

A photograph of a mangrove tree with a protective sleeve around its trunk. The tree has green leaves and a complex root system. The background is a body of water reflecting the sky. The text is overlaid on a semi-transparent white box.

MANUAL DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN PARA ÁREAS DEGRADADAS DE MANGLAR EN PANAMÁ

Proyecto: Protección de reservas y sumideros de carbono, en los manglares y áreas protegidas de Panamá

MANUAL DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN PARA ÁREAS DEGRADADAS DE MANGLAR EN PANAMÁ

Proyecto: Protección de reservas y sumideros de carbono, en los manglares y áreas protegidas de Panamá



REPUBLICA DE PANAMÁ
GOBIERNO NACIONAL

MINISTERIO DE
AMBIENTE

AUTORIDAD DE LOS RECURSOS
ACUÁTICOS DE PANAMÁ

CONSERVACIÓN
INTERNACIONAL
Panamá

Wetlands
INTERNACIONAL

PN
UD
Al servicio
de las personas
y las naciones

Cuidemos nuestros manglares, ellos nos protegen.

Con el apoyo de

PROGRAMA REGIONAL REDD

Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana

cooperación
alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

giz

CCAD

SICA
Comunidad Caribeña

AZUERO
Sostenible

AUDUBON
PANAMA

Ministerio de Recursos Ambientales y Energía
República de Panamá

2 Manual de técnicas de restauración para áreas degradadas de manglar en Panamá

AUTOR PRINCIPAL:

Arturo Zaldívar - Jiménez - Consultor del PNUD

COAUTORES DEL DOCUMENTO:

Rósela Yazmín Pérez Ceballos - Componente de hidrología y biogeoquímica en manglares

José Tomás Zaldívar-Jiménez - Componente de topografía

Claudia Victoria Pinzón Vanegas - Componente de caracterización y monitoreo

Juan Teofinis López Sayago - Componente de manejo silvícola

Paloma Ladrón de Guevara - Componente de involucramiento comunitario

Esthela Sánchez Martínez - Componente de producción de mangles

Stephanie Echeverría Ávila - Componente de caracterización y monitoreo

Carlos Eduardo González - Técnicas de reforestación y viveros de manglar

REVISADO POR:

Isis Pinto - Coordinadora general del proyecto "Protección de reservas y sumideros de carbono, en los manglares y áreas protegidas de Panamá", del PNUD

Jorge E. Jaén - Dirección de Costas y Mares de MiAMBIENTE

Ana Lorena Rodríguez - Dirección de Costas y Mares de MiAMBIENTE

Roberto Quintero - Edición y corrección de estilo

José Julio Casas M.- Director de Costas y Mares de MiAMBIENTE

WETLANDS INTERNATIONAL:

Andrés E. Fraiz T. - Oficial Técnico

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Maritzel Borbón, Irene Herrera - Dirección de Comunicación, Ministerio de Ambiente, Panamá.

EQUIPO PNUD

Jessica Young, Gerente Programa para ambiente, cambio climático y desarrollo sostenible

Larissa De León, Comunicaciones

EQUIPO DE AZUERO SOSTENIBLE:

Mónica J. Mora, Coordinadora

Juliana Chavarría, Asistente Técnica

Carlos López Alvarado, Asistente de Proyecto

FORMA SUGERIDA DE CITAR LA OBRA:

PNUD y MiAMBIENTE (2020). Manual de técnicas de restauración para áreas degradadas de manglar en Panamá. Proyecto "Protección de reservas y sumideros de carbono, en los manglares y áreas protegidas de Panamá". PNUD, Ciudad del Saber, Panamá. 98p.

ISBN

978-9962-8511-4-1

FOTOGRAFÍAS:

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Ambiente de Panamá, Wetlands International y Arturo Zaldívar - Jiménez.

Las ideas y opiniones expuestas en este documento son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no refleja necesariamente la visión ni la opinión del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y de los Estados Miembros de la ONU.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de Alemania, a través de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima. También a los socios que han trabajado en la implementación del proyecto “Protección de reservas y sumideros de carbono, en los manglares y áreas protegidas de Panamá”, así como a la Sociedad Audubon de Panamá, que con colaboración de The David and Lucile Packard Foundation, U.S. Fish and Wildlife Service y National Audubon Society, pudimos llegar a más actores en la etapa de formulación del documento.

Este manual podría incluir hasta dos páginas, con los nombres de tantos colaboradores del Ministerio de Ambiente que participaron del proceso. Especialmente los del equipo de la Dirección de Costas y Mares, que compartieron su tiempo, experiencia y conocimiento para desarrollar los espacios de consulta; así como por su colaboración en la realización de los recorridos de campo, que sirvieron como base para la formulación de este documento. Hay que mencionar además a la ingeniera Susan López, de la empresa AES Panamá, S.A.; al señor Gregorio Tamayo, curtidor de pieles de la provincia de Chiriquí; al señor Victor “Jako” Díaz, pescador y restaurador de manglares; y a la licenciada Karin Moreno de la Universidad Autónoma de Chiriquí, quien colaboró en el estado del arte del mismo.

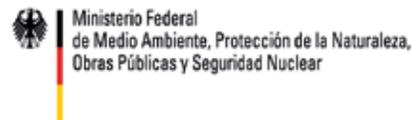
Finalmente, la publicación de este manual se materializó gracias a la colaboración del proyecto Azuero Sostenible para poder incorporar las técnicas exitosas empleadas en Panamá para recuperar estos ecosistemas tan valiosos.

De igual manera la reproducción de este documento se hizo posible el apoyo del Programa Regional Reducción de Emisiones de la Deforestación y Degradación de Bosques en Centroamérica y República Dominicana (REDD III), un programa financiado por el Ministerio Federal de Desarrollo Económico y Cooperación de Alemania (BMZ) y ejecutado por la GIZ en coordinación con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). “El objetivo es que esta herramienta sirva a los profesionales de Panamá que trabajan en la restauración de los manglares y ecosistemas asociados, pues son de gran importancia para el mundo.

El proyecto Protección de Reservas y Sumideros de Carbono en los manglares y Áreas Protegidas de Panamá es parte de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima.

El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUM) apoya esta iniciativa en base a decisión adoptada por el Parlamento de la República Federal de Alemania.

Fomentado por el:



en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania

PRESENTACIÓN

En las zonas costeras del mundo, se ubican las tres cuartas partes de la población mundial. Por eso, estas zonas son receptoras de los diversos impactos generados por las formas de uso del suelo, por parte de la población asentada en sus cuencas hidrográficas. Además, las zonas costeras contienen uno de los ecosistemas de mayor productividad y diversidad, que produce la mayor cantidad de pesca y sostiene una significativa parte de la actividad turística. Este ecosistema es el manglar, cuya importancia a nivel mundial es reconocida por los beneficios directos e indirectos que aportan a las poblaciones y por sus diversos servicios ecosistémicos.



Panamá es uno de los países de América Central que posee una de las mayores extensiones de su territorio cubiertas por manglar (MiAMBIENTE, 2018). El análisis preliminar formulado por la Dirección de Información Ambiental publicado en la Memoria Institucional 2020 del Ministerio de Ambiente, señala que aproximadamente los manglares cubren una superficie total de 165,418+5,162 m² en ambas costas. La mayor parte se encuentra en la costa del Pacífico, en particular en los Golfos de San Miguel, Panamá y Chiriquí. Mientras que, en el Caribe, la mayor parte se concentra en la Laguna de Chiriquí, Provincia de Bocas del Toro.

Por lo anterior, es necesario elaborar un manual de restauración de áreas de manglar para Panamá, que asegure el éxito de los esfuerzos que se han realizado para la recuperación de áreas degradadas de manglar; a través de iniciativas como los Objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en el tema de vida submarina (objetivo 14), que tiene dentro de sus metas proteger de manera sostenible los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia; y adoptar medidas para restaurarlos, a fin de restablecer la salud y la productividad.

Esperamos que este manual contribuya de una forma efectiva, en el desarrollo práctico y conceptual de la restauración ecológica en Panamá.

ÍNDICE

1. BASES ECOLÓGICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS MANGLARES	18
1.1 Definición del ecosistema de manglar	19
1.2 Factores ambientales que determinan la función y estructura en los manglares	20
1.3 Clasificación de los manglares	20
1.3.1 Manglar de franja	23
1.3.2 Manglar ribereño	24
1.3.3 Manglar de cuenca	26
1.3.4 Manglar enano	28
1.4 El proceso de la degradación de los manglares	30
2. CRITERIOS TÉCNICOS PARA IMPLEMENTAR ACCIONES DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MANGLARES	32
2.1 Caracterización y monitoreo ambiental	34
2.1.1 Diseño experimental	34
2.1.2 Indicadores ecológicos en el manglar	36
2.1.2.1 Indicador 1: Características biológicas	39
2.1.2.1.1 Estructura forestal	39
2.1.2.1.2 Regeneración natural	41
2.1.2.2 Indicador 2: Características hidrológicas	42
2.1.2.2.1 Hidroperíodo	42
2.1.2.2.2 Fuente de agua	43
2.1.2.3 Indicador 3: Biogeoquímica	43
2.1.2.3.1 Salinidad (superficial e intersticial)	43
2.1.2.3.2 Temperatura (superficial e intersticial)	44
2.1.2.3.3 Potencial de hidrógeno (pH)	44
2.1.2.3.4 Potencial de oxido-reducción (Redox)	45
2.1.2.3.5 Nutrientes del agua intersticial	45

2.1.2.3.6	Concentración de sulfuro (S-2)	47
2.1.2.3.7	Densidad aparente	47
2.1.2.3.8	Materia orgánica	48
2.1.2.3.9	Nutrientes en el suelo	49
2.1.2.3.10	Microtopografía	50
2.2	Ejemplo de la aplicación del levantamiento topográfico en la restauración	55
3.	PROCEDIMIENTOS ESTÁNDARES PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	60
3.1	Desazolve o limpieza de canales de marea	61
3.1.1	Canales principales	61
3.1.2	Canales secundarios	62
3.2	Centros de nucleación	63
3.3.	Técnica de reforestación y viveros de manglar	65
3.3.1	Descripción general de criterios de seguimiento, en viveros y plantaciones de especies de mangle	66
3.3.2	Establecimiento de viveros de especies de mangle y especies asociadas (experiencias en el Caribe y el Pacífico panameño)	67
3.3.3.	Técnicas de reforestación de manglares empleadas en Panamá	72
3.3.3.1	Técnica de unidades pioneras de albinas (cajas productivas)	72
3.3.3.2	Método de siembra al voleo	74
3.3.3.3	Método de siembra directa de propágulos	76
3.3.3.4	Método de siembra por trasplante a raíz protegida	78
3.3.3.5	Método de siembra de propágulos en tutores de bambú	79
3.4	Vinculación y capacitación comunitaria para la restauración	81
3.5	¿Cuándo se ha logrado la restauración de un ecosistema?	83
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.	REFERENCIAS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación para la estructura y funcionamiento de los manglares a nivel global, regional y local (Twilley y Rivera, 2005).	21
Figura 2. Esquema que representa la relación de la microtopografía/inundaciones/recursos/reguladores.	22
Figura 3. Fotografía de un manglar del tipo franja, en el Rio San Juan en la provincia de Chiriquí, Panamá.	23
Figura 4. Distribución típica de los manglares del tipo franja en Panamá.	24
Figura 5. Fotografía de un manglar del tipo ribereño, en el Rio San Juan en la provincia de Chiriquí, Panamá.	25
Figura 6. Distribución típica de los manglares ribereños en Panamá.	26
Figura 7. Fotografía de un manglar del tipo cuenca, ubicado en Chitré, provincia de Herrera, Panamá, donde predomina la especie <i>Avicennia germinans</i> .	27
Figura 8. Distribución típica de los manglares tipo cuenca en Panamá.	28
Figura 9. Fotografías de un manglar enano en el Parque Nacional Sarigua (Albinas), en Panamá.	29
Figura 10. Distribución típica de los manglares del tipo enano en Panamá. A: <i>Rhizophora mangle</i> (mangle rojo), B: <i>Avicennia germinans</i> (mangle negro).	30

- Figura 11.** Las perturbaciones naturales (A y B) y los impactos por el cambio del uso del suelo (B y C), alteran los patrones de la hidrología y dañan la vegetación. 31
- Figura 12.** Ejemplo de las diferentes condiciones ecológicas que se presentan en un área de restauración. 35
- Figura 13.** Monitoreo de la vegetación del manglar. 42
- Figura 14.** Fotografías de los sensores de presión utilizados para monitoreo del hidropériodo. 43
- Figura 15.** Obtención de agua intersticial, para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos. 43
- Figura 16.** Fotografías de los análisis químicos, con el kit de química y fotómetro V-2000 de la marca Chemetrics. 47
- Figura 17.** Monitoreo de características del suelo: Obtención de núcleo de sedimento para su posterior análisis. 49
- Figura 18.** Levantamiento topográfico: A) Nivel conocido de la mojonera, B) Distancia suelo mojonera, C) Lectura del estadal y D) Altura del punto nivelado. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones 53

Figura 19. Levantamiento topográfico: A) Nivel conocido de la mojonera, B) Distancia del suelo mojonera, C) Altura del instrumento, D) Lectura del estadal y E) Altura del punto nivelado.	53
Figura 20. Nivelación con un instrumento de estación total.	54
Figura 21. Nivelación diferencial con receptores GNSS.	55
Figura 22. Perfil de las zonas de manglar.	55
Figura 23. Esquema que representa el canal primario, antes y después de la restauración. En la imagen se observa el canal antes de las acciones, con sedimento y ramas de árboles obstruyendo el paso de agua. Luego de realizar el desazolve (limpieza), el canal queda libre y permite una mejor conexión entre los cuerpos de agua.	62
Figura 24. Fotografías del proceso de desazolvamiento de un canal principal.	62
Figura 25. Esquema del canal secundario, antes y después de la restauración.	
Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones.	63
Figura 26. Fotografías que muestran la construcción de un canal secundario.	63
Figura 27. Imagen que representa una zona, antes y después de la construcción de un centro de nucleación, como parte de las acciones de restauración.	63

Figura 28. Proceso de construcción de un centro de nucleación: A) Un suelo sobre inundado, B) Se realiza la elevación del suelo sobre el nivel del agua, C) El establecimiento de las especies pioneras, D) Llegan los primeros propágulos de manglar, E) Se establecen las plántulas de manglar, disminuye la vegetación pionera y, por último, F) Se hace el reclutamiento de diferentes especies de manglar. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones.	64
Figura 29. Fotografías de los centros de nucleación y canaletas.	64
Figura 30. Vivero de mangles en el Pacífico panameño.	67
Figura 31. Plantas de mangle en recipientes de bambú, en el Pacífico panameño.	68
Figura 32. Recolección de propágulos de mangles rojos.	70
Figura 33. Unidades pioneras (cajas productivas)	73
Figura 34. Propágulos de mangle negro (<i>Avicennia bicolor</i>), Pacífico panameño.	76
Figura 35. Siembre directa de propágulos de mangle rojo.	77
Figura 36. Plantas de mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>), a raíz protegida.	79
Figura 37. Mangle rojo en tutores de bambú, en el Caribe panameño.	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Indicadores e implicaciones ecológicas en la restauración ecológica, para los bosques de manglar (Zaldívar-Jiménez et al., 2010).	37
Cuadro 2. Datos capturados del sitio simulado, para el levantamiento topográfico.	57
Cuadro 3. Fructificación de especies de mangle y especies asociadas, por vertiente en Panamá.	71

GLOSARIO

Agua intersticial: Agua que llena los espacios libres entre las partículas de los sedimentos. Agua porosa (OMS 1997).

Amojonamiento: Acción y efecto de amojonar. Señalización por medio de hitos en los linderos de una propiedad.

Auto-organización: Estado en el que todos los elementos necesarios (ausencia de amenazas, condiciones físicas, composición de especies, diversidad estructural, funcionalidad ecosistémica e intercambios internos) están presentes. Y los atributos del ecosistema pueden seguir desarrollándose para alcanzar el estado de referencia, sin la intervención humana (McDonald et al., 2016).

Azolvar: Tapar u obstruir con lodo o basura algún conducto o canal, de modo que impide el paso del agua.

Biomasa forestal: Cantidad de materia seca que existe en un árbol, componente del árbol, población, comunidad o bosque, por encima y por debajo del suelo. Normalmente se cuantifica en kilogramos por árbol o en toneladas por hectáreas de peso seco o verde (Brown, 1997).

Centros de nucleación: Estrategia que se utiliza con relativa frecuencia para acreciones artificiales. Consiste en la construcción de plataformas o isletas, utilizando el material de relleno proveniente de dragados u otras fuentes (Flores et al., 1995; Agraz, 1999).

Degradación: Aplica cuando el ecosistema se relaciona con cambios graduales o sutiles, que reducen la integridad y la salud ecológica (SER, 2004).

Densidad aparente: Se define como la relación entre el peso del suelo seco (masa) y su volumen, que incluye el volumen de las partículas y de la porosidad entre las partículas (Arshad, Lowery & Grossman, 1996).

Desazolvar: Quitar lo que azolva o ciega un conducto (RAE, 2018).

Diseño experimental: Metodología basada en útiles matemáticos y estadísticos, cuyo objetivo es ayudar al experimentador a seleccionar la estrategia experimental óptima, que permita obtener la información buscada con el mínimo coste. Y a evaluar los resultados experimentales obtenidos, garantizando la máxima fiabilidad en las conclusiones que se obtengan (Ferré & Rius, 2002).

Ecofisiología: Rama de la ecología que estudia la respuesta de los organismos a los factores fisicoquímicos del medio.

Ecosistema: Área de cualquier tamaño que está relacionada con sus componentes físicos y biológicos, implicados en un proceso dinámico de interacción, como intercambio de materia y energía (Margalef, 1992).

Ecosistema de referencia: Comunidad de organismos y componentes bióticos y abióticos, capaces de actuar como un punto o estándar de referencia para la restauración. Un ecosistema de referencia usualmente representa una versión no degradada del ecosistema natural con flora, fauna, elementos abióticos, funciones, procesos y estados sucesionales, que se presentarían en el sitio si la degradación, daño o destrucción no hubieran ocurrido. El Ecosistema de referencia tiene la función y actúa como una parcela de control, con la cual se puede medir los cambios que se den en el entorno.

Edafología: Rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo, en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.

Estructura forestal: Distribución horizontal y vertical de las plantas en el seno de una comunidad. Es la característica más distintiva de los diferentes estados de desarrollo y clases de edad.

Factor de estrés: Factores ambientales que tienen un efecto negativo sobre el ecosistema.

Geodesia: Es la ciencia que desarrolla y estudia los métodos, tecnologías y procedimientos, dirigidos a determinar con exactitud el tamaño y la forma de la Tierra o parte de ella. Incluyendo su campo gravitacional externo, como una función del tiempo.

Geomorfología: Es la rama de la geografía que se ocupa del estudio de la superficie terrestre.

Herbivoría: Relación de depredación que existe entre animales y plantas. Se refiere a aquellos animales que consumen organismos autótrofos (vegetales y plantas).

Hidroperíodo: Es el patrón estacional del nivel del agua, resultado del balance entre las entradas y salidas de agua y la geomorfología del suelo. Se define por su duración (tiempo de inundación), frecuencia (el número de veces que ocurre en una unidad de tiempo) y el nivel de profundidad de la inundación (Mitsch & Gosselink, 2009).

Humedales: Zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella, o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Extensiones de marismas, pantanos y turberas; o superficies cubiertas de aguas. Sean éstas de régimen natural o artificial, permanente o temporal, estancado o corriente; dulce, salobre o salado. Incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

Indicador ambiental: Medida directa o indirecta de la calidad ambiental, que se puede usar para evaluar el estado de un ecosistema.

Levantamiento topográfico: Conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno, con instrumentos como el nivel y la estación (Franquet & Gomez, 2010).

Marea: Es el movimiento periódico y alternativo, de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las fuerzas de atracción gravitacional que ejercen la Luna y el Sol, combinadas con la fuerza centrífuga y el efecto causado por la rotación de la tierra (NOM-002-SCT4, 2013).

Materia orgánica: Es el producto de la descomposición química de animales, microorganismos y residuos de plantas; o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte.

Medidor de presión: Instrumento que mide la presión hidrostática ejercida por la columna de agua, sobre una superficie por unidad de área (Rodríguez Zúñiga *et al.*, 2018).

Mojonera: Lugar o sitio donde se ponen mojones, que son señales para fijar los linderos (RAE 2019).

Monitoreo de manglar: Medición sistemática del manglar, para generar línea de base para la restauración; en conjunto con el seguimiento y evaluación continua en el tiempo, de los cambios que experimenta el ecosistema bajo los diferentes tratamientos aplicados (Vargas-Reyes, 2011).

Potencial redox: Medida de la presión (o disponibilidad) del electrón en una solución. A menudo se utiliza para promover el grado de reducción electroquímica del suelo de humedales (Mitsch & Gosselink, 2009).

Propágulos: Las especies de manglar producen plántulas vivíparas, también denominadas propágulos, que pueden crecer mientras se adhieren al árbol padre. Por lo tanto, representan una adaptación para la reproducción, a diferencia de las plantas terrestres que producen semillas.

Receptores GNSS: Interfaz de usuario a cualquier Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS por sus siglas en inglés). Su objetivo es procesar las señales en el espacio, transmitidas por los satélites.

Recuperación: Proceso mediante el cual un ecosistema vuelve a tener la composición, estructura y funcionalidad, en los niveles identificados para el ecosistema de referencia.

Reclutamiento: Supervivencia y crecimiento de un individuo, hasta volverse parte de la población reproductiva (Morlans, 2004).

Resiliencia: Capacidad de un ecosistema de absorber una perturbación y reorganizarse, manteniendo funciones y diversidad de la estructura. La resiliencia depende tanto de las condiciones de los recursos naturales (suelo, agua y biodiversidad), como del nivel de conocimiento y la capacidad de aprender y gestionar de los grupos humanos y de sus instituciones (Astier et al., 2011; Berkes et al., 2000; y Berkes y Jolly, 2001).

Regeneración natural: Capacidad de los bosques de restablecer sus poblaciones, ya sea después de haber sufrido un impacto o simplemente como parte del proceso de rejuvenecimiento de la población, sin intervención de la acción directa o indirecta del hombre (Serrada, 2003).

Restauración ecológica: Proceso de inducción y asistencia sobre los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema degradado, debido a una perturbación o impacto que ha reducido su capacidad de resiliencia. Su objetivo es restablecer los procesos naturales para recuperar servicios ecosistémicos, comparado a un ecosistema de referencia en buen estado (Higgs, 1997; SER, 2004; y Vargas-Ríos, 2011).

Restaurado: Cuando un ecosistema contiene suficientes recursos bióticos y abióticos, como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. Este ecosistema se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente. Demostrará capacidad de recuperación dentro de los límites normales de estrés y alteración ambiental. Tendrá interacción con ecosistemas contiguos, en términos de flujos bióticos y abióticos e interacciones culturales (SER, 2004).

Salinidad superficial: Salinidad del agua que se encuentra por encima del nivel del suelo.

Salinidad intersticial: Salinidad del agua que se encuentra en el espacio de los poros del suelo.

Sedimentos: Conjunto de partículas (arcilla, grava, arena, limo, etc.) depositado en el suelo.

Saturación: Se refiere al contenido de agua del suelo, cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal, ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad, para ser reemplazada por aire (FAO s.f).

Servicios ecosistémicos: Contribuciones directas o indirectas de los ecosistemas al bienestar humano. Incluyen la formación de suelo, calidad de agua, regulación del clima, captura de carbono, protección, calidad de hábitat para la biodiversidad, reciclaje de nutrientes y valores estéticos.

Sulfuro: Compuesto químico que resulta de la combinación del azufre (número de oxidación -2) con un elemento químico o con un radical. Existe en diferentes estados de oxidación (algunos altamente reactivos con metales), de modo que participa en reacciones clave de procesos microbianos y es importante para la degradación de la materia orgánica (Orem & Bates, 2013).

Trayectoria ecológica: Describe el curso natural de desarrollo de un ecosistema, a través del tiempo (SER, 2004). Las trayectorias ecológicas no son estrechas ni específicas, sino que abarcan una gama amplia pero confinada de expresión del potencial ecológico a lo largo del tiempo.

Zonación: Distribución de la vegetación en zonas geográficas o bandas locales, según las condiciones medioambientales restrictivas (Carter, 1988).

ACRÓNIMOS

ANOVA: Análisis de varianza, el cual prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales.

CORS (Continuously Operating Reference Stations): Es un sistema de referencia y corrección conformado por antenas fijas, para proporcionar datos de corrección (estático y RTK) en tiempo real, a sistemas receptores GNSS.

DAP: Diámetro a la altura de pecho. Se usa para medir el grosor del tronco de los árboles.

ha-1 : Hectárea por año.

LSD (Least Significant Different): Método utilizado en los ANOVA para crear intervalos de confianza, para todos los diferentes pares entre niveles de factores.

Mg ha-1: Megagramo o tonelada por hectárea por año.

Mg C/ha-1: Megagramo o tonelada de Carbono por hectárea por año.

MDS (Multidimensional Scaling): Escalado multidimensional. Mide la distancia entre objetos, por lo que esta característica hace que sea un método de elección para el análisis de matrices obtenidas por observación directa (Quinn & Keough, 2002).

µM: Unidad de concentración que se lee como micro mol.

PCA (Principal Component Análisis): Análisis de componentes principales. Este análisis estudia las relaciones que se presentan entre p variables correlacionadas. El conjunto original de variables se transforma en otro conjunto de nuevas variables correlacionadas entre sí, llamado conjunto de componentes principales (Legendre & Legendre, 1988).

pH (Potencial de hidrógeno): Grado de acidez o alcalinidad de una solución.

SER: Sociedad Internacional de Restauración Ecológica.

UPS: Unidad de medición de concentración, que se lee como unidad práctica de salinidad.

A person wearing a camouflage hat, a white long-sleeved shirt, pink long-sleeved sleeves, and dark pants is crouching in a mangrove. They are holding a blue and white water sampling device over a small pool of water. The ground is dark and muddy, with many roots visible. There are some green plants and a black toolbox with various tools in the bottom right corner.

1. BASES ECOLÓGICAS PARA LA RESTAURACIÓN DE LOS MANGLARES

Toma de parámetros físicos-químicos en el manglar.

1.1 Definición del ecosistema de manglar

El ecosistema de manglar está constituido por arbustos, árboles, helechos, lianas, etc., en las regiones tropicales y subtropicales. Tienen un suelo rico en materia orgánica y están sometidos a la variación constante de inundaciones, por marea o por aguas continentales superficiales y/o subterráneas. Tienen alta adaptabilidad morfológica, biológica, fisiológica y ecológica a las condiciones ambientales extremas (Tomlinson, 1986; Kuenzer et al., 2011;).

Debido a que este ecosistema tiene una ubicación intermareal, están expuestos a fluctuaciones de la inundación (hidroperíodo) y la salinidad (Flores-Verdugo, 2007). La composición de especies y la estructura del manglar, dependen de su tolerancia fisiológica y las interacciones competitivas (Alongi, 2008). Por ello, las diferencias en el crecimiento y la supervivencia de las especies son atribuidas a los distintos factores fisiológicos, ya que cada especie de mangle responde a los ambientes locales y los controles ecológicos (Monroy-Torres et al., 2014).

En el caso de Panamá, conocido por su invaluable biodiversidad, los manglares no son la excepción. Somos un país privilegiado por contar con manglares en ambas costas, que nos protegen de los fuertes oleajes, mareas y tormentas. La cambiante y extensa línea de costa, supera los 2,900 km entre la costa del Pacífico y el Caribe; lo que permite distintos entornos geográficos. Además, contamos con la mayor variedad de especies de mangle entre todos los países del continente americano, habiéndose reportado 11 de las 65 especies (no híbridas) identificadas en el mundo, de acuerdo con el Atlas mundial de los manglares (Spalding et al., 2010). Y luego del descubrimiento, se ratifica que contamos con dos especies de mangle piñuelo (Duek, 2020).

Por lo cual, apegándose a la literatura de Panamá y considerando los helechos, arbustos y árboles, podemos señalar que las costas del Istmo de Panamá cuentan con unas 12 especies reconocidas como manglar, descritas de la siguiente manera: *Acrostichum aureum*, *Acrostichum danaeifolium*, *Avicennia bicolor*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa*, *Mora oleífera*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Tabebuia palustris*, *Pelliciera rhizophorae* y *Pelliciera benthamii*.

1.2 Factores ambientales que determinan la función y estructura en los manglares

El establecimiento del manglar está determinado por diversos factores ambientales. Como la topografía, que contribuye a determinar el hidropériodo (frecuencia, nivel y duración de la inundación de cierta área) y la disponibilidad de nutrientes, la salinidad intersticial y el tipo de suelo (Flores-Verdugo *et al.*, 2005).

A nivel local, la hidrología y la topografía favorecen la presencia de gradientes reguladores y gradientes de recursos; y modifican el hidropériodo (Twilley & Rivera-Monroy, 2005). Tanto la topografía como la hidrología mantienen una relación directa con las propiedades del suelo, los procesos de óxido reducción, descomposición de la materia orgánica y la distribución y establecimiento de las diferentes especies de manglar (Flores-Verdugo *et al.*, 2007).

En los manglares también se presentan condiciones de saturación de agua en el suelo, que van de estacionales a permanentes. Dicha saturación causa anoxia en el suelo, alterando sus

características químicas y biológicas; y da como resultado que tanto su biota como la dinámica de muchos de sus procesos ecológicos y su papel en el funcionamiento de los manglares, sea compleja. Por lo tanto, la distancia al mar o al estuario, así como las condiciones del agua y el suelo, definirán el tipo o la zonación del manglar (Tomlinson, 1986; Blasco, Saenger & Janodet, 1996; y Kathiresan & Bingham, 2001).

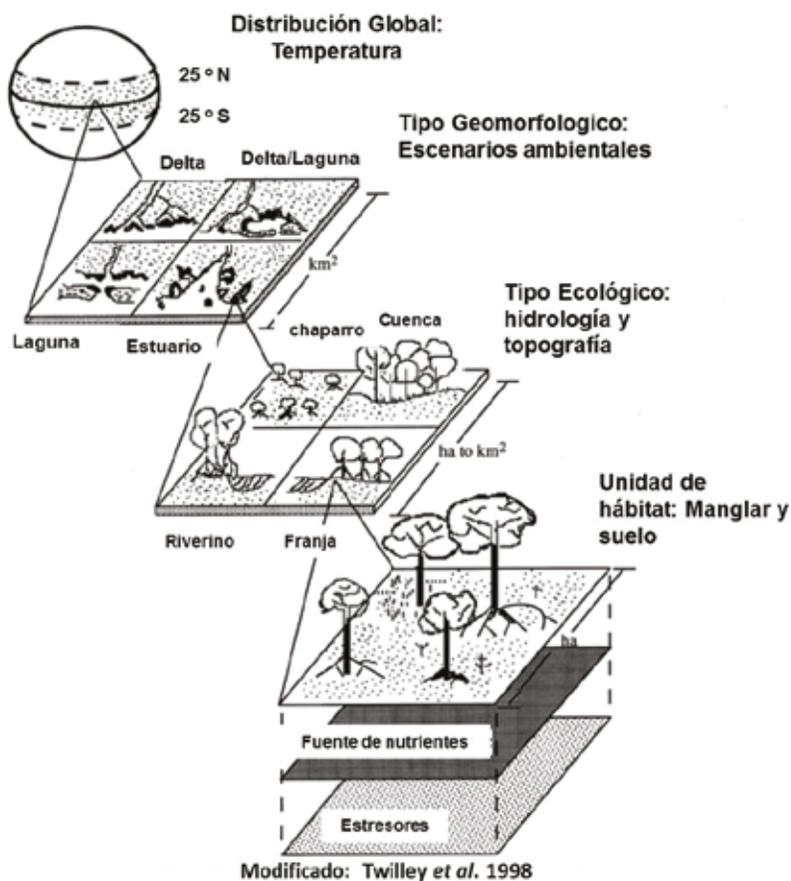
1.3 Clasificación de los manglares

Los manglares se distribuyen en la región intermareal (entre el mar y la tierra), en las regiones tropicales y subtropicales del mundo; y se clasifican (ver Figura 1) de acuerdo a sus atributos estructurales y funcionales (Hutchings & Saenger, 1987).

De manera global, la temperatura determina la distribución de los manglares entre las latitudes 30° N y 30° S (Alongi, 2009). La primera clasificación (basada en la geomorfología, como en los deltas, lagunas y estuarios) se determina por la disposición del manglar en la tierra y el flujo de la energía, así como por la entrada y salida del agua (Woodroffe, 1992).

La segunda clasificación es regional, describe la geomorfología de acuerdo a la estructura forestal. Las características estructurales son un atributo que incluye dimensiones físicas del bosque, como la altura del árbol y el dosel; basado en los procesos geo-fisiológicos y de paisaje (Lugo & Snedaker, 1974).

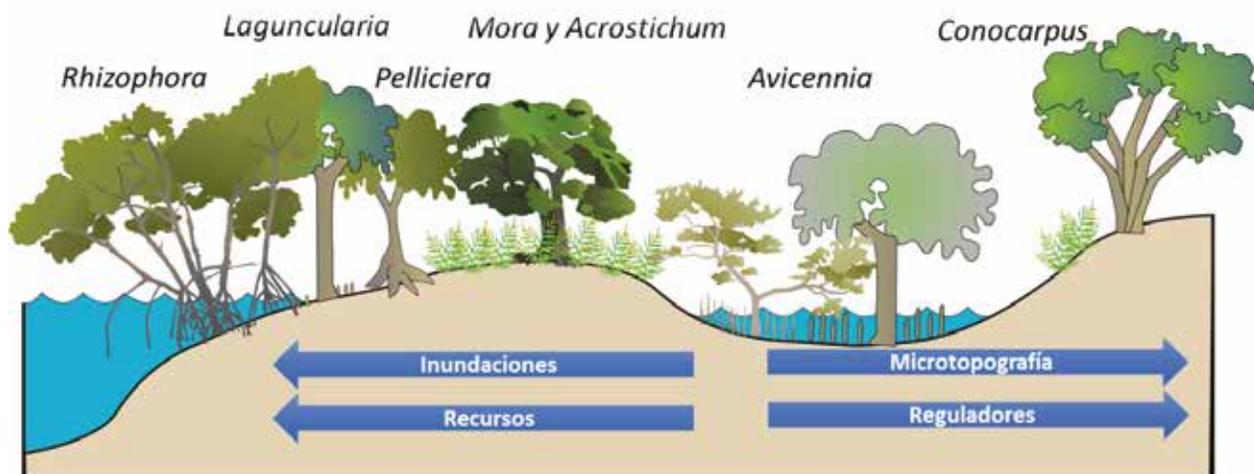
Figura 1. Clasificación para la estructura y funcionamiento de los manglares a nivel global, regional y local (Twilley y Rivera, 2005).



La tercera clasificación es ecológica. Se basa en las condiciones locales de topografía e hidrología (Twilley et al., 1998), la cual propone separar los manglares en franja (conocidos como cayos), ribereño, cuenca y enano. Estos diferentes tipos ecológicos difieren en el tipo de suelo, la salinidad y el hidroperíodo (Odum et al., 1982); y se han utilizado para describir la función de los manglares a través del mundo. En ésta última clasificación, se agrupan tres factores controladores que determinan la estructura y función de los ecosistemas de manglar (Twilley & Rivera-Monroy, 2005):

- a) **Los recursos:** Nutrientes, luz, espacio y otros, siendo variables que son consumidas y contribuyen a la productividad del manglar.
- b) **Los reguladores:** Salinidad, sulfuro, temperatura, pH y potencial de oxido-reducción, son variables que pueden influir negativamente en el crecimiento del manglar.
- c) **El hidroperíodo:** Frecuencia, nivel y tiempo de inundación, determinan las condiciones; siendo una característica crítica del paisaje de humedal que controla.

Figura 2. Esquema que representa la relación de la microtopografía/inundaciones/recursos/reguladores. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



1.3.1 Manglar de franja

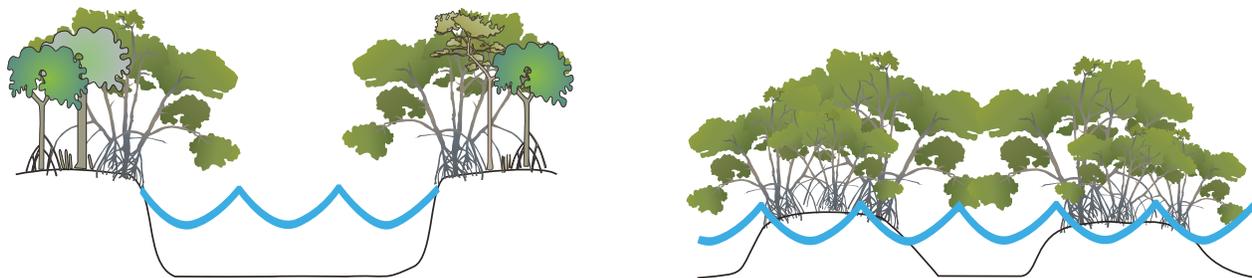
Este tipo de manglar se localiza a lo largo de la línea de costa, lagunas costeras e islas. Las especies de mangle presentes, se distribuyen de acuerdo a los patrones de zonación. El bosque de franja está mejor definido a lo largo de la línea de costa, donde la elevación es mayor que la marea promedio. Están expuestos a la influencia del flujo y reflujo de la marea, con un sistema de raíces bien desarrollado que le permite recibir la energía por oleaje y mantenerse fijo; y atrapar una gran cantidad de desechos orgánicos. Debido a la fuerte exposición en la línea de costa, ocasionalmente se ve afectado por fuertes vientos y tormentas, que causan caídas y quebraduras de los árboles; así como la acumulación de desechos orgánicos en las raíces. La especie predominante en este tipo de bosque es la *Rhizophora mangle*, también conocida como mangle rojo (Lugo & Snedaker, 1974).

Los manglares tipo franja, presentan una estructura forestal bien desarrollada. Esta cuenta con árboles de gran altura, con valores promedios de entre 7 y 11 m de altura; con densidades que oscilan entre 3,095 y 3,294 árbol ha⁻¹, de área basal entre 18.8 y 26.2 m² ha⁻¹ (Coronado-Molina et al., 2012; Lovelock et al., 2005). Este tipo de bosque presenta características hidrológicas con salinidades bajas, con promedios entre 30 y 50 ups (unidades prácticas de salinidad). La frecuencia de inundación por año es de 530 a 700, para la especie *Rhizophora mangle*; de 400 a 530 para *Avicennia germinans*; entre 150 y 200 para la especie *Laguncularia racemosa* osa; y entre 4 y 100 para *Conocarpus erectus* (Friess, 2016). La productividad de hojarasca anual es de 1,666.7 g m⁻² año⁻¹ (Agraz Hernández et al., 2011); y la producción de biomasa subterránea, se encuentra entre 59.5 y 178.7 Mg ha⁻¹ (Blanco et al., 2012; Lovelock et al., 2005).

Figura 3. Fotografía de un manglar del tipo franja, en el Río San Juan en la provincia de Chiriquí, Panamá.



Figura 4. Distribución típica de los manglares del tipo franja en Panamá. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



1.3.2 Manglar ribereño

Este tipo de manglar está asociado a los ríos, estuarios y al drenaje superficial. Recibe el efecto de las mareas diarias, cuya velocidad es generalmente baja. Durante la temporada de lluvias, los niveles de agua se elevan y la salinidad del suelo disminuye. Este tipo de vegetación, está representado por una franja de árboles dispuestos a través de la pendiente del drenaje. La especie dominante es el *Rhizophora mangle* (mangle rojo); y se encuentra un bosque mixto de *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) (Lugo & Snedaker, 1974).

En cuanto a la estructura forestal del manglar ribereño, la densidad promedio es de 1,650 árboles ha⁻¹, con alturas

promedio entre 12 y 35 m (Coronado-Molina et al., 2012). El diámetro a la altura del pecho (dap) puede variar entre especies: *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Rhizophora mangle* (mangle rojo), tienen un dap promedio de 7.8 cm y un valor máximo de 43.7 cm (Fernanda, Vélez & Polania, 2007). Las especies se distribuyen en diferentes niveles de elevación topográfica: la especie *Rhizophora mangle* se encuentra en alturas que van entre 0.25 y 0.84 msnm; la especie *Avicennia germinans* (mangle negro), se ha observado a los 1.30 msnm; y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), se ha observado a una elevación topográfica que va desde los 0.85 a 1.10 msnm (Romero-Berny & Tovilla-Hernández, 2009).

Las características hidrológicas del manglar ribereño son: salinidades promedio de 17.7 ups; con una frecuencia de inundación de todos los días, con 340 inundaciones al año-1; y con una duración de 4,040 horas año-1 (Krauss et al., 2006). La producción de hojarasca se encuentra entre los 1,079 y 1,224.9 g m⁻² año-1 (Agraz Hernández et al., 2011); mientras que la producción de carbono almacenado de manera subterránea, es de 43.9 Mg C ha⁻¹ (Blanco et al., 2012). La biomasa acumulada del suelo en Panamá, se diferencia entre especies. La mayor cantidad se registró para la especie *Pelliciera* sp. (mangle piñuelo), con 45.4

Mg ha⁻¹; seguido por *Rhizophora mangle* (mangle rojo), con 9.2 Mg ha⁻¹; y por último, un menor promedio para la especie *Mora oleifera* (alcornoque), con 1.6 Mg ha⁻¹ (Gross, Flores & Schwendenmann, 2013).

En el Pacífico panameño se desarrolla *Avicennia germinans* (mangle negro) el *Laguncularia racemosa* (mangle blanco). En estos tipos de manglares boscosos, se encuentran asociados como especie núcleo al mangle alcornoque (*Mora oleifera*); y como especies asociadas, están *Pterocarpus officinalis* (sangrillo) y *Simphonia globulifera* (cerillo), entre otras.

Figura 5. Fotografía de un manglar del tipo ribereño, en el Rio San Juan en la provincia de Chiriquí, Panamá.



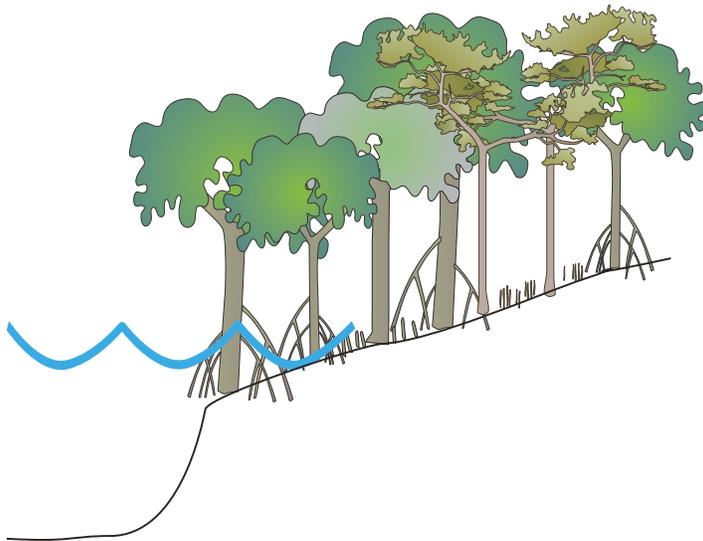


Figura 6. Distribución típica de los manglares ribereños en Panamá. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).

1.3.3 Manglar de cuenca

Este tipo de bosque ocurre en zonas a lo largo de depresiones topográficas. Usualmente, se localiza detrás de los manglares del tipo franja. Cuando se ubican cerca de la costa, reciben diariamente la influencia de la marea y están dominados por el *Rhizophora mangle* (mangle rojo). Más alejado de la costa, la influencia de la marea disminuye; por lo que se crea un bosque mixto de *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco). Los valores de densidad de este tipo de bosque, se encuentran entre 1,670 y 1,854 árbol ha⁻¹. Las áreas basales dependen de

la especie de manglar, generalmente se encuentran entre 8.6 y 12.9 m² ha⁻¹ (Coronado-Molina et al., 2012).

La estructura forestal del manglar tipo cuenca, está constituida por árboles de la especie *Avicennia germinans* (mangle negro). Son árboles de porte bajo, con 5.1 cm dap promedio y un máximo de 48.7 cm dap (Fernanda et al., 2007); altura promedio de 7.3 m y área basal de 20.7 m² ha⁻¹ (Blanco et al., 2012). La densidad varía entre 1,670 y 1,854 árbol ha⁻¹ (Coronado-Molina et al., 2012).

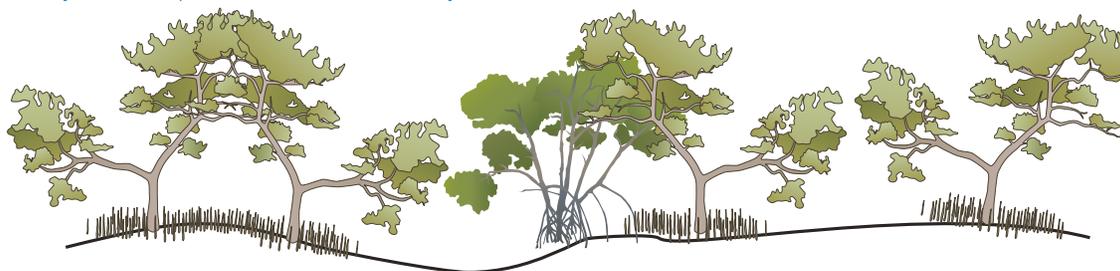
Las características hidrológicas en el manglar tipo cuenca, registra salinidades altas de 70 ups en promedio (Coronado-Molina et al., 2012) y recibe 200 inundaciones año-1, con una duración de 2,542 horas año-1 (Krauss et al., 2006). La productividad anual de hojarasca es de 777 Mg ha-1 (Agraz Hernández et al., 2011), mientras que la biomasa subterránea es de 35.1 Mg ha-1 y una captura de carbono subterráneo de 17.5

Mg Cha-1 (Blanco et al., 2012). La biomasa subterránea para Panamá, varía de acuerdo a la especie: para *Pelliciera* sp. (mangle piñuelo) es 1.6 Mg ha-1 *Rhizophora mangle* (mangle rojo) con 3.7 Mg ha-1; y el mayor valor se registró para *Avicennia germinans* (mangle negro) con 8.5 Mg ha-1 (Gross et al., 2013).

Figura 7. Fotografía de un manglar del tipo cuenca, ubicado en El Cenegón, provincia de Chitré (Panamá), donde predomina la especie *Avicennia germinans*.



Figura 8. Distribución típica de los manglares tipo cuenca en Panamá. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



1.3.4 Manglar enano

Este bosque es un tipo de manglar que encontramos en el sur de Florida (Estados Unidos), Belice, México, Puerto Rico, Costa Rica, Panamá y Ecuador (Lugo & Snedaker, 1974). Cerca de la costa, en una zona intermareal, crecen árboles enanos de *Rhizophora mangle* (mangle rojo); mientras que tierra adentro, se localizan

bosques mono específicos de *Avicennia germinans* (mangle negro). Generalmente, presentan alturas menores a 1.5 m y un dap menor a 2.5 m (Castañeda-Moya et al., 2006). La altura topográfica en la que se establece la especie *Avicennia germinans* (mangle negro) se encuentra entre 0.08 a 0.14 msnm (Pérez-Ceballos et al., 2017).

Propágulos de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*).



La especie de *Avicennia germinans* (mangle negro) se ha encontrado tierra adentro, en zonas más altas y asociado a altas salinidades, que van desde 80 a 140 ups durante la época de secas. Mientras que la especie de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) domina en zonas bajas como la costa, donde las salinidades se encuentran entre 38 a 57 ups (Castañeda-Moya et al., 2006). En cuanto a la hidrología en este tipo de manglar, se registran entre 7 y 8 inundaciones por mes, con niveles de 0.11 y 0.14 m; y con una duración entre 439 y 529 horas por mes (Pérez-Ceballos et al., 2017). Además, tiene un potencial de oxido-reducción promedio de 68 mV (Castañeda-Moya et al., 2006); y la concentración de sulfuro registrada está entre 0.27 y 0.68 mmol/l (McKee, 1995).

En este tipo de bosque de manglar, los nutrientes son escasos en comparación con los manglares tipo franja y ribereños; con valores de nitrato y nitrito (NOx-) de 4.5 μM , y para el amonio (NH₄⁺) de 4.6 μM . En menor cantidad se presenta el fosfato 0.5 μM (PO₄³⁻) nutriente escaso en estos manglares y el responsable de que los árboles sean enanos (Castañeda-Moya

et al., 2006). La productividad de hojarasca es menor, en comparación con los otros tipos de manglares, con un promedio anual de 1.3 árbol ha⁻¹ (Juman, 2005).



Figura 9. Fotografías de un manglar enano en el Parque Nacional Sarigua (Albinas), en Panamá.

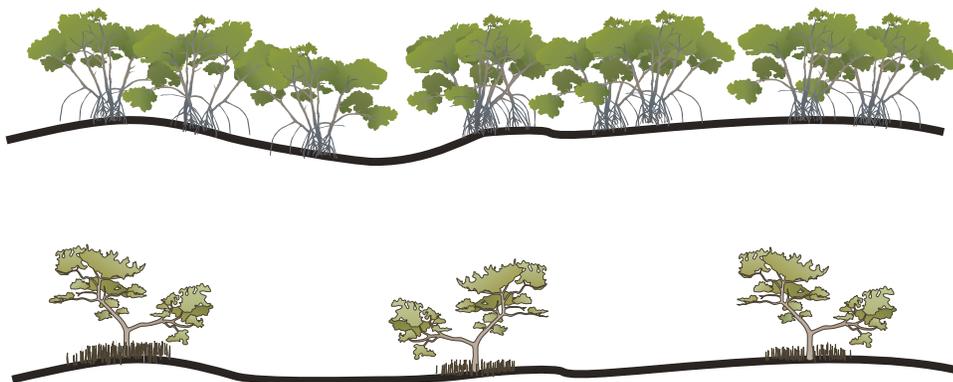


Figura 10. Distribución típica de los manglares del tipo enano en Panamá. A: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), B: *Avicennia germinans* (mangle negro). Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).

1.4 El proceso de la degradación de los manglares

El cambio del uso del suelo, constituye el principal generador directo de pérdida y degradación de los manglares. Sin embargo, existen otros generadores directos de cambio que afectan a los manglares, como son: el desvío de los caudales de agua dulce, la carga de nitrógeno, la sobreexplotación, el atarquinamiento, los cambios en la temperatura del agua, la invasión de especies y el cambio climático, dado el aumento del nivel medio del mar (Harper et al., 2007; Gilman et al., 2008; Alongi, 2008; y Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

El aumento de la población en zonas costeras y el creciente desarrollo de la

economía, han sido los principales generadores indirectos de cambio. Cerca de la mitad de las ciudades más grandes del mundo, se encuentran ubicadas a menos de 50 kilómetros desde la costa (Woodroffe, 2003); y la densidad de población en las costas, es 2.6 veces mayor que la existente en las áreas continentales. Esta presión poblacional lleva a la conversión de los humedales costeros, como resultado de la expansión urbana y suburbana; y al incremento de la demanda de productos agrícolas (como la deforestación de áreas de manglar para acuicultura).

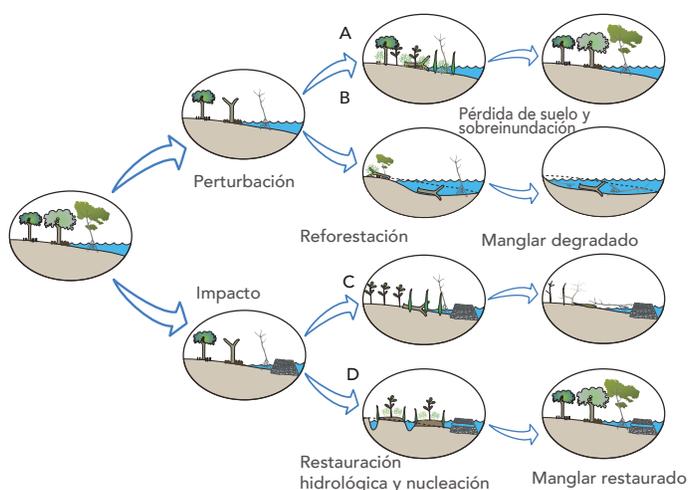
Los manglares son altamente sensibles a los cambios, especialmente a los hidrológicos (debido a la conexión con el agua y el suelo).

Cuando ocurre algún cambio en la hidrología, se pierden los procesos ecológicos y los manglares forman parches aislados; lo que reduce su crecimiento y compromete su capacidad de resiliencia y regeneración. Y en ocasiones es causante de su mortalidad, como resultado de una degradación a largo plazo. Los ecosistemas de manglar pueden pasar por eventos de estrés a lo largo de décadas. Sin embargo, cuando se incrementa este cambio, se puede manifestar en la mortalidad de los manglares (Lewis *et al.*, 2015).

De manera que la alteración o modificación de su red hidrológica, puede llevarlo más allá de su rango ecológico de tolerancia; ocasionando la degradación y pérdida de estos ecosistemas.

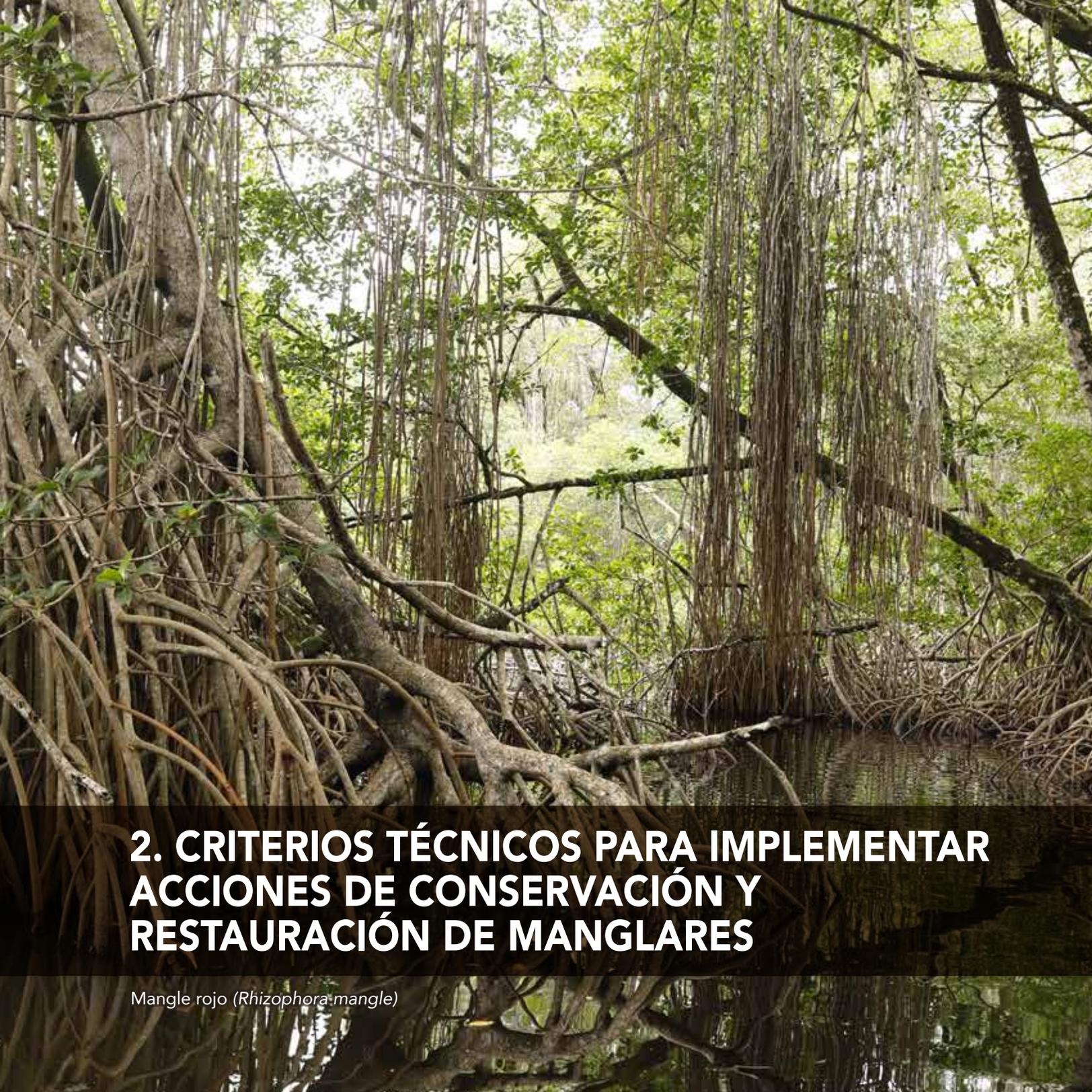
Por ejemplo: la construcción de carreteras que interrumpe los flujos hídricos de las mareas (Pérez-Ceballos *et al.*, 2017; Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010).

Figura 11. Las perturbaciones naturales (A y B) y los impactos por el cambio del uso del suelo (B y C), alteran los patrones de la hidrología y dañan la vegetación. En el caso A, por regeneración natural el manglar puede recuperarse. Sin embargo, cuando esto no ocurre el manglar continúa su degradación, hay pérdida de suelo y sobre inundación (caso B). En el caso C, cuando hay alguna modificación física en el terreno, el hidropériodo y la vegetación son afectados; y cuando se emplea la reforestación, los resultados no son los esperados (caso C). Por último, en el caso D, las acciones de restauración hidrológica y la regeneración inducida por nucleación, tienen mejores resultados en la recuperación del manglar, en un menor tiempo. Tomado y modificado a partir de Lewis *et al.*, 2015. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



La degradación del manglar, no sólo provoca una disminución general de la riqueza y diversidad de especies. También causa cambios funcionales (Bosire *et al.*, 2008), junto con la pérdida de los bienes y servicios ecosistémicos.

Cuando el ecosistema de manglar está en condiciones degradadas, los estresores (exceso de salinidad y sulfuros) no permiten el establecimiento de la vegetación ni se promueve la sucesión ecológica. Por lo tanto, el ecosistema necesita de la restauración para restablecer su funcionalidad.



2. CRITERIOS TÉCNICOS PARA IMPLEMENTAR ACCIONES DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MANGLARES

Mangle rojo (*Rhizophora mangle*)

La restauración ecológica se define como el proceso de inducción y asistencia sobre los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema degradado, debido a una perturbación o impacto que ha reducido su capacidad de resiliencia. Su objetivo es restablecer los procesos naturales para recuperar servicios ecosistémicos, tomando como referencia un ecosistema en buen estado (Higgs, 1997; SER, 2004; y Vargas-Ríos 2011).

Para realizar una restauración exitosa en humedales de manglar, se deben conocer e identificar los factores que controlan y determinan su estructura y función. En el caso de la restauración de los manglares, la rehabilitación hidrológica ha sido una estrategia adecuada; ya que se ha demostrado que el gradiente hidrológico, es uno de los factores más importantes que influyen en el éxito de la restauración de los ecosistemas de manglar (Kairo *et al.*, 2001).

Los criterios técnicos para la restauración de manglares, se enfocan en cinco lineamientos:

- 1) La caracterización y diagnóstico (ecología forense). Se realiza a través de una caracterización, mediante la cual se podrá obtener información general sobre las condiciones previas del ecosistema a restaurar. Los principales resultados serán: las causas de degradación, los factores de estrés, factores limitantes en el crecimiento de la vegetación y condición actual en la que se encuentra el ecosistema. Es decir, se obtiene información que permite conocer el grado de impacto que ha tenido una perturbación sobre el manglar.
- 2) La implementación de acciones de restauración. Entre las que se encuentran la rehabilitación hidrológica y sedimentológica.
- 3) El monitoreo de las acciones con indicadores. Para medir la efectividad sobre la recuperación de los manglares (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2010).
- 4) La continuidad de los procesos.
- 5) La sostenibilidad de esas acciones de restauración.

Estos cinco lineamientos se describen en el presente documento. Sin embargo, también es necesario como parte del manejo de los manglares, el involucramiento de las

comunidades locales y la implementación de actividades para el manejo y aprovechamiento sustentable. Entre ellos, el manejo forestal (Zaldívar-Jiménez *et al.*, 2017).

2.1 Caracterización y monitoreo ambiental

La caracterización de factores ambientales y biológicos de los manglares, permitirá la toma de decisiones informadas para planear las acciones de restauración y conservación de los manglares. El monitoreo permitirá tener un seguimiento y poder observar los cambios, para realizar ajustes si se requieren durante el proceso de restauración.

A continuación, se describe el diseño experimental, así como los indicadores ecológicos y el monitoreo de la evaluación, antes (ecología forense) y después (monitoreo) de las acciones de restauración. Se deberán establecer sitios permanentes para el seguimiento y monitoreo (las variables o indicadores se describen de manera detallada en el numeral 2.1.2).

El monitoreo y análisis de las variables que se presentan, permite la toma de decisiones informadas para planear la conservación y rehabilitación de los manglares. Por ejemplo, ante los escenarios del cambio climático (Ward et al., 2016).

2.1.1 Diseño experimental

Los diseños de experimentos son modelos estadísticos clásicos, cuyo objetivo es averiguar si determinados factores influyen en una variable de interés, si existe influencia de algún factor y cuantificar dicha influencia.

El diseño experimental deberá hacerse de acuerdo a las preguntas científicas y los objetivos que se quieran responder. Por ejemplo, si se quiere conocer si un sitio en restauración está respondiendo de manera positiva, se recomienda tener datos de diferentes condiciones para su comparación. Por ello, se recomienda tener sitios con diferentes condiciones ecológicas: conservado o de referencia, que corresponde a una zona de manglar natural sin disturbios; degradado, que será una zona con árboles muertos o sin presencia de manglar; y restaurado o en proceso de restauración (Barendregt y Swarth, 2013). Comparar los sitios en restauración con sitios degradados, permite evaluar los cambios ambientales y biológicos como resultado de las acciones; y si estos tienen una trayectoria deseable o grado de recuperación, con respecto al ecosistema de referencia o control (ver Figura 12).

Figura 12. Ejemplo de las diferentes condiciones ecológicas que se presentan en un área de restauración.



El diseño experimental y la toma de datos, se presentarán de manera dirigida con el conocimiento de un experto. El establecimiento del número de unidades de muestreo, depende de los recursos disponibles y del tamaño del área de

restauración. Se recomienda que, por lo menos, en cada área de restauración se establezcan seis sitios de muestreo, repartidos con base a tres tratamientos de condición:

- Dos sitios con manglar degradado (tratamiento 1);
- Dos sitios en las zonas donde se implementarán las acciones de restauración (tratamiento 2);
- Y dos sitios en el ecosistema de referencia o manglar natural (tratamiento 3).

2.1.2 Indicadores ecológicos en el manglar

Los indicadores ecológicos son mediciones que indican la calidad ambiental. También permiten hacer una evaluación del estado ecológico en el que se encuentra el manglar, para encaminar las acciones de restauración.

Los indicadores para el ecosistema de manglar se dividen en:

- 1) Características biológicas,
- 2) Características hidrológicas y
- 3) Biogeoquímica.

El seguimiento de estos indicadores a través de un monitoreo, tendrá implicaciones positivas en la restauración ecológica. Cada indicador señala cómo interviene ese factor en el ecosistema; y el cumplimiento del conjunto de los tres indicadores, le permitirá recuperar la capacidad ecológica al manglar.

Estos indicadores deberán ser monitoreados a lo largo de los esfuerzos de restauración y ayudarán en la gestión adaptativa de cada etapa o proyecto de restauración.



Cangrejo en el manglar dentro del Sitio Ramsar, Humedal de Importancia Internacional San San Pond Sak.

Cuadro 1. Indicadores e implicaciones ecológicas en la restauración ecológica, para los bosques de manglar (Zaldívar-Jiménez et al., 2010).

Tipo de indicador	Indicador	Implicaciones ecológicas en la restauración
1. Características biológicas	<ul style="list-style-type: none"> •Especies dominantes. •Índice de estructura forestal. •Regeneración de plántulas juveniles y densidad de árboles. 	<ul style="list-style-type: none"> •El funcionamiento determina la presencia y ausencia de especies de manglar. •La dominancia de especies es un indicador de un ambiente especializado. Y por lo tanto, es difícil de restaurar. •Las distribuciones de diferentes clases de edad, sugieren la regeneración potencial del manglar. •Presencia de especies invasoras.
2. Características hidrológicas	<ul style="list-style-type: none"> •Hidroperíodo (Nivel, frecuencia y duración de la inundación). •Fuente del agua (Superficial o subterránea). 	<ul style="list-style-type: none"> -Las especies de manglar en la etapa de plántula, presentan diferente susceptibilidad a las inundaciones. Por ejemplo: R. mangle tolera regímenes de inundación cada vez mayores (> 10 cm). -El hidroperíodo controla las condiciones del suelo. -Es importante considerar el recurso de agua en los manglares, para que puedan ser restaurados.

Tipo de indicador	Indicador	Implicaciones ecológicas en la restauración
<p>3. Biogeoquímica</p> <p>3.1 Características Fisicoquímicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Salinidad del suelo • Temperatura del agua • Potencia de hidrógeno (pH) • Potencial de oxido-reducción (Redox) • Nutrientes en agua intersticial • Concentración del sulfuro 	<ul style="list-style-type: none"> • Las especies de manglar se adaptan a la salinidad, pero cada especie tiene diferentes capacidades fisiológicas para tolerar condiciones de hipersalinidad (> 50 ups). La salinidad limita la captación de agua. Y puede causar estrés fisiológico y la muerte de las plantas de manglar. • La temperatura influye en el crecimiento, la actividad y sobrevivencia de los organismos; así como en las reacciones químicas y enzimáticas, reguladoras del proceso de la descomposición de la materia orgánica. • El potencial Redox mide el flujo de electrones durante el proceso de óxido-reducción de la materia orgánica. Y tiene una relación estrecha con el pH. • Sobre los nutrientes en el agua intersticial, como en todos los ecosistemas, el fósforo y el nitrógeno son los elementos esenciales para los manglares; siendo este último considerado como nutriente limitante para el crecimiento del manglar (Ogden y Gladfelter, 1983; en Ulloa Delgado <i>et al.</i>, 1998). • La concentración de sulfuro es el resultado de cambios en la hidrología. El sulfuro puede causar estrés y muerte en los manglares.

Tipo de indicador	Indicador	Implicaciones ecológicas en la restauración
3.2 Características del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica del suelo. • Densidad aparente. • Nutrientes del suelo (CNP). • Microtopografía 	<p>-Los nutrientes del suelo son un indicador de la fertilidad del suelo. La relación carbono-nitrógeno-fósforo, determina el crecimiento de la vegetación.</p> <p>-La densidad aparente es un indicador de los materiales predominantes del suelo.</p> <p>-La elevación del suelo determina la hidrodinámica y el reclutamiento del manglar para cada especie.</p>

A continuación, se describen los indicadores y las variables que se miden en cada uno de ellos. Las variables se clasifican en nivel básico y nivel complementario. El uso de cada nivel dependerá de los objetivos particulares de cada estudio. Sin embargo, como su nombre lo indica, las variables de nivel básico corresponden al mínimo que se requiere para obtener la información que permita formular una mejor estrategia de restauración.

2.1.2.1 Indicador 1: Características biológicas

2.1.2.1.1 Estructura forestal

Nivel: Básico

Aplicación: Esta variable demostrará la condición general de la estructura en el área de estudio. Está ligada a la variable de regeneración, ya que la estructura forestal de vegetación circúndate a las áreas degradadas, funcionan como un facilitador para la dispersión de propágulos del manglar. Por lo tanto, es precisa su inclusión en un proyecto de restauración. Se mide mediante un muestreo sistemático.

La caracterización de la estructura forestal del manglar, será medida a través de las características establecidas (Schaeffer-Novelli, Cintrón-Molero, Adaime, & Camargo, 1990) y ampliamente utilizadas para la vegetación del manglar.

El muestreo será mediante cuadrantes con medidas de 10 x 10 m (100 m²). La medición de esta variable permitirá conocer las condiciones en las que se encuentra la vegetación.

Método de muestreo: En cada sitio, según el tratamiento para evaluar los árboles y arbustos de manglar (> a 2.5 cm en dap), se establecerán dos unidades de muestreo de 10 x 10 m. Se marcarán las coordenadas GPS de los vértices de cada unidad.

Las variables que se medirán para describir el tipo de manglar y su estado de conservación son: registro de cada especie, altura de la copa de árbol, diámetro a la altura del pecho (dap) y la especie dominante. Para determinar la densidad, cada árbol y arbusto será etiquetado para su identificación; además, se calculará el área basal y el valor de importancia.

La frecuencia de monitoreo será una vez al año, debido a que el crecimiento de los árboles adultos es lento.

A continuación, una breve descripción de las variables a medir.

a) Especie: Cada individuo se identificará a nivel de especie, en cada unidad de muestreo.

b) Altura (m): Principal parámetro en la medición de la vegetación. Si no cuenta con equipo especializado, la medición se puede hacer por estimación de la altura total en metros.

c) Área basal: Se define como la proporción del espacio que cubre la proyección perpendicular de un tronco sobre el suelo. Se calcula mediante la suma del área basal de todos los troncos, en una unidad de área (m² ha⁻¹).

Dominancia = Área basal de la especie / Suma de las áreas de todas las unidades de muestreo.

Dominancia relativa = (Dominancia de la especie / Suma de los valores de dominancia de todas las especies) x 100

d) Densidad (individuo ha⁻¹): Es el número promedio de individuos por área o superficie de muestreo. Es una buena medida cuando se pueden diferenciar individuos. Permite conocer la abundancia de una especie. Se calcula midiendo el número de individuos en un área determinada.

Densidad = Número de individuos muestreados por cuadrante (o unidad de muestreo) / Número total de cuadrantes (o área muestreada),

e) Frecuencia (total y relativa): Es la probabilidad de encontrar una especie en una unidad muestral y se representa en porcentaje. Es una medida de qué tan uniforme es la distribución de la especie en la zona. La frecuencia total, es la relación porcentual entre el número de parcelas en las que parece una especie y el total de parcelas.

Y la frecuencia relativa, es la relación porcentual entre la frecuencia de la especie y la suma de frecuencias de todas las especies.

Frecuencia relativa = (Frecuencia de las especies / Suma de la frecuencia de todas las especies) x 100

f) Valor de importancia relativa (IVI): Se utiliza para determinar la especie dominante, indicando la importancia de cada especie. Se calcula a través de la suma de la frecuencia relativa, densidad relativa y dominancia relativa, dividida entre el número de especies encontradas en la unidad de muestreo. Es un resumen de los valores cuantitativos de cada especie y permite ordenar a las especies de mayor a menor. Proporciona una buena idea de cuáles son las especies más importantes en la comunidad, debido a su abundancia en el espacio que ocupan.

VI = Frecuencia relativa + Densidad relativa + Dominancia relativa / Número de especies encontradas en la unidad de muestreo.

2.1.2.1.2 Regeneración natural

Nivel: Complementario

Aplicación: Esta variable funciona como un indicador biológico de la dinámica del bosque. Y es la mejor manera de ver, cómo la vegetación se establece de manera natural en las zonas degradadas.

Después de implementar acciones de restauración, se espera el restablecimiento de las condiciones del suelo y del agua; y que las condiciones sean favorables para el establecimiento de la vegetación del manglar.

Método de muestreo: La selección del sitio en donde se medirá la regeneración natural, será de acuerdo al diseño de muestreo antes descrito.

El seguimiento de plántulas de manglar (< 50 cm en altura), se realizará en cuadrantes de 2 x 2 m dentro de cada unidad de muestreo (A y B). En cada uno de los cuadrantes se registrarán los individuos (para estimar la densidad).

Se etiquetarán con una placa para su identificación, para así contar con datos de la altura y sobrevivencia. Para los juveniles (> 50 cm en altura y < 2.5 cm en dap), se contarán los individuos presentes (densidad) y se determinará la especie en cuadrantes de 5 x 5 m.

La frecuencia del monitoreo podrá ser entre cuatro y seis meses, para registrar el crecimiento en altura y el porcentaje de sobrevivencia.

Figura 13. Monitoreo de la vegetación del manglar.



Figura 14. Fotografías de los sensores de presión utilizados para monitoreo del hidroperíodo.



2.1.2.3 Indicador 3: Biogeoquímica

A) Características Fisicoquímicas Nivel: Básico

La biogeoquímica de los manglares se compone de nutrientes, materia orgánica, gases disueltos, elementos traza y sustancias tóxicas; que tienen o no un efecto sobre las propiedades ecológicas y específicas de los humedales (Twilley, 1998). En este indicador se agrupan tanto las características fisicoquímicas como las características del suelo.

Características Fisicoquímicas

Para caracterizar las variables

fisicoquímicas del manglar, se obtendrá agua superficial y agua intersticial. El agua superficial se extrae directamente con una jeringa; mientras que el agua intersticial se extrae del suelo, aproximadamente a 30 cm de profundidad, con un tubo de acrílico conectado a una jeringa de 60 ml. Estas variables se miden directamente en campo (ver Figura 15).

Figura 15. Obtención de agua intersticial, para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos.



2.1.2.3.1 Salinidad (superficial e intersticial)

Nivel: Básico

Aplicación: Esta variable está determinada por varios fenómenos, como la precipitación, descargas de ríos y las mareas. Sin embargo, cuando esta variable se encuentra por arriba de los 70 ups (unidades prácticas de salinidad), puede tener un efecto negativo para las plantas.

La salinidad tiende a disminuir, después de implementar las acciones de restauración; y estará relacionada favorablemente con el desarrollo de la vegetación del manglar.

Método de muestreo: La salinidad superficial como la intersticial, se pueden medir con un aparato eléctrico, como una sonda multiparamétrica; o manualmente con refractómetro. Las réplicas serán tres muestras por unidad de muestreo (A y B). La frecuencia de monitoreo será cada tres meses, con el objetivo de registrar cambios en esta variable.

2.1.2.3.2 Temperatura (superficial e intersticial)

Nivel: Básico

Aplicación: La temperatura del agua es una variable que responde a las condiciones locales del clima; y es el principal regulador en los procesos geoquímicos y biológicos en el manglar. La temperatura influye en el crecimiento, la actividad y sobrevivencia de los organismos. También en las reacciones químicas y enzimáticas, reguladoras del proceso de la descomposición de la

materia orgánica; ya que la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica, se aceleran con el incremento de la temperatura, y ésta modifica la disponibilidad de oxígeno (Reddy & De Laune, 2008).

Método de muestreo: Tanto la temperatura superficial como la intersticial, se pueden medir con un aparato eléctrico, como una sonda multiparamétrica; o manualmente con refractómetro. Las réplicas serán tres muestras por unidad de muestreo (A y B). La frecuencia de monitoreo será cada tres meses, con el objetivo de registrar cambios en estas variables.

2.1.2.3.3 Potencial de hidrógeno (pH)

Nivel: Básico

Aplicación: Los cambios de pH en los suelos de los manglares, influyen significativamente en el equilibrio de óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfuros, fosfatos y silicatos. En equilibrio, regula la precipitación y disolución de los sólidos, así como la adsorción y separación de los

iones (Reddy y DeLaune, 2008). Se ha observado también, que el pH puede afectar los estadios iniciales de crecimiento de las plántulas de manglar (Lim *et al.*, 2012).

Método de muestreo: La medición se hace a 30 cm de profundidad del suelo, con un sensor de pH conectado a un potenciómetro o una sonda multiparamétrica. Las repeticiones serán tres por unidad de muestro (A y B). La frecuencia de monitoreo será cada tres meses.

2.1.2.3.4 Potencial de oxido-reducción (Redox)

Nivel: Básico

Aplicación: Es un indicador de las condiciones de anaerobiosis, a las que están sujetas las estructuras vegetales subterráneas; así como la profundidad y temporalidad de la inundación, en el manglar o los humedales en general (Flores-Verdugo *et al.*, 2007). Esta variable, aunada al pH, regula las reacciones biogeoquímicas, determina la estabilidad de los minerales y la regeneración de nutrientes en el suelo y los sedimentos (Reddy y DeLaune, 2008).

Método de muestreo: El potencial Redox del agua intersticial se puede medir con una sonda multiparamétrica, extrayendo el agua intersticial como se ha descrito anteriormente. También se puede medir insertando un electrodo de platino inerte en el suelo, referenciado a un electrodo de hidrógeno o calomelanos (Mitsch y Gosselink, 1993). Es de fácil construcción en laboratorio. El valor del parámetro de potencial Redox, se obtiene utilizando tres electrodos de platino y un electrodo calomel de referencia (Corning 476340); calibrado previamente a 218 mV, en solución amortiguadora de pH 4 (J. T. Baker 5606-02) y Quinhidrona (Sigma Q1001; López Rosas & Tolome Romero, 2009). Las réplicas serán tres muestras por unidad de muestreo (A y B). La frecuencia de monitoreo será cada tres meses.

2.1.2.3.5 Nutrientes del agua intersticial

Nivel: Básico

Aplicación: La escasez de nutrientes minerales, limita la producción vegetal en la mayoría de los ambientes. En condiciones naturales, la cantidad de

nutrientes disponible es siempre limitada y las adiciones externas son escasas. Por lo que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes, para conseguir una máxima producción de biomasa con una cantidad dada de nutrientes. En consecuencia, para predecir la respuesta de la vegetación a los cambios antropogénicos, es imprescindible entender cómo las plantas utilizan los nutrientes minerales (Escudero & Mediavilla, 2003). La determinación de esta variable nos servirá como un indicador ecológico, en el que podremos cuantificar los nutrientes que están disponibles en el agua de los intersticios (poros) del suelo. Por lo tanto, será la cantidad de nutrientes disponibles en las raíces de las plantas.

Método de muestreo: Esta variable se medirá *in situ*. Se llevará a cabo extrayendo agua del suelo a una profundidad de 30 cm, usando jeringas de 60 ml y tubos acrílicos en los sitios de muestro. Los nutrientes determinados serán: la concentración de nitrato más

nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), fosfatos (PO_4^{3-}) y amonio (NH_4^+). Deberán obtenerse tres muestras para cada unidad de muestreo. La determinación de estos nutrientes podría hacerse en campo, utilizando un fotómetro portátil; o también puede realizarse en laboratorio.

a) Nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+): El nitrógeno forma parte de las proteínas y enzimas de la molécula de clorofila; así que es indispensable en la síntesis de estas y vital para la realización de la fotosíntesis (Rodríguez Zúñiga, et al. 2018). El nitrógeno (N) es un nutriente vital para las plantas. A través de su fijación, las plantas son importantes para su almacenamiento y el mantenimiento del ecosistema. La fijación de nitrógeno se lleva a cabo por la comunidad bacteriana en los sedimentos. El elemento puede estar disponible de diferentes formas: como N orgánico, amonio o nitrato; los cuales serán absorbidos por las plantas a través de las raíces (Escudero & Mediavilla, 2003).

b) Fosfatos (PO_4^{3-}): El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Participa en procesos metabólicos como la fotosíntesis, la

transferencia de energía y la síntesis y degradación de carbohidratos. La productividad es uno de los aspectos más limitados, por la concentración de fósforo en el agua y el suelo (Rodríguez Zúñiga et al., 2018). Proviene de la marea. Sin embargo, no se encuentra disponible para las plantas, hasta que sea solubilizada por la comunidad bacteriana y puede ser asimilable para la planta.

2.1.2.3.6 Concentración de sulfuro (S^{-2})

Nivel: Complementario

Aplicación: Los humedales obtienen el sulfuro de muchas fuentes naturales y antropogénicas. La escorrentía agrícola, las aguas residuales, la lluvia ácida y las principales fuentes de drenaje y líquidos industriales, pueden aumentar drásticamente los niveles de azufre en los humedales (Orem y Bates, 2013). La acumulación de altas cantidades de sulfuro en los sedimentos, generalmente causa estrés de toxicidad fisiológica para la comunidad involucrada; incluyendo las plantas, animales y microorganismos.

Método de muestreo: Esta variable se mide *in situ*. Se lleva a cabo extrayendo

agua del suelo a una profundidad de 30 cm, usando jeringas y tubos de acrílico en los sitios de muestro. Se obtendrán tres repeticiones por cada unidad de muestreo. La determinación del sulfuro se puede hacer en campo, utilizando un fotómetro portátil; o también se puede realizar en laboratorio. La frecuencia de muestreo deberá ser cada tres meses.



Figura 16. Fotografías de los análisis químicos, con el kit de química y fotómetro V-2000 de la marca Chemetrics

B) Características del suelo 2.1.2.3.7 Densidad aparente

Nivel: Complementario

Aplicación: Es un criterio importante para la evaluación del balance hídrico y la estimación de los contenidos de los nutrientes en el suelo. También es una variable determinante en relación con la permeabilidad y profundidad fisiológica (Siebe, Jahn & Stahr, 1996).

La densidad aparente por lo general es alta, antes de implementar las acciones de restauración; por lo que se espera que los valores cambien después de las acciones. Sus valores disminuirán debido a la conexión con el agua; y con ello, se reactivarán las propiedades adecuadas para el establecimiento de la vegetación. Mayor densidad, será indicador de un suelo mineral dominado por limos y arcillas; menor densidad, representará un suelo con materia orgánica, bien aireado y con mayor capacidad de drenaje.

Método de muestreo: La zona en donde se extraerán las muestras de sedimento, serán seleccionadas de acuerdo al diseño de muestreo. La densidad aparente se determinará extrayendo muestras de suelo a 30 cm de profundidad. Se recomienda obtener la muestra de suelo con un nucleador. Las muestras de suelo se dividirán en intervalos de: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Se determinará el volumen del nucleador (se calculará el volumen de un cilindro). Para el análisis de la densidad aparente, se sigue el método propuesto por Ronghua Chen (1999), en

el que las muestras se colocan en una estufa a 70°C para su secado, hasta alcanzar un peso constante (72 horas aproximadamente). Las muestras secas serán pesadas en una balanza granataria y se calculará la densidad aparente (peso seco por unidad de volumen). Se deberán extraer tres núcleos de sedimentos por cada unidad de muestreo. La frecuencia de monitoreo será anual, ya que esta variable funciona como una caracterización para el conocimiento de las condiciones ambientales.

Después del pesado del suelo, se aplicará la siguiente fórmula (1996 *et al.*, 2006):

$$Da = \frac{M}{V}$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g cm⁻³)

M = Masa (peso seco del sedimento g)

V = Volumen del cilindro (cm³)

2.1.2.3.8 Materia orgánica

Nivel: Básico

Aplicación: La materia orgánica en el manglar, está compuesta principalmente por el aporte de raíces, hojas, tallos, etc.

En las zonas de manglar degradado, se esperaría menor cantidad de materia orgánica, la cual aumentaría después de las acciones de restauración. Mayor cantidad de materia orgánica en las zonas degradadas, ayudaría a generar nutrientes que estarían disponibles para desarrollo de la vegetación.

Método de muestreo: La extracción del sedimento para la obtención de la materia orgánica, se realizará en sitios de acuerdo a lo definido en el diseño de muestreo. Para la determinación de la materia orgánica del suelo, se extraerán muestras de suelo a 30 cm de profundidad con un nucleador. Para el análisis de la materia orgánica, las muestras de suelo se dividirán en intervalos de: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, de acuerdo con el método de Chen & Twilley (1999). Las muestras se colocarán en una estufa a 70°C para su secado, hasta alcanzar un peso constante (72 horas aproximadamente). Posteriormente, las muestras secas se muelen y se pasan por un tamiz de número 30 (0.54mm). Se pesarán 2 g de sedimento molido de cada profundidad, en una

balanza analítica; y se colocarán en una mufla a 550°C, durante 4 horas. Se calculará el porcentaje de materia orgánica por diferencia de pesos, antes y después de la incineración.

Esto es el porcentaje de materia orgánica:

$$\text{Porcentaje de materia orgánica} = [(\text{Peso muestra seca} - \text{Peso calcinado}) * 100]$$

Se recomiendan tres repeticiones por cada unidad de muestreo (A y B). La frecuencia de muestreo para esta variable, será una vez al año.

Figura 17. Monitoreo de características del suelo: Obtención de núcleo de sedimento para su posterior análisis.



Aplicación: Los nutrientes son elementos obtenidos por las plantas, principalmente a través del suelo. La concentración de los nutrientes en los suelos degradados de

manglar es baja. Sin embargo, esos valores deben aumentar después de que se hayan realizado las acciones de restauración, ya que la modificación de los flujos hidrológicos tendrá efectos positivos en los ciclos de nutrientes, la actividad microbiana y el crecimiento de las plantas.

Método de muestreo: La determinación del Carbono total y Nitrógeno total, puede ser realizada en un laboratorio que cuente con un auto analizador. Para el Fósforo total, el método consistirá en la digestión de la muestra (Aspila, Agemian & Chau, 1976); y posteriormente se determinará el porcentaje de fósforo, utilizando el procedimiento colorimétrico para ortofosfatos (Parsons, 1984). La frecuencia para el muestreo será de una vez al año, debido a que esta variable sirve para caracterizar el paisaje.

2.1.2.3.10 Microtopografía

Nivel: Básico

La topografía es la ciencia que trata los principios y métodos empleados para

determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, con base en mediciones y usando los tres elementos del espacio (dos distancias y una elevación; o una distancia, una dirección y una elevación). A la geodesia le corresponde el estudio del globo terrestre, su configuración precisa y su medición. Para obtener un estudio de topografía, se utilizan satélites de navegación que funcionan como receptores; y proporcionan posición, velocidad y tiempo, como los receptores GNSS y la Red CORS.

Aplicación: Los levantamientos topográficos son de gran importancia, como base del entendimiento de la hidrología y como factor que influye en la distribución y salud de las especies de manglar. Por esta razón, es importante realizar levantamientos de calidad y precisión; y que sean empleados como insumo para análisis complejos, como los análisis de cuencas y flujos preferenciales. Las actividades se engloban en dos objetivos relacionados entre sí: uno es el amojonamiento y el otro es la nivelación del terreno.

Cada uno puede llevarse a cabo usando los mismos instrumentos y métodos; aunque bajo ciertas condiciones, es preferible usar alguno en particular. Esto dependerá de los recursos con los que se cuente y las condiciones mismas del terreno.

A continuación, se describen las técnicas para el levantamiento topográfico en el manglar. Se debe mencionar que estas técnicas (tanto la manguera de nivel, como la utilización de equipos GPS) son instrumentos complementarios entre sí. Esto va a depender de la escala de detalle y los objetivos de la restauración.

Método:

1. Amojonamiento

Estas actividades consisten en el traslado de las coordenadas conocidas, desde un banco de nivel hasta el área de estudio; y distribuir mojoneras auxiliares para que sirvan de referencia y apoyo para la nivelación.

A. Colocación de mojonera principal: Esta actividad consiste en obtener un punto conocido dentro del

área de estudio, que sirva como referencia para todas las demás actividades. Se recomienda que se refiera a un Banco de nivel, al suelo donde se encuentre instalado un sensor de presión atmosférica; o a un punto en el fondo del cuerpo de agua, adyacente al área de estudio. La mojonera principal se nivela con respecto a la referencia, con la máxima precisión posible; dependiendo de las características del terreno, la distancia entre los puntos y la disponibilidad de los instrumentos. Esta mojonera principal debe elaborarse con materiales durables y económicos a largo plazo, como un tubo de PVC hidráulico. Para su instalación, se clava medio metro en el suelo y se deja 40 cm por sobre la superficie; y este espacio se llena con una mezcla de cemento, polvo y grava.

Colocación de mojoneras auxiliares: Es la forma de propagar las coordenadas de la mojonera principal, a través del área de estudio. Para este tipo de mojoneras, se necesita la altura con respecto a la mojonera principal, con la máxima precisión.

El criterio para la colocación de mojoneras auxiliares, es considerar como punto conocido, la altura con respecto al nivel de la mojonera principal. Por lo que servirán para el inicio de cualquier otra actividad de nivelación, tomando en cuenta los métodos que se usarán en los posteriores trabajos. En cuanto a su materialización, no es necesario garantizar la durabilidad a largo plazo, pero sí el tiempo suficiente hasta concluir con el estudio. Se pueden usar estacas de madera o de PVC; o simplemente un clavo en una piedra.

2. Nivelación del área de estudio

Estas actividades consisten en la obtención y registro de las coordenadas horizontales y verticales de puntos del terreno, usando como referencia la mojonera más cercana. Para realizar esta actividad, se pueden usar los métodos descritos a continuación.

A. Nivelación con manguera de nivel: Para realizar esta actividad, serán necesarios dos o más operarios. Primero, se medirá la distancia vertical entre la marca en la mojonera y el suelo (altura de la mojonera).

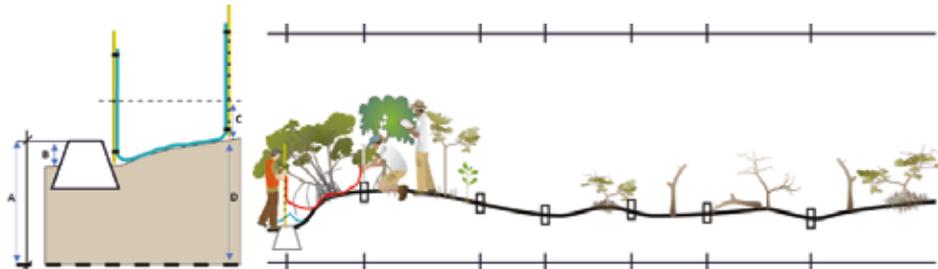
Se prepara una estaca, con una marca a 1.0 m desde el suelo. Con las puntas de la manguera tapadas, se coloca la estaca en posición vertical en el suelo de la mojonera (suelo mojonera). El segundo operario coloca un estadal en posición vertical, con el cero en el punto desconocido. Debe procurarse que, en cada extremo, se disponga un tramo de manguera en posición vertical. Segundo, se destapan ambos lados de la manguera, se deja fija en la estaca y, en el punto a conocer, se mueve la manguera sobre el estadal, hasta que el nivel en el punto inicial quede sobre la marca. En ese momento se realiza la lectura del estadal.

Entonces, la altura del punto desconocido queda determinada por la fórmula:

Suelo mojonera (m) = Nivel conocido de la mojonera (m) – Altura de la mojonera (m)

Altura del punto (m) = Suelo mojonera (m) + 1m – Lectura del estadal (m)

Figura 18. Levantamiento topográfico: A) Nivel conocido de la mojonera, B) Distancia suelo mojonera, C) Lectura de estadal y D) Altura del punto nivelado. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).

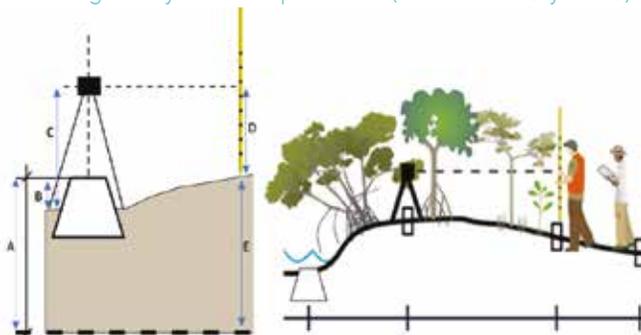


B. Nivelación con nivel láser: Se mide la distancia vertical entre la marca en la mojonera y el suelo (altura de la mojonera). Se planta el nivel laser sobre el suelo en la mojonera; y se mide la distancia vertical que hay desde el suelo al plano del láser (altura del instrumento). Después, se coloca el estadal con el cero sobre el punto desconocido y se desliza el sensor, hasta que se encuentra al plano del láser (por lo general con un pitido). En ese momento se lee el estadal (lectura del estadal). Se obtiene la altura del suelo en el punto desconocido (altura del punto), con respecto a la mojonera.

$$\text{Suelo mojonera (m)} = \text{Nivel conocido de la mojonera (m)} - \text{Altura de la mojonera (m)}$$

$$\text{Altura del punto (m)} = \text{Suelo mojonera (m)} + \text{Altura del instrumento (m)} - \text{Lectura del estadal (m)}$$

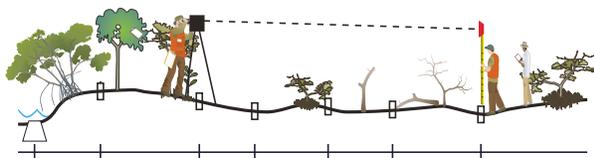
Figura 19. Levantamiento topográfico: A) Nivel conocido de la mojonera, B) Distancia del suelo mojonera, C) Altura del instrumento, D) Lectura del estadal y E) Altura del punto nivelado. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



C. Nivelación con estación total: La estación total se planta sobre el suelo, por encima de la mojonera; y debe haber una línea de vista a otra mojonera, para usarla como referencia auxiliar. Ambas coordenadas conocidas se introducen al instrumento. Después un segundo operario, con ayuda de un prisma reflejante y un bastón de aplomar, se coloca en la mojonera de referencia auxiliar; y se realiza

la inicialización del instrumento para empezar con las mediciones. Posteriormente, se evalúan puntos al azar en el área a medir, procurando realizar las mediciones en canales naturales, áreas de vegetación y accidentes topográficos. Dependiendo de las líneas de visión entre la estación y el prisma, se pueden agregar más operarios con prisma y bastón, para realizar transectos simultáneos.

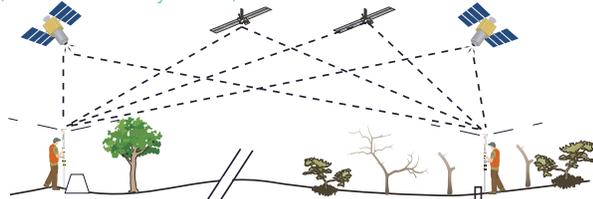
Figura 20. Nivelación con un instrumento de estación total. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



D. Nivelación diferencial con equipos receptores GNSS (receptores satelitales GPS y GLONASS): Esta es la técnica más moderna en la actualidad, para medir en campo. Es la técnica ideal para el amojonamiento, siempre y cuando se cuente con una vista clara y sin obstáculos al cielo. Dependiendo de los equipos con los que se trabaje, el levantamiento puede durar desde segundos (RTK) hasta varias horas (estático).

En todos los casos, la base siempre se planta sobre la mojonera. Se recomienda configurar para que el registro se haga de manera continua cada segundo, desde 10 min antes de posicionar el rover; y detener el registro 10 min después del último levantamiento. En el caso del rover, la configuración de tiempo de registro depende del método usado y de las condiciones climáticas al momento del levantamiento. Para todos los métodos diferenciales (excepto RTK), es necesario un post-proceso de corrección en gabinete, para obtener las coordenadas precisas de cada punto. Durante este procedimiento, con un software especializado se puede ejecutar la corrección con datos de una estación CORS; y además, efectuar la nivelación entre la mojonera y los puntos levantados. Para el caso del RTK, la base emite por un transmisor de radiofrecuencia, la información de las correcciones en la posición; mientras que el rover recibe e interpreta estas correcciones, obteniendo las coordenadas precisas de nivelación al momento.

Figura 21. Nivelación diferencial con receptores GNSS. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



3. Información complementaria al levantamiento topográfico.

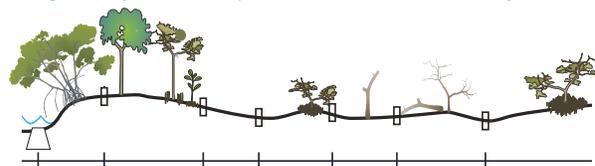
Es información adicional, recabada de forma rápida y a criterio de quien levanta el punto (valores aproximados a vista del operario). Este método es igual para cualquier instrumento usado. Se considera el punto levantado, como el centro de un círculo de 5 m de radio. El primer valor a considerar, es un identificador único en el levantamiento. Se registran las coordenadas geográficas en UTM (en caso de que el instrumento usado no cuente con memoria interna). Luego se registra el accidente topográfico en la mayoría de los casos, si es una charca, canal natural, área de manglar, borde de un canal, planicie, duna, berma, etc. En el caso de la vegetación, se registra la condición (conservada, degradada o en restauración), la especie dominante, el número de individuos por especie y la regeneración natural por especie dentro del círculo.

2.2 Ejemplo de la aplicación del levantamiento topográfico en la restauración

Para entender mejor el proceso del levantamiento topográfico, se presenta el siguiente caso a manera de referencia. Durante este ejercicio, se muestran ejemplos de cómo ejecutar la nivelación del terreno; aplicando las diferentes técnicas descritas en este documento, dependiendo de las condiciones fisiográficas y distancia entre puntos.

Para empezar, se supone que se tiene un área de manglar que cuenta con una franja de 60 metros de ancho, e inmediatamente después, se encuentra una cuenca con áreas de manglar degradado y áreas de manglar muerto, con una longitud total de 350 m tierra adentro. Se muestra el esquema conceptual del sitio en cuestión. Y de aquí en adelante, se nombra con una letra mayúscula (O, A, B,..., F) a un punto; y con dos letras a las zonas de manglar comprendidas entre dos puntos (ver Figura 22).

Figura 22. Perfil de las zonas de manglar. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



El primer paso es la nivelación del terreno, para obtener pistas que ayuden a elegir las acciones correctas para la restauración hidrológica del sitio. Para este ejemplo, se consideró que no se cuenta con un banco de nivel en el sitio; y tampoco se cuenta con un par de receptores GNSS (receptores satelitales GPS y GLONASS), para nivelar desde otro lugar.

Paso 1. Amojonamiento

Instalación de la mojonera principal

En este ejemplo no se cuenta con un banco de nivel. Se considerará el nivel 0 m (plano de referencia) al suelo, dentro del cuerpo de agua adyacente al sitio (O). Como puede verse en el diagrama anterior (Figura 22), representado por la letra "A", es conveniente la instalación física de una mojonera principal, lo más cercana al cuerpo de agua. Entre la zona O-A hay un área inundada; y debido a la vegetación, no hay una línea de vista entre los dos puntos. Además, es una distancia de 10 m aproximadamente. La mejor técnica de levantamiento usada para estos casos, es la manguera de nivel y estadal.

Instalación de mojoneras auxiliares

En la zona A-B, la vegetación corresponde a un manglar de franja en buen estado, con la altura del dosel a varios metros del suelo y sin matorrales. Por lo que, a la altura de una persona, solamente los troncos de los árboles impiden una línea de vista entre los puntos. En esta nueva condición, se recomienda el uso de la técnica de láser rotatorio y estadal. La cual requiere de pocos segundos para ajustar el sensor en el estadal, a distancias desde 1 hasta 100 m. Para el perfil de este manglar simulado y ficticio, se contempló una distancia de 60 m hasta llegar al sitio degradado.

Paso 2. Nivelación

Nivelación del terreno en el área a restaurar

En áreas de manglar extensas, pueden existir amplias líneas de visión; por lo que se recomienda el uso de una estación total, con bastón extensible y prisma reflejante. Con esta técnica es posible evaluar una gran cantidad de puntos, como el área del sitio ficticio, debido a la degradación de la cobertura vegetal.

En la Figura 22, se evaluaron desde el punto B hacia los puntos C, D, E y F. Se recomienda la toma de datos descritos en el Cuadro 2, para el levantamiento topográfico.

Cuadro 2. Datos capturados del sitio simulado, para el levantamiento topográfico.

IDENTIFICADOR DEL SITIO			INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA		ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN			DATOS DE REGENERACIÓN		INFORMACIÓN ADICIONAL	
ID	ESTE	NORTE	ACCIDENTE TOPO	NIVEL OBSERVADO (m)	TIPOLOGÍA	CONDICIÓN	ENSIDAD 78.5 m ² (ind)	REGENERACIÓN NATURAL	DENSIDAD 1 m ² (ind)	NIVEL DE LA INUNDACIÓN (m)	COMENTARIOS, TÉCNICA USADA
O			laguna	0	Franja					0.8	Nivel de referencia
A			berma	1.3	Franja	Conservado	RM=3 AG=0	0	0	0	Mojonera de referencia, manguera
B			berma	1	Cuenca	Conservado	RM=0 AG=4		5	0	Empieza área degradada, laser
C			blanquizal	0.8	Cuenca		Rm=0 AG=0	0	0	0	Área con problemas de hidroperíodo, E. Total
D			cuenca	0.75	Cuenca	Degradado, chaparro	RM=0 AG=6	0	0	0	Plantas con falta de agua, E.Total
E			cuenca	0.5	Cuenca	Muerto	Rm=0 AG=0	0	0	0	Árboles muertos, problemas con hidroperíodo, E. Total
F			canal natural	0.2	Cuenca	Muerto	Rm=0 AG=0	0	0	0.1	Lodo suave, pequeña corriente de agua, E. Total

Paso 3. Interpretación de los resultados y acciones a implementar

El análisis de los datos del Cuadro 2, permitió generar un perfil topográfico del sitio de estudio. Hay que considerar que el nivel de referencia se midió en el fondo del cuerpo de agua adyacente, por lo que se considera que la inundación mínima fue de 0.8 m.

Esta interpretación se establece cuando un sitio presenta áreas secas.

Para establecer las acciones de restauración, se considera cada área del perfil.

A continuación, se explica cómo se establecen las acciones.

Las zonas O-A y A-B del perfil topográfico, se ubican en la franja. Esta área se clasifica con sitios de referencia y conservados, para seguimiento.

En las zonas B-C y C-D, la cobertura vegetal tiene la misma altura que el área de referencia. Además, la cantidad de áreas secas indican que la afectación es del hidroperíodo (o falta de flujo de agua), no por disminución del nivel del suelo. Con esta evaluación, se determinó construir canales secundarios y terciarios que incrementen el flujo de agua. El área se clasificó con potencial de restauración.

Los niveles topográficos registrados en las zonas D-E y E-F (0.75m y 0.50 m), son más bajos en comparación al área A-B (1.30 m). La zona F es aún más baja (0.20 m). Este desnivel y la inundación, son características de un canal natural azolvado. Se determinó que esta área presentaba mayor degradación en la cobertura vegetal del manglar; y se infirió que el hidroperíodo presentaba mayor afectación, aunado a la pérdida del suelo.

Las acciones establecidas en este sitio, fueron desazolvar el canal para que de él se desprendieran canales secundarios y terciarios. También se elevó el suelo 30 cm en toda el área.

Durante esta actividad, se acomodaron de forma discontinua los troncos, para que la dispersión de los propágulos y especies pioneras sea eficiente.

Paso 4. Resultados

Al cabo de algunos años, se visitó nuevamente el sitio de restauración y se encontró lo siguiente:

El canal principal sirvió para que las ondas de marea del cuerpo de agua adyacente, se dispersaran hasta el interior del sitio, generando un aumento en la frecuencia de inundación (cambio en el hidroperíodo). Lo que facilita el intercambio de agua y, a su vez, la disminución de los niveles de inundación en la temporada de máximas precipitaciones. Los canales secundarios y terciarios, comunicaron toda el área y mantuvieron agua aún en la época de seca;

permitiendo el transporte de agua hasta las áreas con vegetación.

Esto contribuyó a la recuperación y vigorosidad del manglar y, por ende, de sus servicios ecosistémicos.

Los canales también favorecieron la propagación de semillas y propágulos, a los sitios con elevación de la topografía.

Las elevaciones facilitaron el establecimiento de especies pioneras; y con el tiempo, permitieron el reclutamiento de manglar. También se observó un aumento en la fauna del sitio (acuática y terrestre).



(Iguana iguana)

A close-up photograph of a sloth clinging to a thick tree trunk. The sloth's fur is a mix of brown and grey, with a lighter patch on its chest. It is surrounded by vibrant green foliage, creating a natural and serene background. The sloth's face is visible, showing its characteristic slow and steady gaze.

3. PROCEDIMIENTOS ESTÁNDARES PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Perezoso (*Bradypus variegatus*)

Una vez que se haya realizado la caracterización del sitio (ecología forense), se procederá a la implementación de acciones para la restauración.

3.1 Desazolve o limpieza de canales de marea

3.1.1 Canales principales

Los manglares tienen canales naturales de flujos de agua. En ocasiones, estos canales se obstruyen por el azolvamiento de arena en la línea de la costa; por troncos de manglar, que obstruyen el canal a consecuencia de tormentas; y por la construcción de carreteras, caminos, diques o la transformación del terreno por construcciones. Cuando desciende el flujo de agua, ocurre una sedimentación del canal. La consecuencia de que el canal se sedimente, es que restringe la comunicación entre el humedal y el agua. Se acumula suelo de un lado de la costa; y del otro lado se pierde suelo. Esto provoca cambios en las propiedades del suelo y la pérdida del reflujos de agua. La principal consecuencia de que esto suceda, es que las plantas del manglar no sobreviven y tampoco se establecen.

La degradación de estos ecosistemas se debe principalmente a la restricción del agua, la cual se mide con las variables del hidropériodo. Cuando esto ocurre, hay cambios como: menor frecuencia de inundación, mayor tiempo de inundación o mayor nivel de inundación. Y esto provoca la muerte del manglar. La restauración tiene como objetivo, recuperar la conexión hidrológica y mejorar las condiciones ambientales del ecosistema que se degradó. Las acciones que se realizan, en primera instancia, son el desazolve o limpieza de canales de marea, con el propósito de conectar el manglar con el cuerpo de agua (ver Figura 23).

Para comenzar con las acciones de restauración, se debe identificar un canal principal que conecte el cuerpo de agua con el manglar degradado. La identificación puede ser a través de imágenes de satélites o identificación en campo. Una vez identificado el canal, se limpia mediante la remoción del sedimento. Puede realizarse de forma artesanal o con maquinaria, dependiendo de la magnitud de la acción. Si se realiza de forma artesanal, además de generar empleo, permite la capacitación y el involucramiento de la comunidad en el proceso de la restauración.

Las personas utilizarán palas, hachas y machetes para el desazolve de los canales; y la mano de obra es realizada por ambos sexos: femenino y masculino (ver Figura 24). Las recomendaciones para limpiar el canal principal, es que las dimensiones sean entre menos de 3-5 m de ancho y 1 m de profundidad. También se deberán remover los troncos que se encuentran en el fondo del canal. El suelo que es retirado del fondo del canal, se acomodará de forma discontinua en ambas orillas del canal; dejando espacios para formar microcanales o canaletas, las cuales deberán ser de 50 cm de ancho y 30 cm de profundidad.

Figura 23. Esquema que representa el canal primario, antes y después de la restauración. En la imagen se observa el canal antes de las acciones, con sedimento y ramas de árboles obstruyendo el paso de agua. Luego de realizar el desazolve (limpieza), el canal queda libre y permite una mejor conexión entre los cuerpos de agua. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones.



Figura 24. Fotografías del proceso de desazolvamiento de un canal principal.



Posteriormente se extenderá para que se eleve el nivel de suelo, con la finalidad de mejorar el reflujos del agua y permitir la dispersión de propágulos del manglar.

3.1.2 Canales secundarios

La importancia del canal secundario es conectar el interior del humedal. El origen parte del canal principal, el cual se encarga de introducir agua hacia el interior de la cuenca (ver Figura 26). El canal secundario debe introducir agua donde se encuentran los manglares en condición degradada.

Para diseñar un canal secundario, se deberá hacer una descripción de la topografía o un modelado de flujos preferenciales. Cuando el ecosistema de manglar está degradado, ocurren varios procesos: no hay contribución de la materia orgánica, se acelera la descomposición de esta y, por lo tanto, existe un colapso de las propiedades del suelo. Sin embargo, cuando se inicia la restauración, las condiciones ambientales mejoran: aumenta la frecuencia de inundación, se mejora la calidad del suelo y su fertilidad.

La función de los canales secundarios es el intercambio de agua en estos sitios, favoreciendo el transporte de propágulos de manglar (ver Figura 25). Se recomienda que las dimensiones del canal secundario, sean de al menos 2.5 m de ancho por 1 m de profundidad. También se aconseja la remoción del material vegetal muerto, superficial y enterrado; además del acomodo de sedimento en los bordos del mismo. El volumen de material de desazolve en la construcción de estos canales, dependerá de las condiciones del sitio (ver Figura 26).

Figura 25. Esquema del canal secundario, antes y después de la restauración. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones.

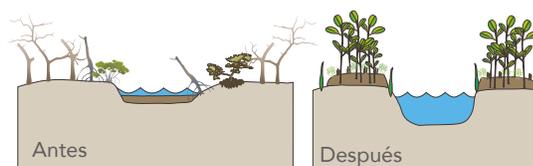
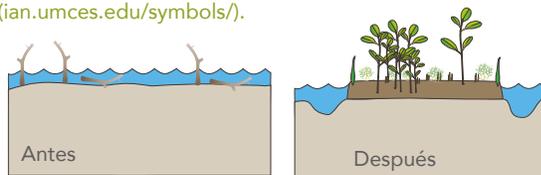


Figura 26. Fotografías que muestran la construcción de un canal secundario.



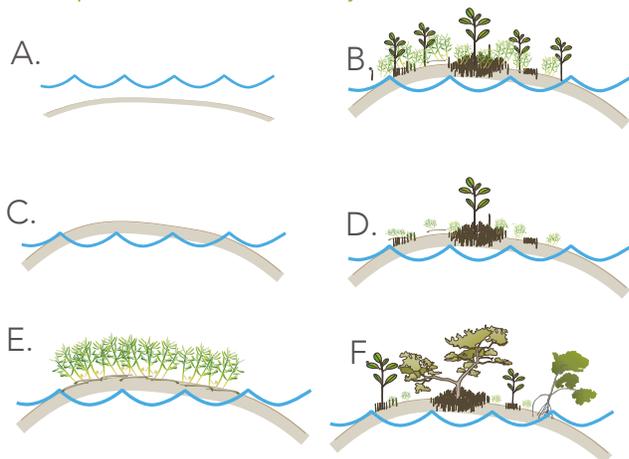
Figura 27. Imagen que representa una zona, antes y después de la construcción de un centro de nucleación, como parte de las acciones de restauración. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



3.2 Centros de nucleación

La elevación de la topografía se usa para compensar la pérdida de suelo, por la degradación del manglar y la descomposición. La elevación del suelo y construcción de centros de nucleación, se puede hacer a partir del material de la construcción o el desazolve de los canales de marea (ver Figura 27). El diseño y la ubicación de los centros de dispersión, va a estar en función de las condiciones de la zona a restaurar. Se debe considerar que existan sitios adyacentes, con manglar vivo y en etapa adulta; ya que esto favorecerá, posteriormente, la obtención de propágulos. Cuando se modifica la topografía por medio de la elevación del sedimento, se recupera la hidrología y se mejoran las condiciones del suelo. Después vendrá la colonización de especies nodrizas, particularmente: *Batis maritima* y/o *Sesuvium portulacastrum*. Estas especies nodrizas tendrán el potencial de mejorar las condiciones del suelo, mejorando el microhábitat y permitiendo posteriormente el establecimiento de los propágulos, y por último, el reclutamiento de distintas especies de manglar (ver Figura 28).

Figura 28. Proceso de construcción de un centro de nucleación: A) Un suelo sobre inundado, B) Se realiza la elevación del suelo sobre el nivel del agua, C) El establecimiento de las especies pioneras, D) Llegan los primeros propágulos de manglar, E) Se establecen las plántulas de manglar, disminuye la vegetación pionera y, por último, F) Se hace el reclutamiento de diferentes especies de manglar. Símbolos cortesía de la integración y la red de aplicaciones (ian.umces.edu/symbols/).



Para la elevación de la topografía, se recomienda que el suelo que se retiró de los canales secundarios, se acomode en el centro de un círculo de 2.5 m de radio y 0.4 m de altura. Después se extiende y aplana, formando una terraza más elevada con respecto al suelo en el lugar. Deberá separarse cada centro del círculo, al menos 10 m uno del otro; y se construirán canaletas. Con esta técnica se garantizará la circulación constante del agua, permitiendo el transporte de propágulos

y favoreciendo la tasa de recambio con agua fresca. Además, ayuda al establecimiento de especies pioneras, que favorecen al reclutamiento del manglar (ver Figura 29).

Figura 29. Fotografías de los centros de nucleación y canaletas.



3.3. Técnica de reforestación y viveros de manglar

Los viveros de manglar, son una alternativa que ayuda a la restauración artificial de los manglares degradados. En algunos casos, las plantas desarrolladas en vivero ofrecen una garantía de mayor éxito en la reforestación. Ejemplo de ello son los trabajos realizados en Bangladesh, Tailandia, India, Australia, Vietnam, Indonesia, Arabia Saudita, Cuba, Colombia, Panamá y México (Agraz-Hernández, 1999).

El objetivo principal de la implementación de un vivero, para reproducir y producir mangles, radica en la necesidad de reforestar algunas zonas de manglar deteriorado.

También se justifica, cuando la siembra directa es difícil de lograr; o bien, cuando es necesaria la producción de plántulas con cierto grado de desarrollo; así como una fuente importante de plantas, para los programas de reforestación a gran escala (Saenger, 1997; Proyecto manglares colombianos, 1998; y Agraz-Hernández, 1999).

Los viveros también cumplen con funciones relacionadas con la investigación, como servir de apoyo a programas de educación ambiental y conservación de especies. A pesar de no ser constante la disposición de la semillas o propágulos durante todo el año, la presencia de un vivero permite disponer de plantas en cualquier época del año. Las plantas de vivero aseguran y ofrecen una mayor supervivencia, en comparación a la siembra directa de propágulos en los programas de reforestación (Elster, 2000). Así mismo, se conoce que cuando existe influencia directa de mareas y oleaje, existe erosión; y las plantas generadas en vivero, con edades entre 10 y 12 meses, pueden ofrecer una mejor respuesta en la forestación y reforestación (Milian, 1996).

Los procedimientos descritos, van orientados a reconocer y detectar las posibles causas que afectan el desarrollo de los manglares. Y en este apartado, vamos a profundizar en las técnicas o experiencias positivas de reforestación de manglar que Panamá ha realizado, para ayudar a la recuperación de estos ecosistemas tan valiosos.

En esta sección, vamos a detallar las técnicas de reforestación que han sido aplicadas y comprobadas, en sitios del Caribe y el Pacífico panameño, posterior a la implementación de acciones de restauración. Para todas las técnicas, se describe: la metodología, ventajas y desventajas, materiales y herramientas necesarias para la siembra y propagación de especies de mangle y especies asociadas.

3.3.1 Descripción general de criterios de seguimiento, en viveros y plantaciones de especies de mangle

Para los viveros de mangle, es necesario siempre mantener una revisión visual, cuando se está en el proceso de riego. Esto sirve para verificar que las plántulas estén sanas y que no exista presencia de plagas y enfermedades. En cuanto al riego, durante la etapa de establecimiento de plántulas de regeneración natural y propágulos, se recomienda hacerlo diariamente si el mismo no es anegado por la marea. Una vez en la etapa de mantenimiento, la frecuencia de riego se hace con un día de por medio; con esto se ahorra agua y se regula mejor la humedad del vivero. En las especies de mangle rojo (*Rhizophora* sp), el indicativo de que están listas para llevar al campo, es que presentan más de 6 hojas. Esto es dentro de un promedio de 65 a 75 días en vivero.

Para las demás especies, el indicativo es que alcanzan una altura promedio de 20 cm (equivalente a 8 pulgadas). En temporada seca, es necesario regular la sombra de las partes laterales del vivero; y cuando las plantas presentan marchitamiento de hojas por las altas temperaturas, es necesario darle mayor circulación de aire dentro del vivero. Una vez que las plántulas están listas para llevar a los sitios de reforestación, es necesario quitar la sombra del vivero unos 4 días antes, para que las plántulas se empiecen a adaptar a la luz total. Así sufren menos estrés al ser llevadas al campo.

Como parte del mantenimiento y seguimiento, en las plantaciones de mangle deben instalarse unidades permanentes de muestreo. De acuerdo a la misma estructura de las áreas plantadas, estas unidades pueden ser de formas y tamaños diferentes: circulares, rectangulares o cuadradas. El tamaño también es variable: puede ser de 10 m x 10 m a 20 m x 20 m, lo cual equivale a una dimensión de 200 a 400 m², respectivamente. Las variables a medir son: número de plántulas, altura total y cantidad de hojas y ramas. Se recomienda la medición cada seis o cada doce meses, dependiendo de la observación del técnico responsable.

Los resultados de estas mediciones anuales, sirven para comparar la dinámica de crecimiento promedio de las áreas plantadas.

Los recorridos mensuales por todas las áreas, también sirven para tomar decisiones sobre cuándo y qué cantidad de propágulos son necesarios para el replanteo. Esto se define cuando se encuentran sitios con baja densidad de plántulas, debido a la mortalidad por corte de plántulas por el cangrejo; o por la tala ilegal de árboles cercanos a los sitios plantados (Gonzales, C. E., 2020).

Los meses de julio y agosto, son los mejores meses para reforestar y también hacer los replanteos; ya que es la temporada de máxima producción de propágulos de mangles rojos (*Rhizophora* sp). Luego de un establecimiento exitoso y un mantenimiento constante de las áreas reforestadas, con especies de mangles y especies asociadas en menos de tres años, se podrán ver otras señales como: colonización de cirrípedos, nidos de aves y reptiles, floración y fructificación, y presencia abundante de regeneración natural. Todas señales de que la reforestación, es un aporte a los procesos de restauración de este tipo de ecosistemas.

3.3.2. Establecimiento de viveros de especies de mangle y especies asociadas (experiencias en el Caribe y el Pacífico panameño).

Para el establecimiento de los viveros, es necesario identificar el mejor sitio para su construcción, teniendo como criterios técnicos: la disponibilidad de material vegetativo (semillas, propágulos, regeneración natural, etc.), la cercanía al sitio de reforestación, la disponibilidad de agua y buen acceso.

Figura 30. Vivero de mangles en el Pacífico panameño.



Estos son los materiales y equipos necesarios, para la construcción de la estructura de los viveros temporales:

1. Malla sarán al 50% de sombra
2. Alambre dulce y cuerdas comunes
3. Clavos galvanizados de varias medidas
4. Hilo y aguja de coser sacos
5. Madera de construcción
6. Palas coas y coas
7. Plástico común para el suelo del vivero (de ser necesario)
8. Bolsas de polietileno, bandejas de plástico o recipientes de bambú.

Nota:

El plástico se coloca en el suelo para evitar que las plántulas peguen sus raíces al suelo, en caso de que estén por más de 5 meses en el vivero.

La forma y el tamaño de la estructura, dependerá de la disponibilidad de recursos, cantidad de plantas a producir y duración del proyecto. Se pueden utilizar los recursos disponibles en el sitio, como las varas y postes de la especie *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) para la reforestación con estacas; dado que esta especie tiene alta capacidad de rebrote (Sánchez-Páez, 2004).

1. Recipientes para la producción de plántulas en vivero

Tradicionalmente, en los viveros se usan recipientes convencionales, como bolsas y bandejas plásticas. En algunos casos, se usan camas de madera con bolsas de polietileno; así como viveros suspendidos con plantas a raíz desnuda. Pero en los últimos dos años, se han usado recipientes de bambú en el vivero del proyecto de restauración de áreas de manglares y albinas, en la desembocadura del río La Villa (provincia de Los Santos, Panamá).

Estos recipientes de bambú, son una de las alternativas ambientales que dan mejores rendimientos de crecimiento y mejor adaptación en campo; además de crear nuevas fuentes de trabajo

sostenibles para el ambiente y las comunidades. Los recipientes de bambú tienen una altura de 5 pulgadas (equivalente a 12.7 cm); y sus diámetros varían y dependen de la forma del mismo bambú. Estos recipientes tienen la ventaja de ser biodegradables; y en el momento de plantar, se puede o no dejar el recipiente (González, C. E., 2020).

Figura 31. Plantas de mangle en recipientes de bambú, en el Pacífico panameño.



Esta técnica también ayuda al establecimiento de la planta, al retener mejor el suelo para su crecimiento y mantener mejor la humedad; cuando es temporada seca y las mareas no llegan a mojar estos sitios.

Para la propagación de las especies en vivero, se utilizan propágulos de todas las especies cuando están disponibles (depende la temporada). Pero se utiliza más la técnica de trasplante directo de regeneración natural, con las especies de mangle negro (*Avicennia sp*), blanco (*Laguncularia racemosa*), botón (*Conocarpus erectus*) y especies asociadas. Con respecto a las especies de mangles rojos (*Rhizophora sp*), se hace por siembra directa de propágulo, en el recipiente de bambú en el vivero. En el primer mes, hay que mantener una resiembra constante, de la regeneración natural de las especies de mangle negro y blanco (*Avicennia sp* y *Laguncularia racemosa*); ya que estas especies sufren un 20% de mortalidad en el trasplante. Sin embargo, el mangle botón o botoncillo (*Conocarpus erectus*) presenta un 100% de sobrevivencia. Los mangles rojos (*Rhizophora sp*) también presentan un 100% de sobrevivencia (estas especies son por propágulos directo al recipiente del vivero). La altura promedio de la regeneración natural que se identificó en campo, es de 7.5 cm, lo que es equivalente a 3 pulgadas (Gonzales, C. E., 2020).

Las especies asociadas que se han trabajado en viveros desde la semilla,

como también por regeneración natural son: Moco de pavo (*Citharexylum*), *Cordia* (*Cordia spinescens*), Icaco comestible (*Cryobalanus icaco*) y Diablito (*Randia aculeata*), para el área del Atlántico. En el Pacífico, otras especies que se está trabajando —específicamente en el área de Azuero— son: Carne de venado (*Capparis cynophallophora*), Verdolaga (*Portulaca oleracea*) y Agallo (*Caesalpinia coriaria*).

Las recomendaciones de mantenimiento para los viveros, son las normales: mantener el riego según demanda de las plántulas; mantener el monitoreo fitosanitario, a través de la observación directa; mantener el replanteo cuando alguna plántula se muere; y hacer podas de raíces, si se observa que las raíces se salen de los recipientes de bambú del vivero.

Para la estructura, es necesario revisar las cuerdas que sirven de templadores; al igual que la madera, para constatar que no ha sufrido algún deterioro. Y si la malla sufre roturas, hay que coserla para evitar que se siga dañando.

A continuación, se describen las ventajas y desventajas.

Ventajas:

Ambientalmente más rentable
Recipientes de material biodegradable
Fácil de llenar
Se planta todo el cilindro
Almacena más nutrientes en campo
El recipiente se transforma en abono para la planta
Retención de suelo y la humedad.

Desventajas:

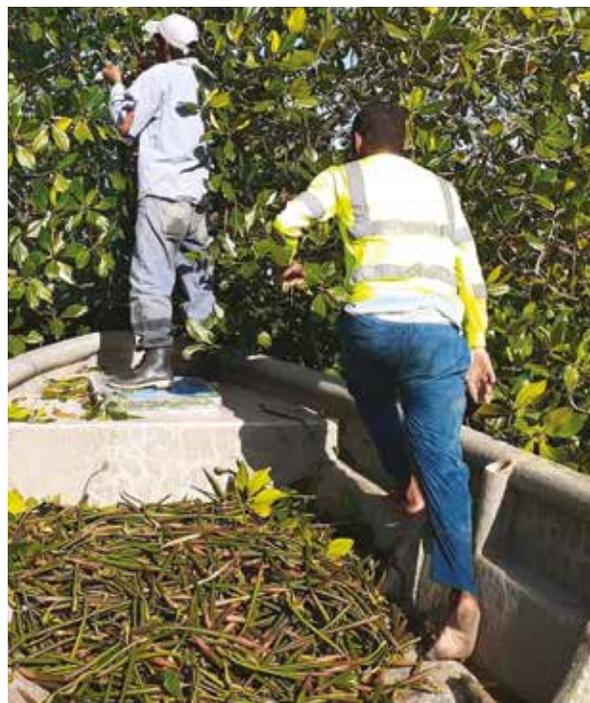
Más costoso (por los recipientes de bambú)
Conlleva mayor manejo, ya que se deben tapar los extremos de algunos recipientes de bambú antes de llenarlos
No todos tienen el mismo diámetro, por la forma de las mismas plantas del bambú.

3.3.2.1. Disponibilidad de propágulos de especies de mangle y semillas de especies asociadas

Los siguientes datos, son producto de la observación en campo por más de 10 años. Están basados en áreas del Pacífico y

Caribe panameño, como: el área protegida Bahía de Chame (provincia de Panamá Oeste) y la Bahía de Parita (entre la provincia de Coclé y Herrera), para el Pacífico; y para la región del Caribe, podemos destacar el área protegida Isla Galeta, y las comunidades de Viento frío y Miramar, de la Costa Arriba de Colón.

Figura 32. Recolección de propágulos de mangles rojos.



A continuación, se presentan datos específicos del periodo de fluctuación de ambas vertientes:

Cuadro 3. Fructificación de especies de mangle y especies asociadas, por vertiente en Panamá.

ESPECIE	PERÍODO	
	Pacífico	Caribe
<i>Rhizophora mangle</i>	junio - septiembre	septiembre - noviembre
<i>Rhizophora racemosa</i>	junio - septiembre	
<i>Avicennia bicolor</i>	julio - septiembre	
<i>Avicennia germinans</i>	agosto - octubre	agosto - octubre
<i>Laguncularia racemosa</i>	agosto - octubre	agosto - octubre
<i>Conocarpus erectus</i>	agosto - octubre	agosto - octubre
<i>Pelliciera sp.</i>	junio - septiembre	*
<i>Cynophallophora</i>	octubre - diciembre	
<i>Crysobalanus icaco</i>		febrero - abril
<i>Randia aculeata</i>		septiembre - noviembre
<i>Citharexylum caudatum</i>	noviembre - diciembre	agosto - octubre
<i>Caesalpinia coriaria</i>	noviembre - diciembre	

* En el Pacífico, el mangle Piñuelo está ampliamente distribuido. Mientras que en el Caribe, forman pequeños parches; reportados solamente en la provincia de Bocas del Toro y en Bahía Las Minas, ubicada en la provincia de Colón (ANAM-ARAP, 2013).

NOTA: Estos ciclos de fructificación pueden variar entre uno y dos meses, tanto en adelantarse como en retrasarse; dadas las variables de luminosidad en los sitios y las condiciones climáticas.

3.3.3. Técnicas de reforestación de manglares empleadas en Panamá

A continuación, se describen los métodos y técnicas de propagación de especies de mangle y especies asociadas, empleadas en el Caribe y Pacífico panameño.

3.3.3.1 Técnica de unidades pioneras de albinas (cajas productivas)

Esta técnica se utiliza para sitios mucho más degradados, los cuales han sido severamente intervenidos. También se aplica en áreas de manglares donde existe la paja puyuda (*Paricum* sp.) y sitios de albinas.

Estas unidades son cajas simples de madera, que sirven de soporte para las plántulas y mejoran el micro clima del sitio. Así se logra acelerar la reforestación de los sitios más degradados o sitios de mayor riesgo. Sus dimensiones son de 40 cm x 20 cm x 30 cm de altura, equivalente a 15.8 pulgadas x 11.8 pulgadas x 7.8 pulgadas de altura (Gonzales, C. E., 2020).

Las especies utilizadas en estas cajas productivas, dependen de las características del entorno donde se hará la reforestación. Pueden contener tanto especies de mangle como especies asociadas. Se puede citar como ejemplo, un sitio que está en proceso de restauración a través de rehabilitación hídrica. Estas cajas se pueden colocar de manera equidistante, a lo largo de los canales. Ellas mejoraran más rápido el entorno de los canales, por sus características físicas y la diversidad de especies que pueden contener. Pueden ser tanto especies de mangle, como *Conocarpus erectus* y *Avicennia germinans*; y especies asociadas, las cuales pueden ser Carne de venado (*Capparis cynophallophora*) o *Agallo* (*Caesalpinia coriaria*).

Estas unidades pioneras de albinas (cajas productivas), se rellenan con sustrato orgánico; preparado principalmente con desechos de establos de ganado vacuno. También se pueden utilizar otros sustratos, como el de los caballos, cerdos y gallinas, dependiendo de la disponibilidad del recurso. Y se combina en una relación de uno a uno (1:1), con tierra del área de manglares o albinas.

Con esta práctica del uso de abonos orgánicos, se están incorporando nutrientes naturales a los suelos degradados. Y con la utilización de este tipo de abono natural, se evita el uso de abonos químicos.

En estas unidades se puede sembrar o trasplantar todas las especies presentes en el sitio; y algunas plantas rastreras, que también sirven para el proceso de reforestación. La planta rastrera que se ha usado más en el Pacífico panameño es la *Portulaca oleracea*, también conocida como Verdolaga (Gonzales, C. E., 2020).

Esta técnica favorece la creación de mejores condiciones de suelos; y con esto, se mejora el intercambio de todos los elementos presentes en él. Ya que estas unidades retienen y sueltan poco a poco los nutrientes que llevan dentro, como resultado de la combinación de sustratos del sitio y los abonos orgánicos. Se recomienda colocar o instalar estas unidades, con una distancia entre ellas de 8 m a 10 m; de manera que se ubiquen en contra de la pendiente del sitio. Cuando las mareas entran a estos sitios, se da un intercambio de nutrientes; y una vez se mejora el suelo, otras especies pueden

llegar (proceso de sucesión ecológica). Las plantas que tienen las unidades, poseen un buen desarrollo en vivero; es por eso que en el campo, son fáciles de ubicar y se observa su rápido crecimiento. Las recomendaciones de mantenimiento para las cajas productivas de albinas, son las mismas que las de las plantas en el vivero, cuando se encuentran en desarrollo en esta etapa de crecimiento. Una vez son llevadas al campo, se les hace

Figura 33. Unidades pioneras (cajas productivas)



un monitoreo contante para poder ver su desarrollo. Y de ser necesario, en el primer año se les puede hacer riegos periódicos en la temporada seca; ya que, por ser cajas de madera, retienen por mucho más tiempo la humedad, con esto se garantiza la sobrevivencia de las plantas.

A continuación, se describen las ventajas y desventajas de la técnica.

Ventajas:

- Este sistema es de bajo costo
- Mayor aporte de sustrato a los suelos pobres
- Mayor cantidad y variedad de especies por unidad
- Rápido crecimiento en altura por alta competencia
- Acelera el establecimiento de las demás especies del sitio.

Desventajas:

- Más difícil de transportar
- Más sustrato por unidad
- Más difícil de instalar.

3.3.3.2 Método de siembra al voleo

Este método en general es de bajo costo. Su aplicación en el Pacífico panameño ha tenido buenos resultados, pero no se tienen registros de la aplicación en el Caribe.

Para usar este método, es importante conocer la fructificación de las especies de manglar a coleccionar y el ciclo de mareas de la zona a sembrar. Se recomienda hacer sus propias mediciones, en cuanto a la cantidad de propágulos por kilogramo. Así se puede determinar la cantidad de propágulos que se están esparciendo y qué efectividad pueda tener.

Esta es la forma de cuantificar los propágulos recolectados, de mangles negros y blancos (*Avicennia sp* y *Laguncularia racemosa*, respectivamente). Una vez se ha terminado de recolectar, se pesa un kilogramo de los propágulos. Luego se cuenta la cantidad. Así se puede pesar en tanques o cubos plásticos; y se hace la relación con una simple regla de tres, teniendo el cuidado de restar el peso del tanque que se ha utilizado para el pesaje.

Normalmente, para la especie de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) ha dado este resultado: 945 propágulos /Kg. Y en la especie de mangle negro: 770 propágulos /Kg. Esto puede variar, por el tamaño de los propágulos y si las cosechas son buenas o malas. Normalmente, se han distribuido un promedio de 14 kg/Ha de mangle negro (10,750 propágulos); y de mangle blanco, un promedio también de 14 kg/Ha (13,230 propágulos). Esto servirá para llevar un control de la restauración y poder cuantificar la actividad (Gonzales, C. E., 2020).

Este método de calcular el peso de los propágulos, se ha utilizado en el Pacífico de Panamá, en el área de Palangosta de Aguadulce, provincia de Coclé.

Para la siembra por voleo se ubican los jornaleros en línea y avanzan; y van tirando los propágulos por puñadas al suelo, en los sitios de reforestación. Este sistema aprovecha los canales previamente confeccionados; de esta manera, cumplen la función de retener los propágulos, cuando las mareas entran y salen (flujo y reflujo).

Para la aplicación de este método, hay que tener en cuenta las mareas de la temporada. De estas depende el éxito (en un 90%) de que el método sea efectivo, dado que las semillas o propágulos se esparcen una vez que pasa un aguaje grande (es decir, mareas extraordinarias) y esto pasa una vez al mes. En temporada seca, son más marcados estos agujajes; y pueden ser monitoreados antes de aplicar el método.

Otra variable a tener en cuenta, es la cosecha de propágulos y semillas de las especies de manglar. Este método es aplicable para las especies *Avicennia*. sp (mangle negro), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Pelliciera* sp (mangle torcido o piñuelo). Este método requiere poco mantenimiento, ya que su éxito depende de los mantenimientos de los canales y el buen flujo de las aguas, en los sitios donde se aplica. De ser necesario y se dispone de propágulos, se recomienda hacer replanteos; en áreas donde se nota poca cobertura de los propágulos regados o dispersados, por el método de siembra al voleo.

A continuación, se enlistan las ventajas y desventajas de la técnica.

Ventajas:

- Este sistema es de bajo costo
- Muchas más semillas o propágulos por hectárea
- Aplicándose correctamente en tiempo de cosecha y marea, es 100 % efectivo.

Figura 34. Propágulos de mangle negro (*Avicennia bicolor*), Pacífico panameño.



Desventajas:

- Sólo se aplica en áreas con especies de mangle negros, blancos y botón.

Sólo se aplica en temporada de cosecha, de propágulos de las especies de mangles negros, blanco, y semillas de botoncillo.

3.3.3.3 Método de siembra directa de propágulos

Este método es uno de los más conocidos para la reforestación de áreas de manglares y funciona muy bien, siempre y cuando se aplique correctamente; siguiendo varios criterios, como son los de recolección y clasificación de los propágulos.

Para los procesos de recolección de propágulos, se tienen identificados varios sitios, tanto en el Pacífico como en el Caribe panameño. Los cuales han servido durante más de 14 años, como sitios de recolección de propágulos de *Rhizophora sp* (mangles rojos); dadas sus características de rodales semilleros.

Los sitios del pacífico son: el área protegida Bahía de Chame, sitios de Monte Oscuro (Capira), El Aromo (provincia de Los Santos) y Los azules de Antón (provincia de Coclé). Y en el Caribe, el área protegida Isla Galeta, y las comunidades de Viento frío y Miramar, de la Costa Arriba de Colón.

El indicativo de madurez de los propágulos, es la presencia de una coloración marrón oscuro.

Aparece en la parte más gruesa del propágulo, misma parte que va hacia abajo cuando se siembra. Luego se hace una clasificación del material recolectado (Gonzales, C. E., 2020). Es recomendable que los propágulos recolectados, se conserven en un sitio con sombra y buena humedad, hasta que se lleven al área de reforestación.

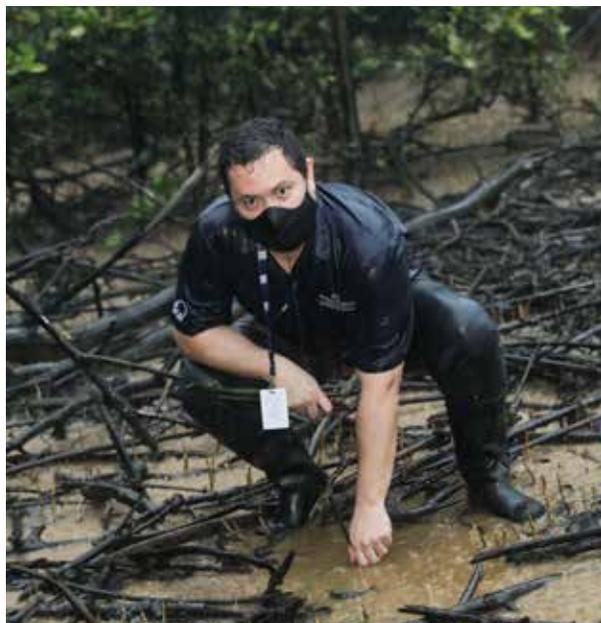
Para la siembra directa, se recomienda enterrar $\frac{3}{4}$ del tamaño del propágulo, más o menos. Esto es en el caso de las especies de *Rhizophora sp* (mangles rojos). Con este sistema, los distanciamientos entre plantas son de aproximadamente 2.0 m x 2.0 m; tratando de cubrir todo el sitio, homogéneamente. Esto da una relación de 2,500 propágulos por hectárea (ANAM, 2007).

Este método puede ser aplicado durante todo el año, de acuerdo a la disponibilidad de los propágulos. La especie *Rhizophora racemosa* (mangle caballero), puede encontrarse en cualquier época del año. Para la época seca, se recomienda identificar y sembrar en los sitios más bajos; es decir, sitios donde las mareas entran sin ningún problema, durante todo el año.

Una vez plantados todos los individuos necesarios, a través de los diferentes métodos de reforestación, se recomienda empezar el proceso de mantenimiento, seguimiento y monitoreo de la reforestación

Si al realizar las giras de campo, se observan sitios en donde los propágulos están muertos o fueron cortados por

Figura 35. Siembra directa de propágulos de mangle rojo.



cangrejos, se procede a programar una reposición de propágulos en el sitio. A continuación, se enuncian las ventajas y desventajas de esta técnica.

Ventajas:

- Este método es más económico
- Más rápido en cubrir área
- Aplica toda la temporada del año
- Más del 90% de germinación y prendimiento.
- En temporada de cosecha, es de rápida recolección y clasificación, con abundancia de propágulos o semillas.

Desventajas:

- Difícil de transportar
- Más cantidad de propágulos o semillas por área
- En temporada baja de cosecha, los propágulos o semillas son más difíciles de recolectar (Gonzales, C. E., 2020).

3.3.3.4 Método de siembra por trasplante a raíz protegida

Este método se empezó a emplear, ya que con el método tradicional “a raíz desnuda”, se tenía una tasa de mortalidad del 50%.

Desde los primeros ensayos con este método, se tuvieron buenos resultados, pues la sobrevivencia superaba el 95%.

Para este método, es necesario identificar los sitios con regeneración natural, cercanos a los sitios de reforestación. Luego se hace una previa clasificación de los individuos, tomando en cuenta algunas características: altura, cantidad de hojas, tipo de tallo y estado fitosanitario, entre otras. Una vez identificados los sitios, se procede a su recolección con palas y canastas. En este método se hacen los trasplantes con más de una planta; es decir, se trasplantan por grupos de dos, tres y hasta cinco plantas por hueco. Todas con sustrato en pilón, para que su raíz no se esponga a la intemperie. Este método es más aplicable para las especies *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinas* y *Pelliciera sp*; conocidas popularmente como mangle blanco, mangle negro y mangle piñuelo o torcido (Gonzales, C. E., 2020).

Figura 36. Plantas de mangle negro (*Avicennia germinans*), a raíz protegida.



Se recomienda mantener un monitoreo constante del comportamiento de los propágulos plantados. Este método es muy seguro; pero si hay mortalidad por diferentes razones, se hacen los replanteos de ser necesario. Seguidamente, se describen las ventajas y desventajas de esta técnica.

Ventajas:

- Más del 95% de prendimiento o sobrevivencia
- Plantas de más de 10 cm de altura y más de una planta por trasplante
- Rápido efecto visual
- Cada trasplante lleva dos o más plantas.

Desventajas:

- Es un proceso lento y difícil, porque conlleva plantas con todo y tierra

- Más costoso por carga y transporte
- Se debe capacitar al personal en el transporte y la extracción, para evitar el estrés a las plántulas.

3.3.3.5 Método de siembra de propágulos en tutores de bambú

Esta metodología de siembra y plantado en tutores de bambú, se puso en práctica por primera vez en el Caribe panameño, como variante de la técnica Riley (Riley y Salgado, 1999). Esto debido a las condiciones del sitio a reforestar, ya que la zona pasa más de seis meses inundada (entre junio y diciembre) con un nivel mayor a los 60 cm de agua (23.6 pulgadas). Y en los meses restantes, baja el nivel de agua y el suelo queda seco completamente, limitando el crecimiento de las plantas.

A través de los tutores de bambú, se logra elevar el nivel del suelo por encima del nivel inundación promedio del sitio; buscando la sobrevivencia del 100% de todos los propágulos sembrados. Se ensayó inicialmente con propágulos de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y luego se realizó en menos cantidades con *Laguncularia racemosa* (mangle blanco) y *Avicennia germinans* (mangle negro), usando propágulos y plántulas (Gonzales, C. E., 2020).

El método consiste en colocar tutores de bambú, de 1 a 1.5 metros de altura (equivalente a entre 39 y 59 pulgadas).

Las alturas dependen de los niveles de agua que se tengan en el sitio. Estas piezas de bambú son perforadas en sus nudos naturales, para formar un tubo que es enterrado en el suelo a un rango entre 0.50 m a 0.60 m de profundidad, más o menos (equivalente a entre 19 y 23 pulgadas). Luego, se rellena el cilindro de bambú con material de fango del mismo sitio. Hay que asegurarse de que todo el cilindro quede completamente lleno, sin ningún espacio de aire; para esto se recomienda, tratar de acomodarlo con una varilla fina de hierro o de madera, para compactar bien el mismo suelo dentro del cilindro.

Figura 37. Mangle rojo en tutores de bambú, en el Caribe panameño.



Para asegurar un mayor porcentaje de prendimiento o sobrevivencia, se recomienda llenar los cilindros dos días antes de ponerle los propágulos; dando tiempo suficiente para que el sustrato se acomode dentro del cilindro. En caso de que sea necesario, se pone un poco más de sustrato y se coloca el propágulo.

El distanciamiento entre los tutores de bambú, depende del sitio a reforestar y la disponibilidad de materia prima (en este caso, el bambú). En el Caribe panameño, se han utilizado distancias de 3 m entre plantas y 5 m entre líneas de reforestación, teniendo muy buenos resultados al final de 5 años de manejo.

Los tutores de bambú, tienen la finalidad de anclar y proteger al propágulo en la etapa de crecimiento; contra las corrientes y los depredadores que se presentan en el área de reforestación. Este método es recomendable para sitios que mantienen más temporadas inundadas; también en sitios con alto oleaje y donde los propágulos no se pueden establecer o anclar por sí solos. Se recomienda mantener el monitoreo constante de las piezas, más en la época seca. Se verifica su nivel de sustrato y de ser necesario se rellena de nuevo.

Igualmente, hay que revisar el propágulo para saber si está en buenas condiciones fitosanitarias; de no ser así, se reemplaza por otro o por una plántula ya nacida. A partir del segundo año, hay que tener mucho cuidado y observar, ya que en este tiempo empieza el fenómeno de pudrición del cilindro de bambú (González, C. E., 2020).

Se identifican y se marcan todos los tutores de bambú. Si observamos presencia de hormigas o termitas dentro del cilindro, se recomienda romper uno de los lados y así poder erradicar los insectos; o vaciar el cilindro, ya que su sistema radicular ya se encuentra agarrado del suelo natural. Una vez entra la temporada de lluvia, estos insectos se mueren por los efectos del periodo de inundación.

Estas son las ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Ambientalmente más rentable
- Fácil de instalar
- Son biodegradables
- Protegen la planta de depredadores
- Mantiene la humedad en temporada seca.

Desventajas:

- Más costoso por las piezas de bambú
- Dificultad para el transporte.

3.4 Vinculación y capacitación comunitaria para la restauración

Es necesaria la participación de los actores sociales de la localidad, donde se pretende implementar el proyecto de restauración ecológica de manglares; bajo el esquema de intervención comunitaria, que es el conjunto de acciones destinadas a promover el desarrollo de una comunidad, a través de la participación activa. Y, por lo tanto, pretende la capacitación y el fortalecimiento de la comunidad.

Las comunidades deben estar involucradas en los programas de restauración, desde las primeras etapas del proyecto. Y deben participar activamente en la planeación, implementación técnica, monitoreo y evaluación de las acciones de restauración. De esta manera, los diversos actores locales pueden formar parte del proceso (Rebellato, 2004; y Alejandro, 2004). Este ejercicio participativo, permitirá el empoderamiento social.

Un punto clave para la participación de las comunidades a nivel local, es fomentar el sentido de pertenencia. De este modo, cada persona involucrada en el proceso, puede sumar a través de su conocimiento y desde su lugar de acción.

Algunas actividades para promover la participación de las comunidades son:

1. Reuniones de socialización del proyecto: Es importante socializar e informar sobre el proyecto de restauración a realizar; tanto a las autoridades competentes, como a las instituciones (universidades, ONG's, colectivos, etc.), la comunidad del área de influencia y al público en general. Esto permite conocer su percepción, intercambiar opiniones y analizar observaciones o sugerencias.

2. Talleres de educación ambiental: La educación ambiental es una estrategia de gran valor, ya que orienta a los individuos y las comunidades sobre la comprensión de la complejidad del ambiente. Y permite que se adquieran los conocimientos, valores, actitudes y habilidades que facultan su participación de manera responsable, en la previsión de la problemática y el cuidado de los

humedales costeros (como los manglares). Para el desarrollo de los talleres, se recomienda programar varias sesiones, enfocadas a niños y adulto por separado.

3. Talleres de capacitación: Esta actividad, brinda conocimientos y habilidades a las personas de la comunidad, para conocer más de los recursos naturales y poder participar en los proyectos de restauración. La capacitación ambiental no debe ser un ejercicio meramente técnico; se debe conjugar con elementos de educación y sensibilización. La base principal es el dialogo de saberes y la interlocución que se puede generar, entre los distintos actores claves de estos procesos. La cantidad de talleres se planificará, de acuerdo con los objetivos particulares de cada proyecto de restauración.

Con el involucramiento y participación comunitaria, se busca crear conciencia sobre la conservación del recurso manglar, la apropiación del proyecto y el uso adecuado de los subsidios económicos de empleo temporal, en beneficio de sus familias.

3.5 ¿Cuándo se ha logrado la restauración de un ecosistema?

La recuperación completa se define, como el estado o condición en la que todas las categorías de los atributos ecosistémicos clave, se asemejan a aquellos modelos de referencia. Los niveles de recuperación buscados y alcanzados, deben ser identificados en los planes e informes del proyecto de restauración, respectivamente. De acuerdo con la Sociedad Internacional de Restauración Ecológica (SER, 2004), los ecosistemas restaurados deben tener una serie de atributos, que proveen una base para determinar cuándo se ha logrado la restauración. No es esencial la expresión total de todos estos atributos, para demostrar la restauración. En cambio, sólo se necesita que estos atributos demuestren una trayectoria apropiada de desarrollo ecosistémico, hacia la meta o la referencia deseada. Algunos atributos son fácilmente mensurables. Otros se tendrán que evaluar indirectamente, incluyendo la mayoría de las funciones de un ecosistema; las cuales no se pueden medir sin recurrir a investigaciones, que excederían la capacidad y el presupuesto de la mayoría de los proyectos de restauración. A continuación, se describen los atributos:

1. Albergar un conjunto característico de especies que habitan en el ecosistema de referencia; y que proveen una estructura apropiada de la comunidad.
2. Constar de especies autóctonas, hasta el grado máximo factible.
3. Tener todos los grupos funcionales necesarios, para el desarrollo y/o la estabilidad continua del ecosistema restaurado. Deben estar representados o tener el potencial de colonizar por medios naturales.
4. Que el ambiente físico tenga la capacidad de sostener poblaciones reproductivas, de las especies necesarias para la continua estabilidad o desarrollo, a lo largo de la trayectoria deseada.
5. Funcionar normalmente, de acuerdo con su estado ecológico de desarrollo y sin señales de disfunción.
6. Integración del paisaje, con el que interactúa a través de flujos e intercambios bióticos y abióticos.
7. Se han eliminado o reducido (tanto como sea posible) las amenazas potenciales del paisaje que lo rodea, para la salud e integridad del ecosistema.
8. Poseer suficiente capacidad de recuperación, como para aguantar los acontecimientos estresantes periódicos y normales del ambiente local.
9. Es autosostenible o tiene capacidad de auto-organización, al mismo grado que su ecosistema de referencia; y tiene el potencial de persistir indefinidamente, bajo las condiciones ambientales existentes.



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Lirio de manglar (*Crinum erubescens*)

- Para poder formular un proyecto de restauración, es necesario hacer un diagnóstico ambiental y determinar las causas de la degradación (ecología forense).
- Las acciones de restauración, deben ser formuladas para cada área en particular. Si bien es importante tener en cuenta las experiencias locales, los ecosistemas de manglar (debido a características como la topografía y el hidroperíodo) presentan condiciones específicas, que hacen de cada área un caso particular.
- La selección de las especies para restaurar, debe ser acorde a las condiciones ambientales de la zona; debido a que cada especie presenta una tolerancia diferente a la salinidad, inundación, intensidad de sol, etc.
- En todo proyecto de restauración, es indispensable desarrollar un programa de monitoreo de los indicadores de éxito, para llevar un seguimiento y conocer si las acciones de restauración están siendo eficaces.
- Si bien el objetivo de la restauración, es recuperar procesos estructurales y las funciones ecológicas de los ecosistemas de manglar, se debe considerar que la restauración es un proceso a largo plazo. Y formular proyectos a mediano y largo plazo.
- Es recomendable que los programas de restauración de manglares, tengan una estrategia de involucramiento comunitario; que permita la participación social, mediante un proceso continuo que incluya informar y escuchar a la población local.
- Fomentar la organización de las comunidades, o la creación de asociaciones y grupos de trabajo en torno al manglar, garantiza el éxito y sostenibilidad de los proyectos de restauración.
- Es importante trabajar en conjunto con el gobierno y las autoridades ambientales, durante todo el proceso de restauración.
- Los proyectos de restauración a largo plazo, generan múltiples beneficios ecosistémicos, como: calidad del agua, control de inundaciones, protección contra eventos climáticos y conservación de la biodiversidad. Además, brindan un apoyo para los medios de vida y el bienestar de las comunidades; y contribuyen al mejoramiento de la gobernanza de los recursos naturales.



5. REFERENCIAS

Bejuquilla (*Leptophis ahaetulla*)

Agraz, C. M. (1999). *Reforestación experimental de manglares en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de México.* Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Agraz-Hernández, C. M., García-Zaragoza, C., Iriarte-Vivar, S., Flores-Verdugo, F. J., & Moreno-Casasola, P. (2011). *Forest structure, productivity and species phenology of mangroves in the La Mancha lagoon in the Atlantic coast of Mexico.* *Wetlands Ecology and Management*, 19(3), 273–293 pp.

Alongi, D. M. (2008). *Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change.* *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1–13 pp.

Alongi, D.M. (2009). *The energetics of mangrove forests.* Springer Netherlands, 7-115 pp.

Amador-Del Ángel, L. E., Zaldívar-Jiménez, A., Endañú-Huerta, E., Pérez-Ceballos, R., & Guevara-Carrió, E. (2010). *Percepción ambiental de los habitantes de Isla Aguada, participantes en el Programa de empleo temporal para la restauración de manglares en el Estero de Bahamitas, Isla del Carmen, Campeche, México.* Proyecto "Integrated Assessment and Management of the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem". UNIDO-GEF, CINVESTAV, CICA-UNACAR, CONANP. 15 p.

Autoridad Nacional del Ambiente (2007). *Proyecto Conservación y repoblación de las áreas amenazadas del bosque de manglar del Pacífico panameño.* http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2457/Technical/Informe%20de%20Plan%20de%20Manejo_Version%202.pdf

Autoridad Nacional del Ambiente y Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (2013). *Manglares de Panamá: importancia, mejores prácticas y regulaciones vigentes.* 72 p. <https://lac.wetlands.org/publicacion/manglares-de-panama-importancia-mejores-practicas-y-regulaciones-vigentes/>

Arshad, M. A., Lowery, B., & Grossman, B. (1996) *Physical Tests for Monitoring Soil Quality*. In: Doran, J. W., & Jones, A. J., (Eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49, SSSA, Madison, WI, 123-142 pp.

Aspila, K. I., Agemian, H., Chau, A. (1976). *A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments*. In *Analyst*, (101), 187–197 pp.

Astier, M., Speelman, E. N., López-Ridaura, S., Masera, O. R., & González-Esquivel, C. E. (2011). *Sustainability indicators, alternative strategies and trade-offs in peasant agroecosystems: Analysing 15 case studies from Latin America*. *International Journal of Agricultural Sustainability*, (9), 409–422 pp.

Ball, M. C. (2002). *Interactive effects of salinity and irradiance on growth: Implications for mangrove forest structure along salinity gradients*. *Trees, Structure and Function*, (16), 126–139 pp.

Barbier, E. B., & Strand, I. (1998). *Valuing mangrove-fishery linkages: A case study of Campeche, México*. *Environmental and Resource Economics*, (12), 151-166 pp.

Barbier, E. B. (2000). *Valuing the environment as input: Review of applications to mangrove-fishery linkages*. *Ecological Economics*, (35), 47–61 pp.

Barendregt, A., & Swarth, C. W. (2013). *Tidal Freshwater Wetlands: Variation and Changes*. *Estuaries and Coasts*, 36(3), 445–456 pp.

Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (2000). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press, New York. *Ecology And Society*, 4(2), 19-20 pp.

- Berkes, F., & Jolly, D. (2001).** *Adapting to climate change: Social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community.* *Conservation Ecology*, 5(2): 18.
- Blanco, J. F., Estrada, E. A., Ortiz, L. F., & Urrego, L. E. (2012).** *Ecosystem-Wide Impacts of Deforestation in Mangroves: The Urabá Gulf (Colombian Caribbean) Case Study.* *International Scholarly Research Notices*, 1–14 pp.
- Blasco, F., Saenger, P., & Janodet, E. (1996).** *Mangroves as indicators of coastal change.* *Catena*, 27, 167–178 pp.
- Bosire, J. O., Dahdouh-Guebas, F., Walton, M., Crona, B. I., Lewis, R. R., Field, C., Koedam, N. (2008).** *Functionality of restored mangroves: A review.* *Aquatic Botany*, 89(2), 251–259 pp.
- Brown, S. (1997).** *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A primer.* FAO Forestry Paper, No. 134. Rome, Italy.
- Carter, R. W. G. (1988).** *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines.* Academic Press.
- Castañeda-Moya, E., Rivera-Monroy, V. H., & Twilley, R. R. (2006).** *Mangrove zonation in the dry life zone of the Gulf of Fonseca, Honduras.* *Estuaries and Coasts*, 29(5), 751–764 pp.
- Chen, R., & Twilley, R. R. (1999).** *A simulation model of organic matter and nutrient accumulation in mangrove wetland soils.* *Biogeochemistry*, 44(1), 93–118 pp.
- Coronado-Molina, C., Alvarez-Guillen, H., Day, J. W., Reyes, E., Perez, B. C., Vera-Herrera, F., & Twilley, R. (2012).** *Litterfall dynamics in carbonate and deltaic mangrove ecosystems in the Gulf of Mexico.* *Wetlands Ecology and Management*, 20(2), 123–136 pp.

Duke, N. C. (2020). *A systematic revision of the vulnerable mangrove genus Pelliciera (Tetrameristaceae) in equatorial America.* *Blumea*, 65(2), 107–120 pp.

Escudero, A., & Mediavilla, S. (2003). *Dinámica interna de los nutrientes.* *Ecosistemas*, 1(1), 1–8 pp.

Elster, C. (2000). *Reason for reforestation success and failure with tree mangrove species in Colombia.* *Forest Ecology and Management*, 131(1), 201-214 pp.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Conjunto de herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS).* Recuperado de <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/silviculture-in-natural-forests/basic-knowledge/es/>

Ferré, J., & Rius, F. X. (2002). *Introducción al diseño estadístico de experimentos.* *Revista Técnicas de Laboratorio*, 24(274), 648-653 pp.

Flores-Verdugo, F., Moreno-Casasola, P., Agraz-Hernández, M., López-Rosas, H., Benítez-Pardo, D., & Travieso-Bello, A. C. (2007). *La topografía y el hidroperíodo: Dos factores que condicionan la restauración de los humedales costeros.* *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 33–47 pp.

Franquet, J., & Gomez, A. (2010). *Nivelación de terrenos por regresión tridimensional.* Tortosa, 326 p. Retrieved from <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011b/967/index.htm>.

Friess, D. A. (2016). *“J.G. Watson, Inundation Classes, and their Influence on Paradigms in Mangrove Forest Ecology”.* *Wetlands*, (37), 603-613 pp.

Gonzales, C. E. (2020). *Metodología práctica para la restauración de ecosistemas de humedales.* Panamá, Editora Tania Marcela Erazo. Impreso en Colombia, 61 pp.

Gross, J., Flores, E. E., & Schwendenmann, L. (2013). *Stand Structure and Aboveground Biomass of a Pelliciera rhizophorae Mangrove Forest, Gulf of Montijo Ramsar Site, Pacific Coast, Panama.* *Wetlands*, 34(1), 55–65 pp.

Higgs, E. S. (1997). *What is Good Ecological Restoration?* *Conservation Biology*, 11(2), 338–348 pp. <http://www.jstor.org/stable/2387608>.

Hutchings, P., & Saenger, P. (1987). *Ecology of Mangroves.* University of Queensland Press, 1(1), 431–441 pp. <http://doi.org/10.1.1.968.773>.

Juman, A. R. (2005). *Biomass, litterfall and decomposition rates for the fringed Rhizophora mangle forest lining the Bon Accord Lagoon, Tobago.* *Revista de Biología Tropical*, 53(1), 207–217 pp.

Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). *Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems.* *Advances in Marine Biology*, 40, 81–251 pp.

Krauss, K. W., Doyle, T. W., Twilley, R. R., Rivera-Monroy, V. H., & Sullivan, J. K. (2006). *Evaluating the relative contributions of hydroperiod and soil fertility on growth of south Florida mangroves.* *Hydrobiologia*, 569(1), 311–324 pp. <http://doi.org/10.1007/s10750-006-0139-7>.

Kuenzer, C., Bluemel, A., Gebhardt, S., Quoc, T. V., & Dech, S. (2011). *Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review.* *Remote Sensing*, 3(12), 878–928 pp. <http://doi.org/10.3390/rs3050878>.

Legendre, P., & Legendre, L. (1988). *Numerical Ecology.* Elsevier. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Lewis, R. R., Milbrandt, E. C., Brown, B., Krauss, K. W., Rovai, A. S., Beever, J. W., & Flynn, L. L. (2015). *Stress in mangrove forests: Early detection and preemptive rehabilitation are essential for future successful worldwide mangrove forest management.* *Marine Pollution Bulletin*, 109(2), 764–771 pp. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.03.006>.

López-Rosas, H., & Tolome-Romero, J. (2009). *Medición del potencial redox del suelo y construcción de electrodos de platino.* En Moreno-Casasola, P., & Warner, B. (Eds.) *Breviario para describir, observar y manejar humedales.* RAMSAR, Instituto de Ecología A. C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department Xalapa, Ver. México. 131-138 pp.

Lovelock, C. E., Feller, I. C., McKee, K. L., & Thompson, R. (2005). *Variation in mangrove forest structure and sediment characteristics in Bocas del Toro, Panama.* *Caribbean Journal of Science*, 41(3), 456–464 pp.

Lugo, A. E., & Snedaker, S. C. (1974). *The Ecology of Mangroves.* *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5(1), 39–64 pp. <http://doi.org/10.1146/annurev.es.05.110174.000351>.

Margalef, R. (1992). *Ecología.* Barcelona: Editorial Planeta.

McDonald, T., Gann, G.D., Jonson, J., & Dixon, K. W. (2016). *International standards for the practice of ecological restoration – Including principles and key concepts.* Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.

McKee, K. L. (1995). *Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: Effects of establishment ability and physico-chemical factors.* *Oecologia*, 101(4), 448–460 pp. <http://doi.org/10.1007/BF00329423>.

Milian, P. C. (1997). *Restauración de ecosistemas de manglar en Cuba: Estudio de caso de Provincia Habana, Cuba.* En Field, C. (Ed) *Restauración de ecosistemas costeros de manglar.* OITM y ISME. Managua, Nicaragua. 176 p.

Ministerio de Ambiente de Panamá (2018). *Política Nacional de Humedales y Plan de Acción Panamá.* Ciudad de Panamá, 72 p.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (1993). *Wetlands (2nd ed.).* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). *The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting.* *Ecological Economics*, 35(1), 25-33 pp.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2009). *Wetlands (5th ed.).* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Monroy-Torres, M., Flores-Verdugo, F., & Flores-de-Santiago, F. (2014). *"Growth of three subtropical mangrove species in response to varying hydroperiod in an experimental tank".* *Ciencias Marinas*, 40(4), 263–275 pp. <http://doi.org/10.7773/cm.v40i4.2455>.

Morlans, M. C. (2006). *Introducción a la ecología de poblaciones.* Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca.
<https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Morlans-2004.pdf> .

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SCT4, 2013, *Terminología Marítima-Portuaria.* Diario Oficial de la Federación (Segunda Sección) de los Estados Unidos Mexicanos, Ciudad de México, Martes 4 de marzo de 2014.

Odum, W. E., McIvor, C. C., & Smith III, T. J. (1982). *The Ecology of the Mangroves of South Florida: A Community Profile*. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington, D.C. 144 pp.

Orem, W. H & Bates, A. (2013). *Characterization of sulfur forms and isotopic compositions in wetland soils*. En: DeLaune, R.D., Reddy, K.R., Richardson, C.J., Megonigal, J.P. (Eds.) *Methods in Biogeochemistry of wetlands*. Soil Science Society of America, Madison.

Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. (1984). *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Nueva York.

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 pp. <http://doi.org/10.7773/cm.v43i1.2683>.

Quinn, G., & Keough, J. M. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge. <https://www2.ib.unicamp.br/profs/fsantos/apostilas/Quinn%20&%20Keough.pdf>

Reddy, K. R., & DeLaune, R. D. (2008). *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. Taylor & Francis Group. 757 pp.

Riley, R. W., & Salgado, C. P., (1999). *Riley encased methodology: Principles and processes of mangrove habitat creation and restoration*. *Mangrove and Salt Marshes*, 3(4), 207-213 pp

Rodríguez-Zúñiga, M. T., Villeda Chávez, E., Vázquez-Lule, A. D., Bejarano, M., 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.

Romero-Berny, E. I., & Tovilla-Hernández, C. (2009). *Estructura del manglar en el sistema lagunar costero de Carretas-Pereyra, reserva de la biósfera La Encrucijada, Chiapas, México.* *Lacandonia*, 3(1), 19-28 pp.

Saenger, P. (1997). *Restauración de manglares en Australia.* Estudio de caso del Aeropuerto Internacional de Brisbane. In: Field, C. (Ed.) *Restauración de ecosistemas costeros de manglar.* OITM y ISME. 37-55 pp.

Sánchez-Páez, H., Ulloa-Delgado, G. A., Tavera-Escobar, H. A. (2004). *Manejo integral de los manglares por comunidades locales - Caribe de Colombia.* Bogotá, Ministerio del Medio Ambiente. 335 pp.

Schaeffer-Novelli, Y., Cintrón-Molero, G., Adaime, R. R., & de Camargo, T. M. (1990). *Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast.* *Estuaries*, 13(2), 204–218 pp. <http://doi.org/10.1007/BF02689854>.

Secretaría de la Convención de Ramsar (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971).* 4ta. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf.

Serrada, R. (2003). *Regeneración natural: Situaciones, concepto, factores y evaluación.* Cuadernos de la Sociedad Española De Ciencias Forestales, (15). <https://doi.org/10.31167/csef.v0i15.9313>.

Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (1996). *Manual para la Descripción y Evaluación Ecológica de Suelos en el Campo*. Chapingo, México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Publicación Especial, 4, 57 p.

Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas (2004). *Principios de SER International sobre la restauración ecológica*. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Spalding, M., Kaimuna, M., & Collins, L. (2010). *Atlas mundial de los manglares*. Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) y Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglares (IMSE). Malasia, 319 p.

Tomlinson, P. B. (1986). *The Botany of Mangroves*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Twilley, R. R., Gottfried, R. R., Rivera-Monroy, V. H., Zhang, W., Armijos, M. 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(4), 271–288 pp. [http://doi.org/10.1016/S1462-9011\(98\)00012-4](http://doi.org/10.1016/S1462-9011(98)00012-4).

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 (Special Issue N° 40)*, 79–93 pp. <http://doi.org/10.2307/25736617>.

Ulloa, G., Sánchez, H., Gil, W., Pino, J., y Álvarez, R. (1998) *Conservación y uso sostenible de los manglares del Caribe colombiano*. Bogotá: Ministerio de Ambiente.

Vargas-Ríos, O. (2011) *Restauración ecológica: biodiversidad y conservación*. Acta Biológica Colombiana, 16(2), 221-246 pp.

Vélez, F., & Polania, J. (2007). *Estructura y dinámica del manglar del delta del río Ranchería, Caribe colombiano*. Revista de Biología Tropical, 55(1), 11–21. pp.

Woodroffe, C. D. (1992). *Mangrove sediments and geomorphology*. In Robertson, A. I., & Alongi, D. M. (Eds.) *Tropical Mangrove Ecosystems*, 7-41 pp.

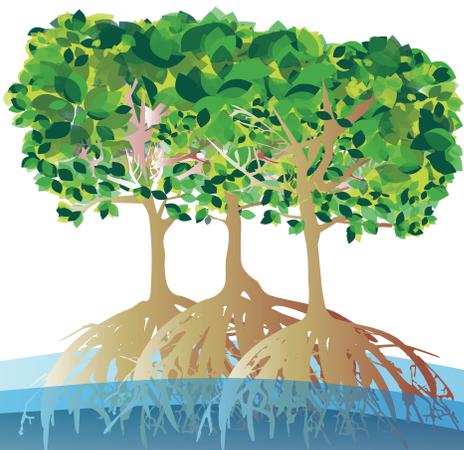
Young, J. S., Ammon, E. M., Weisberg, P. J., Dilts, T. E., Newton, W. E., Wong-Kone, D. C., & Heki, L. G. (2013). *“Comparison of bird community indices for riparian restoration planning and monitoring”*. Ecological Indicators, 34, 159–167 pp. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.05.004>.

Zaldívar-Jiménez, A., Herrera-Silveira, J. A., Teutli-Hernández, C., Comín, F. A., Andrade, J. L., Coronado-Molina, C., & Pérez Ceballos, R. (2010). *Conceptual Framework for Mangrove Restoration in the Yucatán Peninsula*. Ecological Restoration, 28(3), 333-342 pp.

Zaldívar-Jiménez, A., Ladrón De Guevara-Porras, P., Pérez-Ceballos, R., Díaz-Mondragón, S., & Rosado-Solórzano, R. (2017). *“US-Mexico joint Gulf of Mexico large marine ecosystem-based assessment and management: Experience in community involvement and mangrove wetland restoration in Términos lagoon, Mexico”*. Environmental Development, 22, 206-213 pp.



Propágulo de mangle piñuelo (*Pelliciera* sp.)



REPÚBLICA DE PANAMÁ
GOBIERNO NACIONAL

MINISTERIO DE
AMBIENTE

AUTORIDAD DE LOS RECURSOS
ACUÁTICOS DE PANAMÁ

CONSERVACIÓN
INTERNACIONAL
Panamá

Wetlands
INTERNACIONAL

PN
UD
Al servicio
de las personas
y las naciones

Cuidemos nuestros manglares, ellos nos protegen.

Con el apoyo de

PROGRAMA REGIONAL REDD

Reducción de Emisiones de la Deforestación y
Degradación de Bosques en Centroamérica y
República Dominicana



giz

CCAD
CENTRO AMERICANO DE COLABORACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA

SICA
COMISIÓN CENTRAL DE AMÉRICA

AZUERO
Sostenible

AUDUBON
PANAMA

Financiado por el
Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial y el Banco de América Latina
Operado por el Centro de Estudios y Asesoría de la Universidad de Panamá