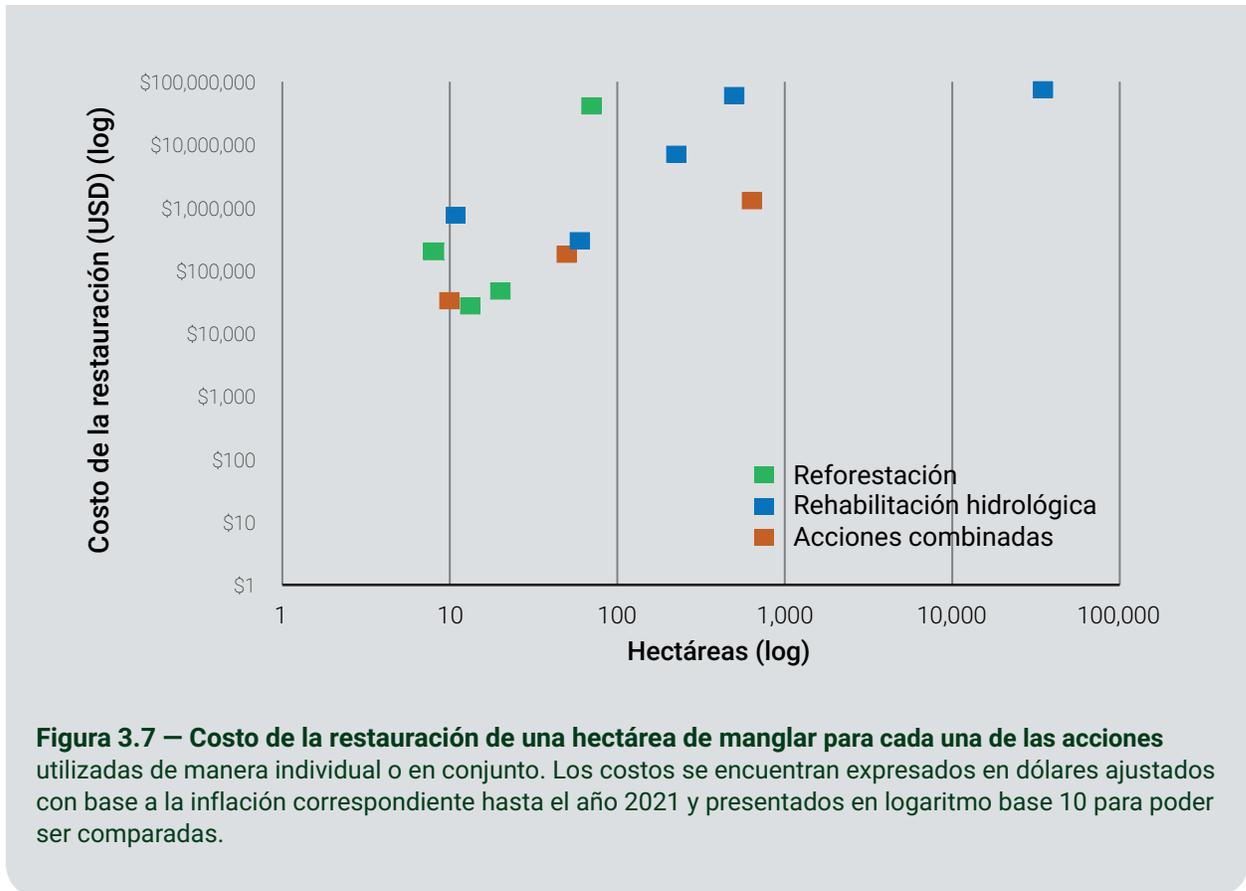


Figura 3.7 – Costo de la restauración de una hectárea de manglar para cada una de las acciones utilizadas de manera individual o en conjunto. Los costos se encuentran expresados en dólares ajustados con base a la inflación correspondiente hasta el año 2021 y presentados en logaritmo base 10 para poder ser comparadas.

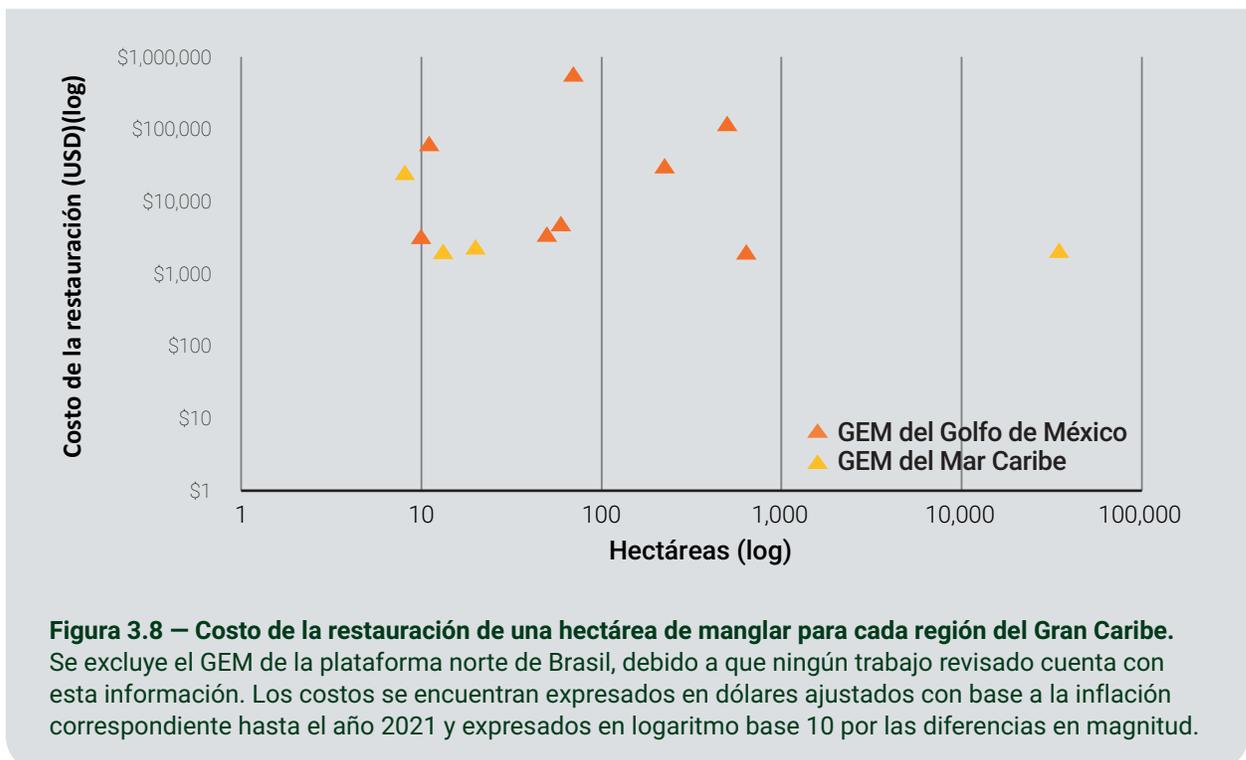


Figura 3.8 – Costo de la restauración de una hectárea de manglar para cada región del Gran Caribe. Se excluye el GEM de la plataforma norte de Brasil, debido a que ningún trabajo revisado cuenta con esta información. Los costos se encuentran expresados en dólares ajustados con base a la inflación correspondiente hasta el año 2021 y expresados en logaritmo base 10 por las diferencias en magnitud.

Consideraciones finales

Las causas de deterioro de los manglares son diversas y se encuentran ligadas a las características socioeconómicas de cada país, siendo las principales: el desarrollo urbano, el turismo, la extracción de productos maderables, actividades del sector primario, la industria minera y de hidrocarburos, y los eventos naturales. No obstante, el cambio de uso del suelo es la más frecuente y la que mayor impacto tiene en la extensión de manglar degradado.

Con el objetivo de mitigar las consecuencias de estas amenazas desde la década de 1970 se ha impulsado la generación, sistematización y aplicación de actividades que permitan la recuperación de manglares que han sido degradados o destruidos en la región del Gran Caribe. El área del Golfo de México es donde mayor número de proyectos de restauración se han ejecutado, mientras que en la región del mar Caribe se han intervenido un mayor número de hectáreas para la restauración.

Las acciones de restauración han evolucionado de una estrategia tipo “ensayo y error” a una más estructurada en la que las sinergias entre actores (sociales, gubernamentales, académicos y financiadores) han mostrado mejores resultados que los esfuerzos individuales. Actualmente, estas acciones se pueden clasificar de acuerdo con tres enfoques: rehabilitación hidrológica, rehabilitación topográfica y reforestación; siendo esta última la que se ha implementado con mayor frecuencia. Las tendencias actuales en la restauración están cambiando hacia la combinación de acciones, siendo la rehabilitación hidrológica la más utilizada.

Con respecto a la extensión de área destinada a restaurar en los proyectos de restauración, esta está en función de los objetivos que se planteen cumplir y de los recursos disponibles. Los proyectos que restauran sitios con una extensión menor a 100 ha son los más comunes. Los costos de restauración cambian de acuerdo con diferentes factores, como la ubicación, el área a restaurar, el tiempo que se requiera, el costo de los insumos en la región, así como del nivel de vida que cada región, país, entre otros aspectos. De acuerdo con esta revisión el intervalo del costo de restauración de manglares en la región del Gran Caribe es de US\$ 2,000-120,000 por hectárea (Fig. 3.7 y 3.8).

Sugerencias

- Aumentar el número de proyectos y hectáreas de restauración de manglares en la región del Gran Caribe considerando las tasas de deforestación a las que están siendo sujetas.
- Los proyectos de restauración de manglares deben seguir una estrategia que maximice la relación costo-beneficio. La propuesta en este manual es una alternativa que ha mostrado alto nivel de eficiencia.
- Los proyectos de restauración deben procurar hacer sinergias entre sociedad, gobierno, academia e instituciones financieras.
- Se debe procurar el fortalecimiento de capacidades de las comunidades locales, incluir siempre programas de monitoreo y de difusión de resultados.
- Implementar actividades en el sitio del manglar restaurado involucrando a las comunidades locales que, favorezcan por una parte la apropiación del sitio por parte de la comunidad, y por otra, la continuidad de las funciones del ecosistema.
- Realizar llamados regionales y nacionales de emergencia para la protección del ecosistema manglar.
- Promover la articulación intersectorial e interinstitucional para optimizar los recursos y evitar la duplicidad de acciones en regiones específicas.

Glosario

Adaptaciones morfológicas	Son los cambios que presentan los organismos en su estructura externa que permiten una mejor adaptación a su hábitat.
Agua intersticial	Agua subterránea que se encuentra entre rocas y sedimentos.
Almacén de carbono	Son depósitos en los cuales se captura dióxido de carbono evitando así que ingrese a la atmósfera.
Ambiente heterogéneo	Espacio que presenta características climáticas, topográficas y edáficas que varían en tiempo y espacio favoreciendo adaptaciones locales y variación genéticas clinales.
Arcillas	Partículas del sedimento de tamaño fino (<0.002mm), no drenan ni se secan fácilmente, se pega a los dedos y contienen buenas reservas de nutrientes.
Autoecología	Esta rama de la ecología se encarga de estudiar cómo los seres vivos se adaptan al ambiente en el que viven. Nos permite entender cómo sobreviven las especies en función de su hábitat.
Batimetría	Levantamiento topográfico del relieve de superficies subacuáticas o terrenos cubiertos por un cuerpo de agua, ya sea el fondo del mar, cauces de aguas, lagos, ríos embalses, etc.
Biomasa	La cantidad total de materia (el componente no acuoso se expresa frecuentemente como masa seca) procedente de organismos vivos.

Bonos de carbono	Mecanismo creados como un esfuerzo nacional e internacional para disminuir el incremento de las concentraciones de gases del efecto invernadero (GEI). Un bono de carbono equivale una tonelada de equivalentes de carbono.
Cambio climático	Es la modificación del clima que ha tenido lugar respecto de su historial a escala regional y global. Es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana.
Carbono almacenado	Es la cantidad total de carbono contenida por la biomasa.
Ciclos biogeoquímicos	Son los procesos en los cuales los elementos necesarios para la vida (e.g. C, N, P, etc.) circulan entre los seres vivos y el ambiente.
Condiciones anóxicas	Ambientes de agua marina, agua dulce o de aguas subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado.
Conectividad	Describe cómo la distribución y la calidad de los elementos en el paisaje afectan el desplazamiento de los organismos entre parcelas de hábitats.
Ecosistema degradado	Ecosistema cuya diversidad, productividad y funcionamiento ecológico se han reducido de tal modo que resulta poco probable que pueda recuperarse si no se adoptan medidas de rehabilitación o restauración.
Densidad aparente	Relación del peso de suelo seco (masa) y su volumen, que incluye el volumen de las partículas y de la porosidad entre las partículas.).
Desarrollo sostenible	Satisfacción de las necesidades básicas de la población actual que no ocasiona daños en el medio ambiente evitando que perjudique las necesidades de generaciones futuras.
Desazolve	Eliminación o retiro de sedimentos acumulados que bloquean un conducto o un canal.
Detritófagas	Que se alimentan de material orgánico muerto.
Detritus	Residuo resultante de la descomposición de materia orgánica.
Dragado	Es la operación que consiste en la limpieza y el ahondamiento de un cuerpo de agua, a partir de la remoción de rocas, arenas y sedimentos.
Ecosistema	Es un sistema de interacciones entre los organismos vivos y su ambiente físico.
Erosión	Conjunto de procesos que causan el desgaste del suelo por efecto de los agentes naturales externos, en especial el agua y el viento.

Especies facilitadoras	Especies que modifican un hábitat beneficiando así el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otras especies.
Fenología	Comprende el estudio del desarrollo o ciclos de los seres vivos relacionado a las variaciones climáticas y ambientales.
Fructificación	Formación de un fruto.
Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Son aquellos gases emitidos de forma natural y antropogénica (emitidos por la actividad humana) que se acumulan en la atmósfera de la tierra y que absorben la energía infrarroja del sol. Esto crea el denominado efecto invernadero, que contribuye al calentamiento global del planeta.
Gobernanza	Forma de dar dirección a la sociedad en la que el gobierno, la sociedad civil y diversas instituciones interactúan para resolver asuntos de interés público.
Gremios	Grupo de especies que explotan la misma clase de recursos ambientales de manera similar.
Hidroperíodo	Es el patrón resultante del nivel, frecuencia y duración de la inundación de cierta área.
Interacciones interespecíficas	Se establece cuando los individuos de una especie se relacionan con individuos de otras especies.
Interacciones intraespecíficas	Se establece cuando los individuos de una especie se relacionan entre sí.
Juvenil	Organismo que no ha alcanzado la forma adulta. En manglares es considerado juvenil aquellos que han alcanzado una altura superior a los 50 cm, con un diámetro menor a 2.5 cm.
Limo	Partículas del sedimento de tamaño medio fino entre 0.002 y 0.006 mm, de consistencia áspera al tacto, se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos.
Manejo adaptativo	Es un proceso de experimentación, aprendizaje y mejora continua en el que los aciertos y los errores son fuentes de conocimiento.
Materia orgánica	Es generada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.
Microtopografía	Es un rasgo de la superficie terrestre en la que se miden sus pequeñas variaciones, que a menudo miden solo uno o dos centímetros. Es uno de los principales controladores del hidroperíodo.

Mitigación	Acción de atenuación o disminución del impacto ambiental negativo producido por diferentes actividades a fin de reducirlo a límites tolerables o admitidos por la normativa vigente.
Neumatóforo	Son raíces que actúan como un órgano de intercambio gaseoso puesto que se dan en plantas que crecen en suelos con deficiencia de oxígeno. Esto es posible ya que crecen en dirección opuesta al suelo.
Nivel topográfico	Es una medida que se establecen de acuerdo con el nivel medio del mar, tomando como referencia un cuerpo de agua (laguna, río, zona marina, etc.), así como la hidrología del sitio de interés.
Nutrientes inorgánicos	Compuestos esenciales para el crecimiento de los seres vivos que no contienen carbono en su estructura química.
Objetivos del desarrollo sostenible (ODS)	Son una iniciativa impulsada por las Naciones Unidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030.
Organismos bentónicos	Organismo adherido o enterrado en el sustrato en el fondo de un cuerpo de agua.
Oxidación de materia orgánica	Ocurre cuando el carbono almacenado en forma de materia orgánica en el suelo es liberado en CO ₂ , por condiciones aerobias causadas por la interrupción de los flujos de agua.
Plántula	Estadio de desarrollo en que comienza cuando la semilla rompe su dormancia y germina. En este caso de manglar que nace y se desarrolla hasta alcanzar una altura de 50 cm
Productividad	Capacidad que tiene un organismo para generar material orgánico.
Propágulos	Parte o estructura de un organismo producido sexual o asexualmente, capaz de desarrollar un nuevo organismo idéntico al original.
Referencia conservado	Es un ecosistema con vegetación desarrollada, sin impactos y que prestan servicios ecosistémicos, se toma como sitio modelo a futuro al que pretende llegar tras realizarse un proyecto de restauración ecológica.
Referencia degradado	Es un ecosistema en condiciones similares al que se va a restaurar, o porción del mismo, que se toma como modelo para comprobar que es gracias a la restauración por lo que mejora el ecosistema restaurado.
Resiliencia del ecosistema	Es la capacidad natural del ambiente que le permite retornar a las condiciones iniciales tras haber sufrido una perturbación.

Restauración ecológica	Consiste en llevar a cabo un proceso para la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido y que pueda retornar a su estado original.
Salobre	Agua con un valor de salinidad mayor al agua dulce pero menor al agua de mar, aproximado de 0.50 a 17 partes por mil.
Sedimentación	Proceso de depósito y asentamiento de materia suspendida en el agua por efecto de la gravedad.
Sedimento	Depósito o acumulación de partículas (arena, grava, limo o barro) que es transportado por aire o agua al suelo de un humedal. Se forma en capas en la superficie terrestre.
Servicios ecosistémicos	Son los beneficios que las personas obtienen de la naturaleza. Estos beneficios pueden ser en forma de valores, bienes o servicios.
Soluciones basadas en la naturaleza (SbN)	Acciones en las que se aprovecha a los ecosistemas y los servicios que estos proveen, y que están encaminadas a hacer frente a diversos desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria o el riesgo de desastres.
Sucesión secundaria	Es un proceso de cambio en el tiempo mediante el cual una comunidad reemplaza a otra secuencialmente hasta que se establece por completo.
Textura de suelo	Es la composición del suelo determinado por el tamaño de las partículas que lo conforman, su agrupación determina un patrón de poros que influye en el movimiento del agua, la aireación y la porosidad del sedimento.
Vulnerabilidad	Se refiere al grado de resistencia de un sistema, subsistema o componente de un sistema ante el calentamiento global y la pérdida de biodiversidad causados directa o indirectamente por actividades del hombres y fenómenos naturales.

Literatura citada

- Adame, M.F., Teutli, C., Santini, N.S., Caamal, J.P., Zaldívar-Jiménez, A., Hernández, R. & Herrera-Silveira, J.A. (2014). Root biomass and production of mangroves surrounding a karstic oligotrophic coastal lagoon. *Wetlands*, 34, 479–488.
- Adger, W.N., Kelly, P.M., Ninh, N.H. & Thanh, N.C. (1997). Property rights and the social incidence of mangrove conversion in Vietnam. *Global Environmental Change Working Paper*, 97-21, Centre for Social and Economic Research on the Global Environment, University of East Anglia and University College London.
- Allen, T.F.H. & Hoekstra, T.W. (1987). Problems of scaling in restoration ecology: a practical application. In: W. R., Jordan, Gilpin, M. E. y Abe, J. D. (Eds.). *Restoration Ecology: a Synthetic Approach to Ecological Research* (pp. 289 -299). Cambridge University Press, Melbourne.
- Alonzo-Parra, D. (2011). Mejoramiento de humedales de zonas cársticas y semiáridas de la Península de Yucatán - subzona de recuperación II de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (Isla Arena). Ducks Unlimited de México A.C. Informe Final SNIB-CONABIO. Proyecto HH002. México, D.F.
- Alongi, D.M. (2009). *The dynamics of tropical mangrove forests*. Springer. New York.
- Aspila, K.I., Agemian, H. & Chau, A.S.Y. (1976). A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, 101(1200), 187-197.
- Beck, M.W., Heck, N., Narayan, S., Menéndez, P., Torres-Ortega, S., Losada, I.J., Way, M., Rogers, M. & McFarlane-Connelly, L. (2020). *Reducing Caribbean Risk: Opportunities for Cost-Effective Mangrove Restoration and Insurance*. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Biswas, S.R., Mallik, A.U., Choudhury, J.K. & Nishat, A. (2009). A unified framework for the restoration of Southeast Asian mangroves—bridging ecology, society and economics. *Wetlands Ecology and Management*, 17(4), 365-383.
- Blignaut, J., Aronson, J. & de Groot, R. (2014). Restoration of natural capital: A key strategy on the path to sustainability. *Ecological Engineering*, 65, 54-61.
- Bosire, J.O., Dahdouh-Guebas, F., Walton, M., Crona, B.I., Lewis III, R.R., Field, C., Kairo, J.B. & Koedam, N. (2008). Functionality of restored mangroves: a review. *Aquatic Botany*, 89(2), 251-259.

- Bouyoucos, G.J. (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science*, 23(5), 343-354.
- Brown, B., Fadillah, R., Nurdin, Y., Soulsby, I., & Ahmad, R. (2014). CASE STUDY: Community Based Ecological Mangrove Rehabilitation (CBEMR) in Indonesia. From small (12-33 ha) to medium scales (400 ha) with pathways for adoption at larger scales (> 5000 ha). *SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, 7 (2). <http://journals.openedition.org/sapiens/1589>
- Campos, C.A. & Moreno-Casasola, P. (2009). Suelos hidromórficos. En: Breviario para describir, observar y manejar humedales. P. Moreno-Casasola y Warner, B. (eds.). Serie Costa Sustentable No 1. Ramsar, Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, pp. 111–130.
- Canty, S.W., Preziosi, R.F. & Rowntree, J.K. (2018). Dichotomy of mangrove management: A review of research and policy in the Mesoamerican reef region. *Ocean & Coastal Management*, 157, 40-49.
- Caribbean Environment Programme (2019). Restored Mangroves Building Guyana's Resilience. The United Nations Environment Programme (UNEP). Recuperado el 01 de abril de 2021 de: <https://www.unep.org/cep/news/blogpost/restored-mangroves-building-guyanas-resilience>
- Chazdon, R. L., Falk, D. A., Banin, L. F., Wagner, M., J Wilson, S., Grabowski, R. C., & Suding, K. N. (2021). The intervention continuum in restoration ecology: rethinking the active–passive dichotomy. *Restoration Ecology*, e13535.
- Cintrón, G. & Schaeffer-Novelli, Y. (1983). Introducción a la ecología del manglar. Montevideo, Uruguay, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe.
- Cisneros-de la Cruz, D.J. (2019). Variabilidad genética, anatómica y fisiológica de *Rhizophora mangle* L. en la Península de Yucatán (Tesis de Doctorado, Centro de Investigación Científica de Yucatán).
- Comín, F.A. (2002). Restauración ecológica: teoría versus práctica. *Ecosistemas*, XI (1): 1-5.
- Comín, F.A., Menéndez, M. & Herrera, J.A. (2004). Spatial and temporal scales for monitoring coastal aquatic ecosystems. *Aquatic conservation*, 14, S5-S18.
- Comín, F.A., Menéndez, M., Pedrocchi, C., Moreno, S., Sorando, R., Cabezas, A., García, M., Rosas, V., Moreno, D., González, E., Gallardo, B., Herrera, J.A., Rubio J.C. & Ciancarelli, C. (2005). Practical Approaches for Planning and Developing the Ecological Restoration of Wetlands. *Ecological Restoration*, 3, 182-186.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2009). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México D.F.
- Cotler, H., Bocco, G. & Velásquez, A. (2004). El análisis del paisaje como base para la restauración ecológica. Sánchez, O. *et al.* Diplomado en restauración ecológica. INE-SEMARNAT, United States Fish & Wildlife Service, Unidos para la Conservación, AC, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM.
- De Lacerda, L.D., Borges, R. & Ferreira, A.C. (2019). Neotropical mangroves: Conservation and sustainable use in a scenario of global climate change. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(8), 1347-1364.
- Diego-Soroa, C. (2020). Contraste metodológico en los MDT realizados con drones. (Tesis de grado, Universidad de Cantabria).
- Donath, T.W., Holzel N. & Otte, A. (2003). The impact of site conditions and seed dispersal on restoration success in alluvial meadows. *Applied Vegetation Science*, 6,13–22.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarsa, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5), 293-297.

- Duke, N.C., Meynecke, J., Dittmann, S., Ellison, A., Anger, K.U., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K., Field, C., Koedam, N., Lee, S., Marchand, C., Nordhaus, J. & Dahdouh-Guebas, F. (2007). A world without mangroves. *Science*, 317, 41-42.
- Dutch Caribbean Nature Alliance. (2017). Aruba: mangrove restoration begins at Spaans Lagoen. DCNA. Recuperado el 25 de marzo de 2021 de: <https://dncanature.org/mangrove-restoration-spaans-lagoen/>
- Ebner, B. C., & Morgan, D. L. (2013). Using remote underwater video to estimate freshwater fish species richness. *Journal of Fish Biology*, 82, 1592–1612.
- Echeverría-Ávila, S., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Canales-Delgadillo, J., Brito-Pérez, R., Merino-Ibarra, M. & Vovides, A. (2019). Regeneración natural de sitios de manglar degradado en respuesta a la restauración hidrológica. *Madera y bosques*, 25(1), e2511754. doi: 10.21829/myb.2019.2511754
- Egan, A. & Estrada, V. (2013). Socio-Economic Indicators for Forest Restoration Projects. *Ecological Restoration*, 31(3), 302-316.
- Ellison, A.M. & Farnsworth, E.J. (1996). Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica*, 549-565.
- Ferreira, A.C., Ganade, G. & de Attayde, J.L. (2015). Restoration versus natural regeneration in a neotropical mangrove: effects on plant biomass and crab communities. *Ocean & Coastal Management*, 110, 38-45.
- Fernández-Manjarrés, J.F., Roturier, S. & Bilhaut, A.-G. (2018). The emergence of the social-ecological restoration concept. *Restoration Ecology*, 26: 404-410.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1994). Directrices para la ordenación de los manglares. Cuadernos Técnicos de la FAO. Estudio FAO Montes 117. Subdirección de Desarrollo de Recursos Forestales. Dirección de Recursos Forestales. Departamento de Montes. Chile. 345 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2007). The World's Mangroves 1980-2005. FAO Forestry Paper No. 153. Rome, Forest Resources Division, FAO. 77 pp.
- Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decler, K. & Dixon, K.W. (2019). International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*, 27: S1-S46.
- Global Mangrove Watch. (2021). Mangroves. Recuperado el 20 de febrero de 2021 de: <https://www.globalmangrovetwatch.org/?map=eyJiYXNlbnRwFjloibGlnaHQiLCJ2aWV3cG9ydCI6eyJsYXRpdHVkZSI6MjAsImxvbmRpdHVkZSI6MCwiem9vbSI6Mn19>
- Gosselink, J.G. & Turner, R. E. (1978). The role of hydrology in freshwater wetland ecosystems. En R. E. Good, D.F. Whigham, & R.L. Simpson (eds.), *Freshwater Wetlands: Ecological Processes and Management Potential* (pp 63-78). Academic Press, New York.
- Grenadian–German Pilot Programme. (2018). Restoration and Community Co-Management of Mangroves (RECCOMM): A brief from the Integrated Climate Change Adaptation Strategies (ICCAS) Programme. Recuperado el 26 de marzo de 2021 de: <https://www.giz.de/en/downloads/ICCAS-2018-en-RECCOMM.pdf>
- Heemsoth, A. (2021). Jamaica Awareness of Mangroves In Nature. Khaled bin Sultan Living Oceans Foundation. Recuperado el 01 de abril de 2021 de: <https://www.livingoceansfoundation.org/jamaica-awareness-of-mangroves-in-nature/>

- Hernández-Mendoza, L.C., Arceo-Carranza, D. & Valdez-luit, J.O. (2019). Estructura de la comunidad íctica de un ecosistema de manglar en proceso de restauración en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. En: Molina Moreira N. Manglares de América, (pp.69-82).
- Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Ruiz, P.G., & Comín, F. (2020). Restauración ecológica de manglares de México. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, O. D. C. Rosas, A. Espinoza-Tenorio, R. S. Casarín, A. Ortega-Rubio, A., ... & B.E. Vega-Serratos (eds.), *Gobernanza y Manejo de las Costas y Mares ante la Incertidumbre* (pp. 649-674). Universidad Autónoma de Campeche, Ricomar.
- Herrera-Silveira, J.A., Teutli-Hernández, C., Zaldívar-Jiménez, A., Pérez-Ceballos, R., Cortés-Balán, O., Osorio-Moreno, I., Ramírez-Ramírez, J., Caamal-Sosa, J., Andueza-Briceño M.T., Torres, R. & Hernández-Aranda, H. (2013). Programa Regional Para La Caracterización Y El Monitoreo De Ecosistemas De Manglar Del Golfo De México Y El Caribe Mexicano: Inicio De Una Red Multi-Institucional. Península De Yucatán. CINVESTAV-ECOPEY/CONABIO, FB1307-FN009/08. Informe Final, noviembre 2013.
- Herrera-Silveira, J.A., Zaldívar-Jiménez, A., Teutli-Hernández, C., Pérez-Ceballos, R., Caamal, J. & Andueza, T. (2012). 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. México, D.F.
- Hobbs, R.J. & Norton, D.A. (1996). Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration ecology*, 4(2), 93-110.
- Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. & Page, S. (2006). PEAT-CO2, Assessment of CO2 emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943 (2006).
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E. & Telszewski, M. (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows. In: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of unesco. International Union for Conservation of Nature, Arlington.
- Jordán, L.A. (2006). Manual de edafología. Curso 2005-2006. Universidad de Sevilla, España.
- Kamali, B. & Hashim, R. (2011). Mangrove restoration without planting. *Ecological Engineering*, 37(2), 387-391.
- Kauffman, J.B., Donato, D.C. & Adame, M.F. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares, (117). CIFOR.
- Kentula, M.E., Brooks, R.P., Gwin, S.E., Holland, C.C., Sherman A.D. & Sifneos J.C. (1992). *Wetlands: an approach to improving decision making in wetland restoration and creation*. Washington, DC: Island Press.
- Kelly, M., Tuxen, K.A. & Stralberg, D. (2011). Mapping changes to vegetation pattern in restoring wetland: finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological indicators*. 11(2), 263-273.
- Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T.V. & Dech, S. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sens*, 3, 878–928.
- Lee, S.Y., Hamilton, S., Barbier, E. Primavera J. & Lewis III R.R. (2019). Better restoration policies are needed to conserve mangrove ecosystems. *Nature Ecology and Evolution*, 3(6), 870–872.
- Lewis III, R.R. (2005). Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological engineering*, 24(4), 403-418.
- López-Hoffman, L., Anten, N.P., Martínez-Ramos, M., & Ackerly, D.D. (2007). Salinity and light interactively affect neotropical mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. *Oecologia*, 150(4), 545-556.

- Lovelock, C.E., & Feller, I.C. (2003). Photosynthetic performance and resource utilization of two mangrove species coexisting in a hypersaline scrub forest. *Oecologia*, 134(4), 455-462.
- Lugo, A.E. (2002). Conserving Latin American and Caribbean mangroves: issues and challenges. *Madera y Bosques*, 8, 5-25.
- Lugo, A.E., & Snedaker, S.C. (1974). The ecology of mangroves. *Annual review of ecology and systematics*, 5(1), 39-64.
- Mantilla-Guayanay, F.M. (2012). Aplicación de nuevas tecnologías en topografía. (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 101 p.
- Marchand, L., Castagneyrol, B., Jiménez, J.J., Rey B.J.M.; Benot, M.L., Martínez-Ruiz, C, Alday, J.G., Jaunatre, R., Dutoit, T., Buisson, E., Mench, M., Alard, D., Corcket, E. & Comín, F.A. (2021). Conceptual and methodological issues in estimating the success of ecological restoration. *Ecological Indicators*, 123, 107362.
- Martin, D.M. (2017). Ecological restoration should be redefined for the twenty first century. *Restoration Ecology*, 25(5), 668-673.
- Matthews, J.W. & Spyreas, G. (2010). Convergence and divergence in plant community trajectories as a framework for monitoring wetland restoration progress. *Journal of Applied Ecology*, 47(5), 1128-1136.
- McKee, K.L., & Faulkner, P.L. (2000). Restoration of Biogeochemical Function in Mangrove Forests. *Restoration Ecology*, 8, 247-259.
- Melana, D.M., Atchue III, J., Yao, C.E., Edwards, R., Melana, E.E., & Gonzales, H.I. (2000). Mangrove Management Handbook. Department of Environment and Natural Resources, Manila, Philippines through the Coastal Resource Management Project, Cebu City, Philippines. 96 p.
- Menéndez, P., Losada, I.J., Torres-Ortega, S., Narayan, S. & Beck, M.W. (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific reports*, 10(1), 1-11.
- Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G. (2007). *Wetlands*. Hoboken, Usa. 574p.
- Moreno-Casasola, P. & Warner, B. (2009). Breviario para describir, observar y manejar humedales. Serie Costa Sustentable no 1. RAMSAR, Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Xalapa, Ver. México. 406 pp.
- Narayan, S., Beck, M.W., Reguero, B.G., Losada, I.J., van Wesenbeeck, B., Pontee, N., Sanchirico, J.N., Cater-Ingam, J., Lange, G. & Burks-Copes, K. (2016). The Effectiveness, Costs and Coastal Protection Benefits of Natural and Nature-Based Defences. *PLoS ONE*, 11(5), e0154735.
- Nello, T., Fonseca, F., Raes, L., Sanchún, A., Saborío, J., & Chacón, O. (2018). Restauración de manglar y bosque de galería Guías técnicas para la restauración en El Salvador, 6. San José, Costa Rica: UICN-ORMACC.
- Niemi, G.J. & McDonald, M.E. (2004). Application of ecological indicators. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 89-111.
- Outterson, A.H. (2014). Evaluating the Progress of a Mangrove Reforestation Project on Isla Galeta, Colon. Independent Study Project (ISP) Collection. 1997.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). Decenio de las Naciones Unidas sobre la restauración de los ecosistemas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado el 02 de Febrero de 2021 de: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/nueva-decada-de-la-onu-para-la-restauracion-de-los>

- Oxmann, J.F., Pham, Q.H., Schwendenmann, L., Stellman, J. M. & Lara, R. J. (2010). Mangrove reforestation in Vietnam: the effect of sediment physicochemical properties on nutrient cycling. *Plant and soil*, 326(1-2), 225-241.
- Parsons, T.R., Maita, Y., & Lalli, C.M. (1984): *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Patil, P.G., Virdin, J., Diez, S.M., Roberts, J., & Singh, A. (2016). *Toward A Blue Economy: A Promise for Sustainable Growth in the Caribbean; An Overview*. The World Bank, Washington D.C.
- Pérez-Ceballos, R., Echeverría-Ávila, S., Zaldívar-Jiménez, A., Zaldívar-Jiménez, T. & Herrera-Silveira, J. (2017). Contribution of microtopography and hydroperiod to the natural regeneration of *Avicennia germinans* in a restored mangrove forest. *Ciencias Marinas*, 43(1), 55-67.
- Pinzón-Venegas, C.V. (2017). *Evaluación de la topografía y su aplicación en la restauración de una zona de manglar en Progreso, Yucatán* (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán).
- PNUD y MiAMBIENTE. (2017). *Guía de Buenas Prácticas para la Restauración de Áreas degradadas de Manglar. Proyecto Protección de Reservas y Sumideros de Carbono en los Manglares y Áreas Protegidas de Panamá*. PNUD, Ciudad del Saber, Panamá. 64p
- Primavera, J.H. (2000). Development and conservation of Philippine mangroves: institutional issues. *Ecol. Econ.*, 35, 91–106
- Proffitt, C.E. & Travis, S.E. (2010). Red mangrove seedling survival, growth, and reproduction: Effects of environment and maternal genotype. *Estuaries and Coasts*, 33(4), 890-901.
- PRONATURA. (2013). *Plan de manejo del área privada de conservación “El Pájaro” municipio de Alvarado, Veracruz*. SEDUMA/PRONATURA. 57 p.
- Quiro, C.R. (2017). *Guía de Restauración Ecológica de Manglares Éperãara Siapidãara en el departamento del Cauca–GREM SIA*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, GEF, CI Colombia, 30 pp.
- Ralph, C. John; Geupel, G. R.; Pyle, P.; Martin, T. E.; DeSante, D. F. & Borja, M. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p. https://www.avesdecostarica.org/uploads/7/0/1/0/70104897/manual_de_metodos.pdf
- Ravishankar, T. & Ramasubramanian, R. (2004). *Manual on mangrove nursery techniques*. M.S. Swaminathan Research Foundation; Chennai, India. pp 48.
- Reddy, K.R. & DeLaune, R.D. (2008). *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*. CRC press. Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Reddy, C.S., Sreelekshmi, S., Jha, C.S. & Dadhwal, V.K. (2013). National assessment of forest fragmentation in India: Landscape indices as measures of the effects of fragmentation and forest cover change. *Ecological Engineering*, 60, 453-464.
- Richardson, C.J. & Reddy, K.R. (2013). Methods for soil phosphorus characterization and analysis of wetland soils. *Methods in biogeochemistry of wetlands*, 10, 603-638.
- Rivas, A.B., González, C., Canty, S., Rodríguez-Olivet, C., Flamenco, X., González, M.J., & Escobedo, M. (2020). *Regional Strategy for Mangrove Management, Conservation, Restoration and Monitoring in the Mesoamerican Reef 2020-2025*. Guatemala City: Mesoamerican Reef Fund. <https://doi.org/10.5479/10088/107486>
- Rivera-Monroy, V., Twilley, R.R., Mancera, E., Alcántara-Eguren, A., Castañeda-Moya, E., Casas-Monroy, O., Reyes, P., Restrepo, J., Perdomo, L.V., Campos E., Cortés, G., & Vilorio, E. (2006). *Aventuras y desventuras en Macondo: rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia*. *Ecotrópicos*, 19(2), 72-93.

- Rodríguez-Rodríguez, J. A., Mancera-Pineda, J. E. & Rodríguez, J. M. (2016). Validation and application of an individual based restoration model for three mangrove species in Ciénaga Grande de Santa Marta. *Caldasia*, 38(2), 285-299.
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., Villeda Chávez, E., Vázquez-Lule, A.D., Bejarano, Cruz-López, M.I., Olguín, M., Villela-Gaytán, S.A., & Flores, R. (2018). Métodos para la caracterización de los manglares mexicanos: un enfoque espacial multiescala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. 272 pp.
- Romañach, S.S., DeAngelis, D.L., Koh, H.L., Li, Y., Teh, S.Y., Barizan, R.S.R. & Zhai, L. (2018). Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, 154, 72-82.
- Rönback, P., Crona, B. & Ingwall, L. (2007). The return of ecosystem goods and services in replanted mangrove forests: perspectives from local communities in Kenya. *Environ Conserv*, 34, 313–324
- Ruiz Jaen, M.C. & Mitchell, A.T. (2005). Restoration success: how is it being measured? *Restoration ecology*, 13(3), 569-577.
- Sanjurjo, E. y Welsh, S. (2005). Una descripción del valor de los bienes y servicios ambientales prestados por los manglares. *Gac. Ecol.*, 55-68.
- Sapkota R.P., Stahl P.D. & Rijal K. (2018). Restoration governance: An integrated approach towards sustainably restoring degraded ecosystems. *Environmental Development*, 27, 83-94.
- Schulte, E.E. & Hopkins, B.G. (1996). Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. En: F.R. Magdoff *et al.* (eds.) *Soil organic matter: Analysis and interpretation* (pp 21-31). SSSA Spec. Publ.
- Serafy, J.E., Shideler, G.S., Araújo, R.J. & Nagelkerken, I. (2015). Mangroves enhance reef fish abundance at the Caribbean regional scale. *PloS one*, 10(11), e0142022.
- Sha, C., Wang, M., Jiang, Y. & Lin, G. (2018). Interactions between pH and other physicochemical properties of mangrove sediments: A review. *Chinese Science Bulletin*, 63(26), 2745-2756.
- Schaeffer-Novelli, Y. y Cintrón, G. (1990). Métodos para la descripción y estudio de áreas de manglar. Ingeniería marítima, Ciencias del mar. Escuela superior Politécnica del Litoral. Puerto Rico.
- Silvestri, S. & Kershaw, F. (2010). Framing the flow: Innovative Approaches to Understand, Protect and Value Ecosystem Services across Linked Habitats, UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.
- Simenstad, C. & Thom, R.M. (1996). Functional Equivalency Trajectories of the Restored Gog Le Hi Te Estuarine Wetland. *Ecological applications*, 6(1), 38-56.
- Simenstad, C., Reed, D., & Ford, M. (2006). When is restoration not?: Incorporating landscape-scale processes to restore self-sustaining ecosystems in coastal wetland restoration. *Ecological Engineering*, 26(1), 27-39.
- Smokorowski, K.E., & Randall, R.G. (2017). Cautions on using the Before-After-Control-Impact design in environmental effects monitoring programs. *Facets*, 2(1), 212-232.
- Society for Ecological Restoration (SER). (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Society for Ecological Restoration (SER). (2010). Indonesia: Central Kalimantan Peatlands Restoration Project. Global Restoration Network Case Study Database.
- Society of Ecological Restoration (SER). (1994). Puerto Rico: Culebra Island: Puerto del Manglar Red Mangrove Restoration. SER. Recuperado el 25 de marzo de 2021 de: <https://www.ser-rrc.org/project/puerto-rico-culebra-island-puerto-del-manglar-red-mangrove-restoration/>

- Society of Ecological Restoration (SER). (2004a). Ecuador: Restauración del Manglar de Muisne en la Provincia de Esmeraldas. SER. Recuperado el 25 de marzo de 2021 de: <https://www.ser-rrc.org/project/ecuador-restauracion-del-manglar-de-muisne-en-la-provincia-de-esmeraldas/>
- Society of Ecological Restoration (SER). (2004b). Venezuela: Mangrove Restoration in Laguna de la Restinga National Park (Margarita Island). SER. Recuperado el 25 de marzo de 2021 de: <https://www.ser-rrc.org/project/venezuela-mangrove-restoration-in-laguna-de-la-restinga-national-park-margarita-island/>
- Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group. (2002). The SER primer on ecological restoration. SER. Recuperado de: <https://www.ser.org/default.aspx>
- Spalding, M. & Parrett, C.L. (2019). Global patterns in mangrove recreation and tourism. *Marine Policy*, 110, 103540.
- Spurgeon, J. (1998). The socio-economic costs and benefits of coastal habitat rehabilitation and creation. *Marine Pollution Bulletin*, 37, 373-382.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T. R. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Bulletin 167, 2° Edition. Fisheries research board of Canada. 310 p.
- Stone, K., Bhat, M., Bhatta, R. & Mathews, A. (2008). Factors influencing community participation in mangroves restoration: A contingent valuation analysis. *Ocean Coast. Manage.* 51, 476–484.
- Suding, K.N. & Gross, K.L. (2006). The dynamic nature of ecological systems: multiple states and restoration trajectories. En: D.A. Falk, Palmer, M.A., & Zedler, J.B. (eds.), *Foundations of restoration ecology* (pp 190-209). Island Press.
- Suprayogi, B. & Murray, F. (1999). A field experiment of the physical and chemical effects of two oils on mangroves. *Environmental and experimental Botany*, 42(3), 221-229.
- Teutli-Hernández, C. & Herrera-Silveira, J.A. (2016). Capítulo 20: Estrategias de restauración de manglares de México: el caso Yucatán. En: *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Ceccon, E. y Martínez-Garza, coordinadoras. Primera edición. Cuernavaca Morelos: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Universidad Autónoma del Estado de Morelos; Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 577 pp.
- Teutli-Hernández, C. (2004). Estimación del éxito de la restauración hidrológica de zonas de manglar en el norte de Yucatán, México. (Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Puebla).
- Teutli-Hernández, C. (2017). Una aproximación a la integración de escalas ecológicas para la restauración de ecosistemas de manglar. Tesis de doctorado. Universidad de Barcelona.
- Teutli-Hernandez, C. & Herrera-Silveira, J.A. (2018). The success of hydrological rehabilitation in mangrove wetlands using box culverts across coastal roads in Northern Yucatan (SE, México). En: Makowski C., Finkl C. (eds) *Threats to Mangrove Forests*. Coastal Research Library (607-619). Springer, Cham.
- Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J.A., Comín, F.A. & López, M.M. (2019). Nurse species could facilitate the recruitment of mangrove seedlings after hydrological rehabilitation. *Ecological Engineering*, 130, 263-270.
- Teutli-Hernández, C., Herrera-Silveira, J.A., Cisneros-de la Cruz., D.J. & Román-Cuesta, R. (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.

- Thompson-Benjamin, S. (2018). The political ecology of mangrove forest restoration in Thailand: Institutional arrangements and power dynamics. *Land Use Policy*, 78, 503–514
- Twilley R.R., Gottfried R.R., V.H. Rivera-Monroy, Wanqiao Z., Montaña-Armijos M. & Boderó A. (1998). An approach and preliminary model of integrating ecological and economic constraints of environmental quality in the Guayas River estuary, Ecuador. *Environmental Science & Policy* 1, 271–288
- Twilley, R.R. & Rivera-Monroy, V.H. (2005). Developing performance measures of mangrove wetlands using simulation models of hydrology, nutrient biogeochemistry, and community dynamics. *Journal of Coastal Research*, 79-93.
- United Nations Environment Programme-Caribbean Environment Programme (UNEP-CEP). (2020). Regional Strategy and Action Plan for the Valuation, Protection and/or Restoration of Key Marine Habitats in the Wider Caribbean 2021 – 2030. Port-of-Spain: CANARI.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2016). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10.pdf>
- VanZomerem C.M., Knicher H., Cooper W.T. & Reddy K.R. (2013). Characterization of organic nitrogen in wetlands. En: R.D. DeLaune, K.R. Reddy, C.J. Richardson, J.P. Megonigal (eds.). *Methods in Biogeochemistry of wetlands*, (pp 439-463). Madison.
- Vargas-Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta biológica colombiana*, 16(2), 221-246.
- Wagner, K.I., Gallagher, S.K., Hayes, M., Lawrence, B.A. & Zedler, J.B. (2008). Wetland restoration in the new millennium: do research efforts match opportunities?. *Restoration Ecology*, 16(3), 367-372.
- Wainaina, P., Minang, P.A., Gituku, E. & Duguma, L. (2020). Cost-Benefit Analysis of Landscape Restoration: A Stocktake. *Land*, 9(11), 465.
- Walkley, A. & Black, I. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Walters, B.B. (1997). Human ecological questions for tropical restoration: experiences from planting native upland forest and coastal mangrove trees in the Philippines. *For. Ecol. Manage.* 99, 275–290.
- Walters, B.B., Ronnback, P., Kovacs, J.M., Crona, B., Hussain, S.A., Badola, R. & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: a review. *Aquatic Botany*, 89(2): 220-236
- Wilson, R. (2017). Impacts of climate change on mangrove ecosystems in the coastal and marine environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS). *Caribbean Climate Change Report Card: Science Review*, 2017, 60-82.
- Worthington, T. & Spalding, M. (2018). Mangrove restoration potential: A global map highlighting a critical opportunity. <https://doi.org/10.17863/CAM.39153>
- Zhao, Q., Bai, J., Huang, L., Gu, B., Lu, Q. & Gao, Z. (2016). A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators*, 60, 442-452.



ISBN: 978-607-30-5469-0

PM
Programa Mexicano del Carbono
RED TEMÁTICA DEL **CONACYT**


Laboratorio Nacional
de Resiliencia Costera



9 786073 054690