

4 Anexo 4. Guía de restauración de ecosistemas de manglar en Colombia¹⁰

4.1 ¿Qué es y qué pretende el GREM?

Si bien, la “Guía de restauración de ecosistemas de manglar en Colombia – GREM” no constituye una “receta” para la restauración del manglar, dadas las múltiples tensiones que los afectan y la diversidad de condiciones ambientales que se pueden encontrar en cada uno de ellos (condiciones de sitio), brinda un conjunto de lineamientos de fácil aplicación y consulta por parte de las autoridades ambientales, entes territoriales regionales y locales, instituciones privadas, así como personas naturales, que requieran adelantar acciones de restauración ecológica en el manglar.

4.2 ¿Cuál es su alcance?

El GREM está diseñado para facilitar la selección y priorización de áreas de manglar con potencial de restauración, para identificar los tensionantes que alteran a los ecosistemas de manglar y para proporcionar herramientas técnicas necesarias para la evaluación, diseño, implementación y seguimiento de un proyecto de restauración ecológica de manglar, focalizado en la eliminación o mitigación de tensiones con el fin de lograr y facilitar la reactivación de la regeneración natural.

4.3 Estructura del GREM

El GREM consta de nueve pasos sucesivos agrupados en la “identificación y priorización previa” (Pasos 1 al 3), “implementación de acciones” (Paso 4), “evaluación” (Pasos 5 y 6), “aceleración del proceso” (Pasos 7 y 8) y “monitoreo” (Paso 9) (Figura 1), que en conjunto ofrecen los lineamientos necesarios para implementar acciones de restauración ecológica en los manglares del país, diseñados a partir del análisis de las causas del deterioro y de la gran capacidad que tienen los ecosistemas de manglar de autorrenovarse (resiliencia).

¹⁰ Documento construido por Villamil (2014) en el marco Convenio de asociación No. 156 de 2014 suscrito entre el Minambiente y ASOCARS.

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016

El GREM contempla desde los aspectos técnicos necesarios para la identificación de las áreas de manglar con potencial de restauración en el país, hasta la descripciones detalladas de las acciones de restauración ecológica, considerando la identificación, priorización y mitigación de tensores, la ecología de las especies de mangle, la evaluación de las condiciones ambientales que son determinantes en los procesos de regeneración natural, y algunas formas de favorecer el reclutamiento en las áreas de restauración ecológica.

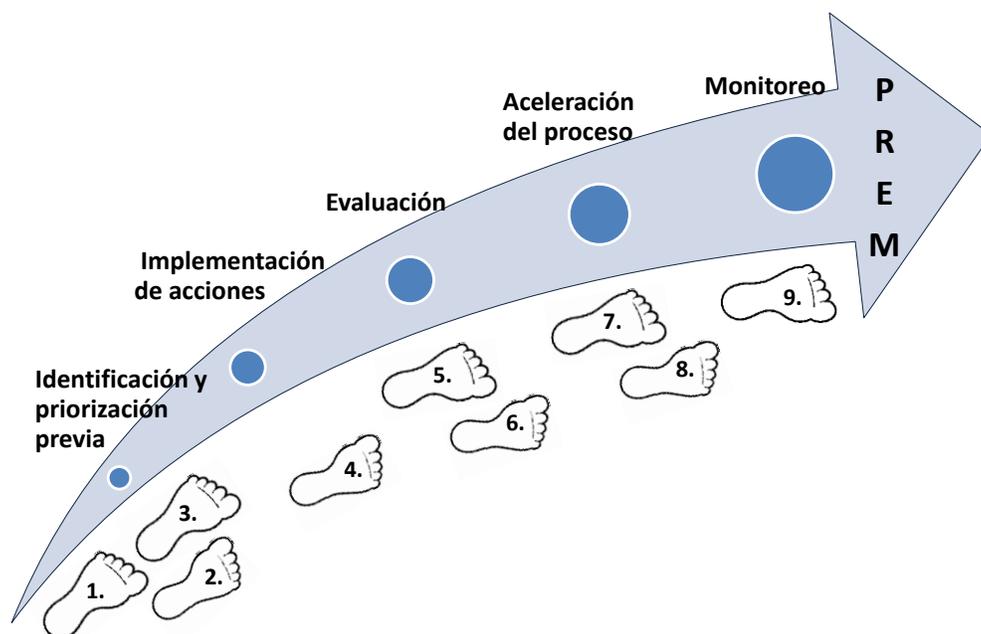


Figura 1. Estructura de la “Guía de Restauración Ecológica de Manglares en Colombia – GREM

4.4 Pasos del GREM

Durante todo el proceso de restauración ecológica de manglares se debe contar con la participación y aceptación de las comunidades y usuarios del ecosistema, no debe limitarse su participación solamente a la implementación del proyecto. Ellos son fundamentales desde el momento mismo de la identificación y priorización de los tensores y de los bienes, servicios y productos a restaurar, ya que serán los beneficiarios directos del ecosistema restaurado, además su conocimiento del área y

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



su experiencia empírica será fundamental durante el desarrollo de acciones de restauración activa y monitoreo. De este modo se tendrá mayor probabilidad de éxito en los proyectos de restauración ecológica.

Los lineamientos propuestos para desarrollar proyectos de restauración ecológica en el manglar constan de:

- Seleccionar y priorizar áreas con potencial de restauración.
- Identificar los tensionantes que causaron la degradación del ecosistema, especialmente los que impidan los procesos de regeneración natural.
- Priorizar los tensionantes que impactan los ecosistemas de manglar.
- Desarrollar las acciones para eliminar o mitigar los tensores priorizados que impactan el manglar objeto de restauración.
- Evaluar de forma periódica los factores ambientales que regulan y controlan la distribución y establecimiento de los propágulos y el desarrollo del bosque (monitoreo condiciones ambientales).
- Evaluar periódicamente los procesos de reclutamiento y regeneración natural después de la eliminación del tensor (monitoreo regeneración natural). Es necesario conocer la ecología de las especies de mangles que reclutan, sus patrones de reproducción, la distribución de propágulos y el éxito de establecimiento de plántulas.
- Favorecer los procesos de regeneración natural.
- Implementar acciones de restauración activa, si la regeneración natural no ocurre.
- Monitoreo de las acciones de restauración implementadas.

4.4.1 Paso 1. Selección y priorización de áreas con potencial de restauración

Al momento de seleccionar las áreas para iniciar acciones de restauración ecológica, es importante hacer un diagnóstico y caracterización del área de estudio, de tal modo que se obtenga amplio conocimiento de sus requerimientos ecológicos generales, la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema preexistente, el grado de alteración de la hidrología, las respuestas a los factores que lo tensionan, sus particularidades en los diferentes territorios, regímenes de marea, aportes de agua dulce, estrategias regenerativas y adaptativas de las especies vegetales que

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

lo conforman, los factores que afectan los patrones de producción, dispersión y establecimiento de propágulos, distribución de las especies en el tiempo y en el espacio, los tipos de interacción entre las especies, la importancia de las épocas climáticas durante la asistencia y desarrollo de las especies, aspectos físicos y químicos del agua y el sedimento, aspectos topográficos, entre otros (Barrera & Valdéz, 2007).

A través del convenio interadministrativo Invermar y el Minambiente (Invermar, 2014), se elaboró un portafolio donde se identificaron y priorizaron las áreas de manglar del país que tienen potencial de restauración. En ese estudio se diseñó un método de análisis anidado, donde a través de una batería de indicadores, previamente seleccionados en cada uno de tres componentes, se filtró la selección de las áreas de interés.

El primer componente corresponde al estado actual, referido a la evaluación de la salud del ecosistema desde el punto de vista de su integridad ecológica, evidenciando la necesidad de restauración; con el segundo componente se define la viabilidad de la restauración, mediante la identificación y evaluación de las posibilidades de eliminación o mitigación de tensores causantes del deterioro del ecosistema. Por último, el tercer componente involucra los servicios ecosistémicos que se pretenden recuperar, y permite priorizar las áreas identificadas en los componentes anteriores (Figura 2).

Si bien, las áreas previamente priorizadas en el portafolio (Invermar, 2014) fueron definidas a partir de criterios netamente técnicos, lo que lo convierte en una herramienta excelente para facilitar la selección de los manglares con potencial de restauración, es recomendable que al momento de seleccionar las áreas reales de manglar para iniciar acciones concretas de restauración, se consideren adicionalmente los siguientes criterios, los cuales hacen referencia principalmente a una combinación de factores abióticos, bióticos y humanos (Vargas, Reyes, Gómez, & Díaz, 2010):

- Accesibilidad de los sitios. Las facilidades logísticas son de gran importancia para garantizar el éxito del proyecto, de este modo se pueden reducir costos. Se debe contar con facilidades para el transporte de los materiales necesarios, para el acceso durante el proceso de restauración, para emprender acciones de participación y educación y para la fase de monitoreo.

- Identificación de bienes, servicios y productos ambientales con interés comunitario. Es importante que se discuta con la comunidad los sitios prioritarios para restaurar.
- Evaluar los gradientes ambientales, los aspectos relacionados con el régimen hidrológico y los aspectos físicos y químicos del agua y el sedimento.
- Evaluar con todos los actores involucrados las actividades humanas, buscando la mayor compatibilidad posible con el proyecto.
- Evaluar si hay especies invasoras en el sitio o en los alrededores.
- Evaluar los costos totales del proyecto, incluyendo la fase de monitoreo de las acciones implementadas.



Figura 2. Proceso metodológico para la identificación de áreas prioritarias; fuente (Invemar, 2014)

4.4.2 Paso 2. Identificar los tensionantes que causaron la degradación del ecosistema, especialmente los que impidan los procesos de regeneración natural.

Con base en el diagnóstico del estado actual de los manglares del país (Invemar, 2013), se caracterizaron treinta y tres tensores relacionados con la degradación y pérdida de los manglares en Colombia, los cuales en su mayoría (37%) son consecuencia por cambios en el uso del suelo a

partir del desarrollo urbano, agropecuario e industrial. El resto de tensores son ocasionados por la demanda de recursos maderables, hidrobiológicos, faunísticos, florísticos y minerales diversos (18%); originados por fenómenos naturales permanentes u ocasionales (18%); por vertimientos accidentales de contaminantes orgánicos e inorgánicos (18%); y por la combinación entre cambios en el uso del suelo y fenómenos naturales (9%) (Tabla 4).

Tabla 4. Problemáticas y tensores priorizados en los ecosistemas de manglar colombianos

Problemática	Tensor	Caribe	Pacífico
Cambios en el uso del suelo	Cambio en la dinámica hídrica		
	Construcción y adecuación de muelles. Infraestructura portuaria		
	Construcción de carreteras		
	Construcción y funcionamiento de empresas camaroneras y acuícolas		
	Construcción y operación de represas, hidroeléctricas		
	Expansión frontera agrícola y pecuaria		
	Expansión frontera urbanística y turismo no planificado		
	Minería		
	Expansión cultivos ilícitos.		
	Conflictos sociales y de tenencia de tierras.		
	Deforestación de cuencas		
Potrerización, parcelación y loteo.			
Cambios en el uso del suelo / Fenómenos naturales	Incremento de la cuña salina		
	Formación de salitrales		
	Hipersalinización		
Contaminación	Contaminación por residuos sólidos		
	Contaminación por hidrocarburos		
	Contaminación por vertimientos de aguas servidas		
	Contaminación por vertimientos agrícolas y pecuarios		

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
 Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
 Bogotá, Colombia

Continuación Tabla 4. Problemáticas y tensores priorizados en los ecosistemas de manglar colombianos

Problemática	Tensor	Caribe	Pacífico
	Contaminación por cultivos ilícitos		
Contaminación	Contaminación residuos químicos mineros.		
Extracción de recursos	Tala selectiva e intensiva		
	Tala del bosque para producción de carbón.		
	Sobreexplotación de recursos hidrobiológicos		
	Uso inadecuado de artes de pesca		
	Extracción de arena y gravilla de las playas		
	Extracción de sal (artesanal e industrial).		
Fenómenos naturales	Herbivoría, infestación por parásitos		
	Erosión costera.		
	Tormentas, fuertes vientos		
	Sedimentación de bocanas y fondos estuarinos;		
	Escasez de fuentes de agua dulce, déficit hídrico		
	Incendios forestales		

Existen diversas técnicas para identificar en campo los tensores descritos. En primera instancia, los tensores relacionados con el cambio en el uso del suelo deben ser identificados y cuantificados preferiblemente mediante análisis de la dinámica espacial y temporal de las coberturas de interés, a partir de la interpretación de sensores remotos. En ocasiones, los análisis multitemporales incluidas en la herramienta Google Earth son suficientes para identificar este tipo de tensores. Se debe tener en cuenta que en este paso no es necesario saber con exactitud el área total perdida, sino tener una aproximación general del deterioro.

Por su parte, los tensores relacionados con los fenómenos naturales, en la mayoría de los casos son evidentes en la estructura del bosque, en los sedimentos o en el agua superficial e intersticial, ocasionando efectos como: floración y fructificación precoz como respuesta al estrés hídrico o salino, defoliación, muerte del arbolado, volcamiento de individuos, enfermedades e infestaciones,

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



formación de costras salinas en el sustrato o en tronco de los árboles, incremento de la salinidad en aguas y sedimentos, déficit hídrico, cambio en la dinámica hídrica, entre otras.

Los efectos de la contaminación pueden ser visibles también en la vegetación principalmente por defoliación, muerte del arbolado, enfermedades, pero es aún más evidente por mortandades importantes de la fauna acompañante, especialmente la fauna sésil o de baja movilidad. En ocasiones se puede percibir fácilmente en cuerpos de agua o en sedimentos, a partir de cambios de color del agua o sedimentos, olores fuertes y característicos de cada contaminante, y manchas oleosas, entre otros.

Finalmente, los efectos por extracción de recursos solo son evidentes en campo durante o después del evento, siendo visibles en los componentes bióticos y/o físicos del ecosistema.

4.4.3 Paso 3. Priorización de los tensionantes que impactan el manglar

En este paso se analizan todos los tensores y problemáticas de origen natural y antrópico que alteran la composición, estructura o función del ecosistema de manglar, y que en consecuencia pueden reducir la cantidad y calidad de los bienes y servicios que ofrecen. El objetivo es priorizar a partir de un análisis de causalidad los tensores que tienen mayores impactos en el ecosistema, en la mayoría de las ocasiones, solo eliminando el tensor priorizado, hace que otros desaparezcan o disminuyan la tensión.

Una de las formas más sencillas y efectivas para desarrollar este análisis es con la “*Matriz de Vester*”; que es una herramienta diseñada para clasificar las tensiones como activas, críticas, pasivas o indiferentes, según el grado de causalidad, efectos del tensor y sus posibles relaciones con el resto de tensores identificados (Cardenas & Godoy, 2008).

La matriz de Vester es un arreglo de filas y columnas donde se ubican en los dos sentidos y en un mismo orden todos los tensores identificados en el ecosistema de manglar que se quiere restaurar. El proceso de llenado de la matriz de Vester es el siguiente:

- Elaborar una lista con los tensores identificados, numerados de forma sucesiva.

- Conformar la matriz correspondiente (filas y columnas) con los respectivos números de cada tensor ordenados tanto en las filas como en las columnas.
- Asignar una valoración de orden categórico al grado de causalidad (0 = no es causa, o se contrasta consigo mismo; 1 = es causa indirecta; 2 = es causa medianamente directa; 3 = es causa muy directa) que merece cada tensor al contrastarlo con los demás. Para asignar el valor se debe preguntar: ¿qué grado de causalidad tiene el problema 1 sobre el problema 2?; ¿qué grado de causalidad tiene el problema 1 sobre el problema 3?; ¿qué grado de causalidad tiene el problema 1 sobre el problema enésimo? Este proceso de llenado se realiza en la primera fila, y así sucesivamente en cada una de las mismas, hasta llenar horizontalmente todas las celdas de la matriz con los valores respectivos.

Los puntajes son consignados en la matriz (Figura 1), y el resultado de la sumatoria de cada fila y columna se grafica en un plano de coordenadas cartesianas, cuya escala es definida a partir de los mayores y menores valores obtenidos en las sumatorias de las filas y las columnas. Una vez definida la escala se divide el plano cartesiano en dos, tanto en el eje X como en el eje Y, teniendo como resultado cuatro cuadrantes. En el eje horizontal se representa el total activo y en el eje vertical se representa el total pasivo (Figura 1) (Holguín, y otros, 2006).

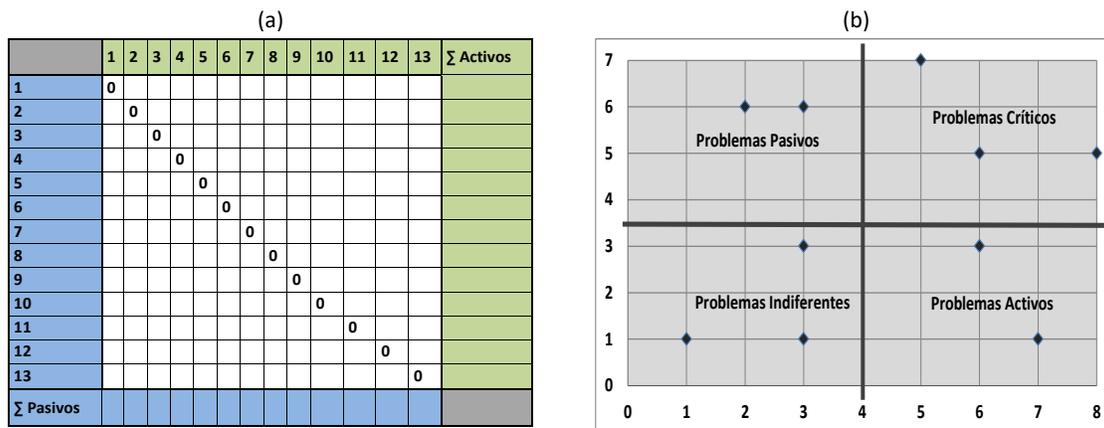


Figura 3.(a) Matriz de Vester. Los números que encabezan las filas y las columnas corresponden a los problemas identificados; el cero (0) indica que no hay relación causal. (b) Plano cartesiano donde se grafican los resultados de la sumatoria de las filas (activos) y columnas (pasivos) resultante de la matriz de Vester.

sin determinar por qué no se ha producido una regeneración natural del bosque, lo cual a menudo resulta en un fracaso con grandes pérdidas de dinero y de credibilidad en las instituciones.

Para fines prácticos, los tensores identificados en el Paso 2 se agruparán con base en los posibles efectos generados en los ecosistemas de manglar del país (Tabla 5), de tal modo que se puedan listarse y posteriormente describirse cada una de las acciones que deben implementarse para eliminarlos o mitigarlos. Adicionalmente, solo se analizarán los tensores que tengan viabilidad real de ser eliminados o mitigados.

Tabla 5. Definición de las acciones de restauración ecológica para mitigar los tensores y sus efectos en los manglares de Colombia.

Tensor	Efectos	Acción
Construcción de obras civiles Deforestación de cuencas Sedimentación de bocanas y fondos estuarinos Escasez de fuentes de agua dulce	Cambio en la dinámica hídrica Pérdida de cobertura Degradación del bosque Sedimentación de cuerpos de agua Salinización de aguas y sedimentos Déficit hídrico	Rehabilitación hidrológica Ajuste de la micro-topografía
Incremento de la cuña salina Formación de salitrales Hipersalinización	Pérdida de cobertura Degradación del bosque Salinización de aguas y sedimentos Déficit hídrico	Rehabilitación hidrológica
Tala selectiva e intensiva Tala del bosque para producción de carbón Tormentas, fuertes vientos Incendios forestales	Degradación del bosque Pérdida de cobertura Pérdida de biodiversidad Apertura de claros	Elaboración de plan de manejo Trabajo con comunidades
Sobreexplotación de recursos hidrobiológicos Uso inadecuado de artes de pesca	Disminución de recursos hidrobiológicos Pérdida de biodiversidad	Elaboración de plan de manejo Trabajo con comunidades
Construcción y funcionamiento de camaroneras	Cambio en la dinámica hídrica Pérdida de cobertura Degradación del bosque Sedimentación de cuerpos de agua Eutrofización, aumento de nutrientes (contaminación orgánica)	Eliminación de barreras y diques
Expansión frontera agrícola y pecuaria Expansión frontera urbana y turismo no planificado Conflictos sociales y de tenencia de tierras Potrerización, parcelación y loteo	Cambio en la dinámica hídrica Pérdida de cobertura Degradación del bosque Sedimentación de cuerpos de agua Compactación de suelos	Restricción de ingreso para el ganado (cerramiento) Elaboración de plan de manejo Expropiación de terrenos Eliminación de barreras físicas

Continuación Tabla 5. Definición de las acciones de restauración ecológica para mitigar los tensores y sus efectos en los manglares de Colombia.

Tensor	Efectos	Acción
Contaminación por residuos sólidos Contaminación por hidrocarburos Contaminación por vertimientos de aguas servidas Contaminación por vertimientos agrícolas y pecuarios Contaminación residuos químicos mineros	Deterioro en la salud del ecosistema Pérdida de biodiversidad Eutrofización, aumento de nutrientes (contaminación orgánica)	Aislamiento y remoción del material contaminante Evaluación de la calidad de aguas y sedimentos Evaluación de la regeneración natural

4.4.4.1 Rehabilitación hidrológica

Dado que los manglares son ecosistemas acuáticos marino-costeros y se ubican en la franja intermareal, bordeando bahías, lagunas costeras, estuarios, deltas y desembocaduras de ríos, su desarrollo y supervivencia depende en gran medida de las condiciones hídricas locales. La arquitectura de los manglares, es determinada principalmente por la magnitud y la frecuencia de acción de numerosos factores que operan como subsidios energéticos (Snedaker & Pool, 1973), entre ellos se encuentran las mareas, la salinidad, las corrientes fluviales con aportes de nutrientes, la periodicidad de las inundaciones, las características edáficas y la topografía (Cintrón & Schaeffer, 1983; McKee, 1993), que en conjunto determinan el desarrollo estructural, la zonación, la composición y la abundancia de individuos (Tomlinson, 1986).

La hidrología es una de las variables más importantes para la conservación y restauración de manglares, y en particular el flujo hídrico (hidroperiodo), el cual está determinado por la frecuencia, la duración y el nivel de inundación (Herrera, 2012). Debido a que con proyectos de restauración ecológica de manglares se busca propiciar la regeneración natural, los flujos hídricos cobran gran importancia ya que regulan los procesos de producción y dispersión de propágulos y favorecen condiciones físicas ambientales como temperatura y salinidad intersticial a partir de lavados de suelos.

Uno de los principales efectos observables que tienen las alteraciones del flujo hídrico sobre los ecosistemas de manglar, tiene que ver con el incremento en la salinidad. Si bien, los manglares presentan una marcada tolerancia a la salinidad, la complejidad estructural y la capacidad de

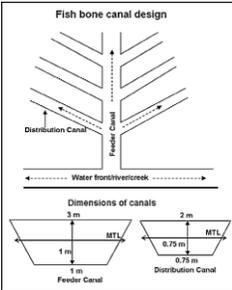
regeneración natural pueden estar comprometidas con altas concentraciones de sal. Los manglares exhiben su mayor desarrollo estructural en áreas con salinidad intersticial entre 5 a 30, no obstante, pueden formar rodales de pobre crecimiento en ambientes con salinidad entre 50 a 65, y construir formaciones achaparradas y raquílicas en ambientes con salinidad cercana a 90 (Cintrón & Schaeffer, 1983).

Aunque se han descrito diversas formas para favorecer el flujo hídrico al interior del manglar deteriorado, no existe un “*receta ideal*”, por tanto, es necesario desarrollar los ajustes o diseños con base a las condiciones locales y los objetivos específicos del proyecto de restauración (Tabla 6).

Tabla 6. Algunas formas para el favorecimiento del flujo hídrico al interior del manglar

<p><u>Desazolve y apertura de canales (naturales y artificiales):</u> El restablecimiento de las condiciones hidrológicas del manglar favorece la restauración y la regeneración natural o inducida del bosque. Puede ser tan simple como la remoción de material vegetal muerto y tapones causados por azolvamiento, o a través de la construcción o mantenimiento de pequeños canales. Se recomienda la identificación previa de los rastros de ríos, cuerpos de agua y mareas, para rehabilitar los canales naturales, porque estos indican el comportamiento de las corrientes de agua y sus posibilidades de reconexión exitosa.</p> <p><u>Desazolve de cuerpos de agua:</u> Son las acciones orientadas a la identificación de fuentes que aportan agua dulce al ecosistema y en el caso de estar sedimentadas con troncos muertos y otros materiales, estos deben ser removidos permanentemente para no obstruir los flujos de agua.</p>	 <p>Fuente: Zen (2007)</p>  <p>Fuente: Lewis & Brown (2014)</p>
---	--

Continuación Tabla 6. Algunas formas para el favorecimiento del flujo hídrico al interior del manglar

<p>Construcción de canales en espina de pescado: Están constituidos por un canal de alimentación (principal) y varios canales de distribución (secundarios) que en conjunto tienen la función dispersar el agua y los propágulos contenidos en ella por una superficie mucho mayor. El diseño de los canales en espina de pescado, referido a la longitud, ancho y profundidad del canal principal; y la cantidad, longitud, ancho, profundidad y ángulo de distribución de los canales secundarios, depende de las condiciones de sitio como: superficie del terreno, flujo de agua e hidroperiodo y micro-topografía.</p> <p>Por ejemplo, en un manglar degradado de India con una superficie total de 1.447 hectáreas, se construyeron canales tipo espina de pescado con las siguientes características:</p> <p><i>Canal de alimentación:</i> 50 metros de longitud, 3 metros de ancho en la superficie, 1 metro de ancho en el fondo, 1 metro de profundidad</p> <p>Canales de distribución: 20 metros de longitud, dispuestos en ambos lados, ángulo 30 grados en la línea del flujo de agua, 2 metros de ancho en la superficie, 0,75 metros de ancho en el fondo y 0,75 metros de profundidad</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Alejandro Zamora</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Lewis & Brown (2014)</i></p>
<p>Alcantarillas (box-culvert): Con la construcción de alcantarillas se busca incrementar sustancialmente el volumen de agua dulce que ingresa a la zona y de reducir los niveles de salinidad en los suelos. Las alcantarillas deben ubicarse estratégicamente en los sitios donde la construcción de caminos o carreteras interrumpen la circulación de escurrimientos superficiales de agua. La localización y tamaño de las alcantarillas debe determinarse de acuerdo con el volumen de agua y el relieve del terreno.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Carlos Villamil</i></p>

4.4.4.2 Ajuste de la micro-topografía

La micro topografía es otro factor de gran importancia en procesos de restauración ecológica de manglares y es uno de los determinantes de éxito de la restauración (Lewis & Streever, 2000), ya que condiciona la frecuencia, duración y nivel de inundación, lo que a su vez determina la ubicación espacial de las diferentes especies florísticas y faunísticas que conforman el ecosistema, entre ellas las diferentes especies de mangle (zonación) (Thampanya, Vermaat, & Duarte, 2003; Bosire, y otros, 2008).

Todas las especies de mangle pueden habitar en sitios anegados, no obstante, la tolerancia a la frecuencia, duración y nivel de inundación depende de las adaptaciones morfológicas y fisiológicas de cada especie. Las inundaciones en manglares no solo determinan la distribución y establecimiento de los propágulos que se dispersan por flotación, sino que también cambian las condiciones ambientales del sitio, por ejemplo, pueden provocar la caída rápida en los niveles de oxígeno en el suelo del bosque, tornándolo anóxico (incluso a poca profundidad), o aumentar la disponibilidad libre de sulfuro, situaciones que pueden conducir a una reducción en la tasa fotosintética, o hasta provocar la muerte del arbolado, respectivamente (Krauss, y otros, 2008).

Con base en lo anterior, la micro topografía es importante en procesos de restauración ecológica, porque determina las zonas y las especies que los nuevos individuos de mangle pueden colonizar, información vital para el diseño del proyecto de restauración, si se contempla modelar las condiciones ambientales del sitio, para lograr estar por debajo de los umbrales de tolerancia de las especies de mangle y permitir el establecimiento exitoso de propágulos a partir de la regeneración natural, regeneración inducida o finalmente la siembra de plántulas de mangle.

A pesar de que no existe un diseño micro topográfico ideal, dado que las condiciones generalmente son específicas de cada sitio, para implementar procesos de restauración ecológica se deben simular las condiciones del ecosistema de referencia, el cual preferiblemente debe estar ubicado cerca del sitio de restauración, de tal modo que las condiciones no sean marcadamente diferentes. Para comparar en campo la micro topografía o la elevación del terreno tanto del sitio de restauración como el de referencia se pueden emplear diversos métodos, algunos de éstos se refieren en la Tabla 7.

Tabla 7. Algunas formas para comparar en campo la micro topografía o la elevación del terreno

<p>Marcador biológico, distribución espacial natural local de los manglares (zonación):</p> <p>Para ello se debe conocer previamente aspectos de la ecología de las especies de mangle y hacer observaciones en campo de los niveles de inundación máximos y mínimos del ecosistema de manglar y asociados a cada especie en el sitio de referencia, de tal modo que se pueda identificar el área potencial de restauración y a su vez tratar de replicar la organización de las especies.</p>	<p>Fuente: Spalding, Blasco, & Field (1997)</p>
<p>Nivel de agua con manguera:</p> <p>Es una forma rápida y barata para calcular las diferencias relativas en la elevación. Permite determinar rápidamente la diferencia de elevación entre dos puntos (x,y) sobre un transecto perpendicular al cuerpo de agua principal tanto del sitio de restauración como del de referencia. Con este método sólo se pueden cubrir distancias cortas, limitadas por la longitud de la manguera</p>	<p>Fuente: Lewis & Brown (2014)</p>
<p>Teodolito, estación total de topografía:</p> <p>Son instrumentos mecánico-óptico o laser que se utilizan para obtener ángulos verticales y/u horizontales y así medir distancias y elevaciones del terreno. Son instrumentos de gran precisión (mm), en la mayoría de los casos mayor de la requerida en procesos de restauración de manglares, pero con la ventaja de poder recorrer distancias más largas que el método de la manguera de agua, especialmente en sitios despejados.</p>	<p>Fuente: Lewis & Brown (2014)</p>

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016

4.4.4.3 *Eliminación de barreras y diques*

Los impactos ambientales generados por el desarrollo de múltiples actividades humanas que contemplan la construcción de barreras o diques tienen que ver con las variaciones en los niveles de inundación y tasas de sedimentación, que afectan de forma directa el régimen hídrico, la formación de canales y los patrones de arrastre y deposición de sedimentos y estos a su vez, intervienen en la dinámica de formación de las planicies de inundación, la aireación, temperatura, humedad y composición microbiana del suelo, la penetración de la cuña salina y la salinización de acuíferos costeros, entre otros.

Con el cambio en los regímenes hídricos, las comunidades vegetales pueden ser afectadas principalmente por modificaciones en los patrones de regeneración natural, tales como producción de propágulos y reclutamiento de plántulas, o por variaciones estructurales, principalmente representadas en composición y abundancia de las especies dominantes, que en conjunto pueden conllevar a la disminución de la cobertura vegetal, con la consecuente pérdida de bienes y servicios ambientales, económicos, ecológicos y sociales que éstos proveen (Solano, y otros, 2011).

Tabla 8. Algunas formas para eliminar barreras y diques

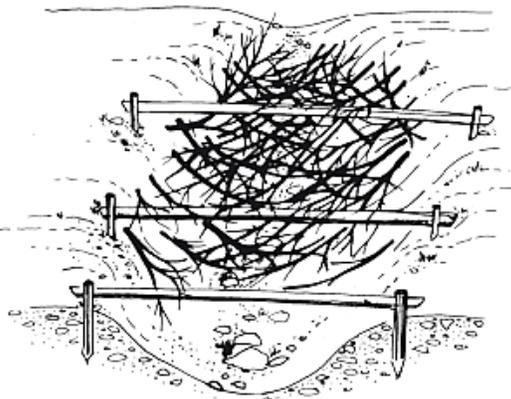
<p>Para desarrollar acciones de restauración ecológica de manglares en áreas con presencia de barreras o diques que obstruyen claramente el flujo natural del agua, no es necesario eliminar por completo dichas barreras, en la mayoría de los casos es suficiente abrir algunos agujeros que favorezcan la entrada y salida del agua y con ella la dispersión de propágulos. Para ello se deben considerar aspectos clave anteriormente descritos como lo son la rehabilitación hidrológica y la micro-topografía.</p> <p>Si se quiere obtener un manglar restaurado que simule las condiciones de un ecosistema sin perturbación, sería adecuado modificar los canales construidos en línea recta (generalmente desarrollados en proyectos acuícolas) incluyéndoles algunos meandros o sinuosidades sin que se perturbe el régimen hidrológico del área que se quiere restaurar.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: Alejandro Zamora</i></p>
---	---

4.4.4.4 Control de erosión en la cuenca

Los factores que afectan la erosión y la sedimentación están en función del tipo de erosión en cuestión. Sin embargo, como regla general, se puede decir que la erosión que ocurrirá en un suelo específico va a depender directamente de ciertas variables como clima, vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad del flujo y uso de la tierra (Unesco, 2010).

Si bien, la eliminación o mitigación de este tensor desborda los alcances de la guía de restauración de manglares, es importante considerar que acciones sencillas de control de erosión en cuencas pequeñas o micro cuencas que drenan directamente a los ecosistemas de manglar, pueden ser importantes en los procesos de restauración ecológica.

Tabla 9. Algunas formas para mitigar la erosión en la cuenca

<p>Control de erosión en la microcuenca</p> <p>Además de implementar planes de reforestación con especies nativas que amarren el suelo y atrapen los sedimentos a lo largo de la cuenca, se puede estabilizar y proteger de la erosión el lecho y los bordes del cauce, mediante la fijación al fondo de ramas muertas y ramaje y el anclaje transversal con estacas. Esta acción no solo atrapa los sedimentos, sino que disminuye la velocidad del flujo, que en conjunto reduce la tasa de erosión. Estas “trampas” contra la erosión pueden ser retiradas en verano o cuando el flujo de agua no tenga efectos erosivos.</p>	 <p style="text-align: center;">Fuente: Zen (2007)</p>
---	---

4.4.4.5 Restricción de ingreso para el ganado (cerramiento)

Las condiciones ambientales imperantes en un ecosistema de manglar generalmente son adversas para el ganado, no obstante, con la expansión de la frontera agrícola y pecuaria es cada vez más común encontrar diversos tipos de ganado que usan los ecosistemas de manglar como fuente de agua y alimento, de descanso, protección del sol, o simplemente de paso, que en ocasiones tienen serias afectaciones en la estabilidad y conservación de los bosques de manglar y las especies que los habitan. Ante este impacto se deben implementar acciones sencillas, prácticas, de fácil

aplicación, económicas, de efectos verificables y efectivas, que se traduzcan en la eliminación del tensor, el mejoramiento del ecosistema y la conservación de la biodiversidad.

Tabla 10. Algunas formas para mitigar la erosión en la cuenca

<p><u>Cercado (cerramiento):</u> Tiene como propósito disminuir el impacto producido por el ganado en el interior del bosque, ya sea por apertura de caminos, compactación o por consumo o pisoteo de propágulos y plántulas. Generalmente se usa una cerca con cuatro hilos de alambre de púas calibre 12 y postes de madera, plástico o concreto. Para prolongar la vida útil del cercado se puede utilizar alambre de púas recubierto (encauchetado), o pintarlo con pintura anticorrosiva antes de instarlo.</p>	
---	--

Fuente: Carlos Villamil

4.4.5 Paso 5. Evaluar de forma periódica los factores ambientales que regulan y controlan la distribución y establecimiento de los propágulos y el desarrollo del bosque (monitoreo condiciones ambientales)

La distribución, establecimiento y desarrollo de los bosques de mangle depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos tanto en agua como en suelos. Los factores que ejercen mayor influencia en el desarrollo estructural, zonación, composición, abundancia y tipo de manglar, son los relacionados principalmente con los regímenes hídricos como las mareas, la salinidad, la temperatura del agua, las corrientes fluviales, los aportes de nutrientes, la frecuencia y magnitud de las inundaciones, las características edáficas; y con las características del terreno: microtopografía, tipo de suelo, pH, potencial de óxido reducción, entre otros (Cintrón & Schaeffer, 1983; McKee, 1993).

Para obtener altas probabilidades de éxito en el proyecto, es necesario que, con la implementación de las acciones para la eliminación o mitigación de los tensores y sus efectos, se garanticen condiciones ambientales similares a las del ecosistema de referencia (Steer, y otros, 1997), o sencillamente condiciones ambientales que propicien el desarrollo de los bosques de manglar como:

- Temperaturas medias mayores a 20 grados centígrados y medias mínimas no inferiores a 15 grados centígrados.
- Terreno aluvial de grano fino: las áreas de manglar más extensas están a lo largo de los litorales, deltas, esteros y lagunas costeras, que constan de fondos de limo y arcilla.
- Riberas libres de la fuerte acción de las olas y vientos: extensas formaciones se desarrollan en sitios protegidos dentro de estuarios y lagunas costeras.
- Límite de marea y suave inclinación de la costa: el amplio límite de marea horizontal se considera una condición importante debido a que, con un gradiente suave de la costa, el sustrato no se erosiona durante los cambios de marea y permite el encharcamiento o inundación favorecido por las mareas.
- Agua salada: el agua salada no es un requerimiento esencial, dado que los manglares toleran amplios rangos de salinidad del suelo y agua, sin embargo, pueden ser desplazados por la competencia con otras plantas en humedales de agua dulce. De otro lado, los manglares requieren de agua dulce para su normal desarrollo, con el fin de mantener un adecuado balance iónico y recibir nutrientes inorgánicos (Prahl, Cantera, & Contreras, 1990).

Para evaluar las condiciones ambientales se deben seleccionar variables que sean fáciles de medir, que no requieran muchos recursos de personal, tiempo y financieros, y que sean un buen indicador del objetivo de restauración planteado. El esfuerzo de medición de las condiciones ambientales (número y frecuencia de medición) varía a razón de los objetivos del proyecto y del área de restauración. Es necesario contar con información periódica, como mínimo una medición relacionada con cada época climática y por lo menos durante la totalidad de ejecución del proyecto, adicionalmente, se deben establecer puntos de medición sistemáticamente distribuidos por toda el área de restauración, de tal forma que se consideren los gradientes salino y de inundación, típicos de un ecosistema de manglar, para ello se recomiendan series de puntos de muestreo dispuestos en línea recta perpendicular al cuerpo de agua principal.

Las variables ambientales de mayor importancia y uso en estudios ecológicos se refieren a continuación:

- Salinidad del agua superficial e intersticial: es un factor que influye en la zonación y el grado de desarrollo de los manglares, cuando es superior a 70, provoca la disminución del desarrollo del manglar llegando a causar su muerte

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

(Cintrón & Schaeffer, 1983). Aunque está ampliamente reconocido que las condiciones óptimas de crecimiento de las diferentes especies de mangle son entre 5 y 30 (Krauss, y otros, 2008), algunos autores han encontrado que las diversas especies de manglar tienen diferente grado de tolerancia a las altas salinidades siendo las especies del género *Avicennia* las que exhiben mayor tolerancia, seguidas de *Rhizophora*, *Laguncularia* y *Conocarpus*. En condiciones de alta salinidad (> 70), las especies más tolerantes (*Avicennia*) pueden crecer como matorral (Cintrón & Schaeffer, 1983; Flores, y otros, 2007; Agraz, 1999). La medición de esta variable tanto en el agua superficial e intersticial se realiza por medio de un electrodo combinado acoplado a un conductímetro portátil. La salinidad superficial se toma de forma directa en el agua de inundación y para la salinidad intersticial se emplean dos tubos de PVC acoplados a manera de jeringa, que se entierran en el suelo a la profundidad deseada. Uno de los tubos presenta en su extremo inferior una banda con orificios que permite el ingreso del agua intersticial y la posterior medición de la salinidad.

- **Temperatura:** la temperatura del agua es un factor determinante para el crecimiento, fijación de carbono fotosintético, respiración y osmorregulación, además influye en los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica y la liberación de dióxido de carbono (Clough, 1993). La temperatura máxima óptima para los procesos fotosintéticos en los árboles de mangle es 35 grados centígrados, por encima de 40 grados centígrados se presenta inhibición fotosintética (Moore, Miller, Albright, & Tieszen, 1972; Lugo, Sell, & Snedaker, 1973; Clough, Andrews, & Cowan, 1982). Entre las lesiones causadas por las altas temperaturas a plantas de mangle se destacan: hojas y frutos cloróticos, necrosis en tejidos especialmente en tallos e hipocotilos y muerte (Krauss, y otros, 2008). La medición de esta variable se hace junto con la medición de la salinidad del agua superficial e intersticial, ya que en la mayoría de los casos el electrodo combinado tiene sensor de temperatura.
- **pH:** los valores óptimos de pH en suelos de manglar deben ser cercanos a la neutralidad (6,5 y 7,5) (Krauss, y otros, 2008), no obstante, en bosques inundados es común encontrar valores que oscilan entre 5,5 y 8,5, sin tener

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

efectos apreciables sobre las especies de mangle. Algunos estudios han demostrado que la colonización, el asentamiento y el crecimiento de las especies de mangle, pueden ser afectados por el pH especialmente cuando es ácido. La medición de esta variable debe realizarse con muestras frescas para evitar la oxidación de las pirritas de hierro a ácido sulfúrico, dando así un valor mucho más bajo de pH que normalmente se produce in situ (English, Wilkonson, & Basker, 1997). Para medirlo se emplea un electrodo combinado acoplado a sonda portátil introducida directamente en el sedimento o agua, o inmediatamente en una muestra recolectada.

- **Potencial de óxido-reducción (Eh):** los suelos de manglar en su mayoría son anegados, lodosos, fangosos o areno-arcillosos, con bajas concentraciones de oxígeno y alto contenido de materia orgánica, factores que en conjunto influyen directamente sobre el potencial de óxido reducción (Cintrón & Schaeffer, 1983). Diferentes autores aseguran que valores de Eh inferiores a – 200mV puede acarrear importantes consecuencias sobre la disponibilidad de nutrientes y la liberación de sustancias tóxicas para la vegetación (como por ejemplo Al⁺⁺, H₂S, Fe⁺⁺) (Chapman, 1975; Ensminger, 1997). Para conocer el potencial de óxido reducción del suelo, se realiza una medición electrométrica con electrodo combinado acoplado a sonda portátil Ionómetro pH/ION.
- **Nivel de inundación:** el nivel de inundación depende directamente del hidroperiodo y la micro topografía y determina las posibilidades de establecimiento de las diferentes especies de mangle. Adicionalmente, el nivel de agua de los flujos de agua superficial e intersticial son factores importantes que afectan la productividad de los humedales a través de su influencia en la acumulación y eliminación de cloruros, nutrientes y toxinas, la hipersalinización, el potencial de óxido reducción de los sedimentos, el pH y el contenido de humedad en el suelo. El conocimiento de la variación en el nivel freático o de inundación a través del tiempo, permite entender la hidrodinámica de los humedales, así como su hidroperiodo y su influencia en las dinámicas del bosque (Invemar y ANH, 2013).
- **Tamaño de partícula en el sedimento:** la composición y el desarrollo de las especies de mangle está directamente influenciado por la composición y

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

tamaño de grano de los sedimentos de manglar. Las proporciones de arcilla, limo y arena, junto con el tamaño de grano, dictan la permeabilidad (o conductividad hidráulica) del suelo al agua, lo que influye en la salinidad del suelo y el contenido de agua (English, Wilkonson, & Basker, 1997). La medición de esta variable consiste básicamente en separar por tamaños de grano una muestra seca de masa conocida, pasándola a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores (2 mm, 1 mm, 0,5m m, 0,25 mm, 0,125 mm y 0,063 mm), con el objeto de determinar los tamaños de las partículas.

- **Nutrientes:** el nitrógeno es normalmente un factor limitante para el crecimiento de las especies de manglar en la mayoría de ecosistemas, aunque en algunos ambientes de manglar (con bajas cantidades de suelo "*nativos*") los fosfatos han demostrado ser el factor limitante (Krauss, y otros, 2008). Dado que la fertilización con nutrientes en un sitio de restauración ecológica de manglares presenta desafíos técnicos y económicos significativos, este tipo de mediciones normalmente no es considerada, no obstante, es ideal contar con información de este tipo en la caracterización o diagnóstico inicial. EL fosfato y nitrato son los principales nutrientes en los ecosistemas de manglar, el fosfato total (PO_4) y nitrato total de (NO_3) se pueden medir in situ con un kit de prueba de campo del suelo, o en el laboratorio, al igual que una variedad de otras formas de fósforo y nitrógeno, incluyendo tanto orgánica y mineral y las tasas de mineralización. Para la medición de los nutrientes nitrogenados en laboratorio se emplean generalmente las siguientes técnicas: extracción inicial desde la muestra de sedimento con cloruro de potasio 2 M, determinación de nitritos mediante la adición de sulfanilamida y N-(1-naftil) etilendiamina (Garay, y otros, 2003); reducción de nitratos a nitritos al pasar el extracto a través de una columna de cadmio y leerse como nitritos (Garay, y otros, 2003); el amonio se determina mediante la técnica del azul de indofenol (Garay, y otros, 2003). Por su parte, los fosfatos se extraen del sedimento con una solución de acetato de sodio 1 M/ácido acético 1 M y se determinan adicionando un reactivo mixto (Garay, y otros, 2003).

4.4.6 Paso 6. Evaluar periódicamente los procesos de reclutamiento y regeneración natural después de la eliminación del tensor (monitoreo regeneración natural)

La regeneración natural es el proceso por el cual en un espacio dado se produce la aparición de nuevos especímenes sin intervención directa o indirecta del hombre (Serrada, 2003), por tanto, es la capacidad funcional que tiene el bosque de mantenerse naturalmente ante la influencia de factores bióticos y abióticos principalmente como la disponibilidad hídrica, intensidad lumínica y parámetros edafológicos relacionados con la fertilidad, acidez, materia orgánica, entre otros (Pérez, 2007), es por esto que los procesos de regeneración natural se hacen evidentes y necesarios en eventos de intervención o degradación; no obstante, la regeneración natural de un bosque después de alguna perturbación, puede resultar en cambios estructurales en términos de composición y/o abundancia de especies (Pérez, 2007).

El reclutamiento y la regeneración natural en proyectos de restauración ecológica son indicadores de éxito, ya que sugieren la eliminación o mitigación de los tensores, la generación de condiciones ambientales propicias en el sitio de restauración, la entrada de propágulos viables a partir de una fuente cercana, y la futura formación de una cobertura vegetal a partir de una zonación natural regida por el hidropereodo y la microtopografía.

Cuando se cuente con evidencias de una regeneración natural activa, se pueden iniciar acciones que favorezcan y aumenten dicha regeneración (Paso 7), pero para ello, es necesario conocer la ecología de las especies de mangle que pueden reclutar en el sitio de restauración, sus patrones de reproducción, la distribución de propágulos y el éxito de establecimiento de las plántulas, algunas de las principales características se sintetizan en la Tabla 11.

Tabla 11. Ecología de las principales especies de mangles presentes en Colombia

<p>Familia: Rhizophoraceae. Especies: <i>Rhizophora mangle</i>, <i>R. racemosa</i> y <i>R. harrisonii</i></p> <p>Denominadas comúnmente mangle rojo. Son árboles de hasta 30 metros de altura con raíces dispuestas como zancos, que le permiten ocupar fondos poco consolidados e inestables; sus propágulos son alargados y tienen la capacidad de flotar conservando su poder de germinación por más de seis meses (Tomlinson, 1986; Prahl, Cantera, & Contreras, 1990). Sus hojas son carnosas, simples y</p>	
---	--

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



<p>opuestas, y los frutos son ovoides de color café oscuro (Prahl, Cantera, & Contreras, 1990). <i>R. mangle</i> tiene inflorescencia con pocas flores y crece tanto en el Caribe como en el Pacífico colombiano, mientras que <i>R. racemosa</i> y <i>R. harrisonii</i> tienen muchas flores en sus inflorescencias y están restringidas solamente al Pacífico colombiano. <i>R. harrisonii</i> es considerado un híbrido de las dos especies anteriores (Tomlinson, 1986). Son especies tolerantes a inundaciones prolongadas y salinidad hasta 60, lo que hace que se ubiquen en la parte más expuesta de la franja intermareal y bordeando cuerpos de agua y canales.</p>	<p>Fuente: Prahl, y otros (1989)</p>
<p>Familia: Acanthaceae. Especies: <i>Avicennia germinans</i> y <i>A. bicolor</i> Comúnmente llamadas mangle negro o mangle salado. Son árboles de hasta 30 metros con un sistema de raíces desarrollado en forma radial subsuperficial a unos pocos centímetros bajo el suelo, de las que emergen numerosos neumatóforos de hasta 30 centímetros de longitud. Sus hojas son elíptico lanceoladas y opuestas, con peciolo muy cortos. Los propágulos presentan envolturas con cámaras de aire que les dan flotabilidad y protegen la semilla germinada. Cuando se desprenden del árbol, estas cámaras se llenan de agua y se abren liberando la semilla, la cual se establece rápidamente al sustrato (Prahl, Cantera, & Contreras, 1990). <i>A. bicolor</i> crece solamente en el Pacífico colombiano y se caracteriza por presentar una copa densa de color verde oscuro, mientras que <i>A. germinans</i> se presenta en ambos litorales y se caracteriza por tener el envés de la hoja de color verde grisáceo. Ambas especies son tolerantes condiciones de alta salinidad (hasta 90) y poca inundación, por tanto, se ubica regularmente en áreas con suelos más estables y poco inundados, generalmente detrás de <i>Rhizophora</i>.</p>	<p>Fuente: Prahl, Cantera, & Contreras (1990)</p>

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Continuación Tabla 11. Ecología de las principales especies de mangles presentes en Colombia

<p>Familia: Combretaceae. Especie: <i>Laguncularia racemosa</i></p> <p>Se conoce comúnmente como mangle blanco, mangle amarillo o mangle “bobo”. Son árboles de hasta 25 metros de altura que crecen tanto en el Caribe como en el Pacífico colombiano. Es considerada especie pionera de áreas perturbadas. Presenta neumatóforos poco desarrollados, menores a 10 centímetros de longitud. Sus hojas son oblongas-redondeadas, opuestas y simples, con peciolo rojizo y una glándula a cada lado. Sus propágulos son ovoides, pequeños y constan de dos costillas longitudinales pronunciadas (Prahl, Cantera, & Contreras, 1990). Son tolerantes a la inundación no prolongada y a una salinidad de hasta 70, por tanto, al igual que <i>Avicennia</i> se ubica en áreas con suelos más estables y poco inundados, detrás de <i>Rhizophora</i>, generalmente formando bosques monoespecíficos o mixtos con <i>Avicennia</i>.</p>	<p>Fuente: Prahl, Cantera, & Contreras (1990)</p>
<p>Familia: Combretaceae. Especie: <i>Conocarpus erectus</i></p> <p>Llamado también mangle botón o mangle zaragoza. Crece como árbol o matorral hasta 10 metros de altura en ambos litorales colombianos. Su tronco es ramificado, con corteza gris o café, rugosa y fisurada. Las hojas son lanceoladas, alternas y los peciolo son cortos, con láminas a manera de quillas, que presentan una glándula a cada lado. El fruto es de 1 centímetro de diámetro en forma de piña redondeada de color púrpura o marrón (Prahl, Cantera, & Contreras, 1990). Tienen alta tolerancia a la salinidad y se encuentran frecuentemente en zonas secas con suelo consolidado, lo que los ubica en las partes más altas del ecosistema, o en playas.</p>	<p>Fuente: Prahl, Cantera, & Contreras (1990)</p>

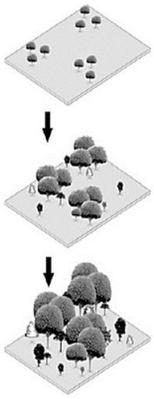
Continuación Tabla 11. Ecología de las principales especies de mangles presentes en Colombia

<p>Familia: Tetrameristaceae. Especie: <i>Pelliciera rhizophorae</i> Conocido como mangle piñuelo. Es un árbol con amplia distribución en el Pacífico colombiano, pero con distribución limitada en el Caribe, entre el Golfo de Morrosquillo y el Canal del Dique. Tiene un tronco recto, fuertemente ensanchado en la base por las raíces en contrafuerte, las cuales pueden estar fusionadas o separadas por estrechos pliegues. Las hojas no tienen pecíolo y son oblanceoladas, con un borde más ancho provisto de restos glandulares que le dan un aspecto aserrado. El fruto es simple leñoso, con forma de cabeza, irregularmente surcados y una sola semilla. Las flores son grandes y vistosas de color blanco y rosa. Toleran condiciones salinas e inundadas, con preferencia de suelos estables no consolidados (Prahl, Cantera, & Contreras, 1990).</p>	<p style="text-align: center;">Fuente: Prahl, Cantera, & Contreras (1990)</p>
--	---

4.4.7 Paso 7. Favorecer los procesos de regeneración natural

Para acelerar el proceso de restauración pasiva iniciado con la implementación de acciones para eliminar o mitigar los tensores, se puede favorecer la regeneración natural a partir de la liberación manual y dispersión de propágulos de las especies de mangle de interés; mediante el establecimiento de núcleos de dispersión; o a través del establecimiento de especies facilitadoras. En todos los casos es importante conocer las condiciones ambientales del sitio de restauración y la ecología de las especies de que se quieren emplearán, parte de ella descrita en el paso 5. A continuación se refieren algunas estrategias que pueden contribuir con la regeneración natural.

Tabla 12. Algunas estrategias que pueden contribuir con la generación natural

<p>Liberación y dispersión manual de propágulos:</p> <p>El concepto generalizado de “<i>dispersión</i>” sugiere un proceso de propagar objetos de manera más o menos aleatoria (al azar), no obstante, en plantas de mangle la dispersión resulta en patrones que generalmente no son aleatorios, ya que la dispersión depende principalmente por el tamaño de los propágulos, flujo del agua y el nivel de inundación como agentes de dispersantes. Los propágulos de las especies de interés deberán liberarse en grandes cantidades a favor del flujo de agua que ingresa al sitio de restauración, los cuales se establecerán naturalmente en función de su tamaño. Con esta acción se incentiva la oferta de propágulos y por ende se aumentan las posibilidades de arraigo natural.</p>	 <p>Fuente: Zen (2007)</p>
<p>Núcleos de dispersión:</p> <p>Son espacios de pequeñas dimensiones al interior del sitio de restauración, sembrados con las especies de mangle idóneas para las condiciones ambientales locales, con los que se espera potenciar la producción, dispersión y establecimiento de propágulos, asegurando a mediano o largo plazo la posterior colonización del espacio circundante por la expansión natural de éstos, siguiendo un modelo de agregación de las especies en el hábitat natural. La efectividad de esta acción solo podrá ser evaluada a largo plazo, pero en el corto plazo puede valorarse mediante indicadores simples como el grado de supervivencia. Esta acción puede complementarse con las demás acciones descritas para acelerar la regeneración natural del bosque.</p>	 <p>Fuente: Corbin & Holl (2012)</p>

Continuación Tabla 12. Algunas estrategias que pueden contribuir con la generación natural

<p><u>Uso de especies facilitadoras:</u></p> <p>Una especie facilitadora debe permitir y ayudar los procesos de reclutamiento, regeneración, crecimiento y desarrollo de plantas de otra especie que más tarde será dominante y entonces la primera entraría en decadencia, generalmente como consecuencia del efecto sombra que impone la especie beneficiaria a la facilitadora, ya que habitualmente la especie facilitadora es de menor talla que la beneficiaria. Con la facilitación puede no solo mejorarse las condiciones ambientales que promueven el crecimiento de las especies beneficiarias, sino también pueden favorecer la dispersión y el establecimiento de las mismas (McKee & Faulkner, 2000)</p>	 <p style="text-align: right;"><i>Fuente: Carlos Villamil</i></p>
--	---

4.4.8 Paso 8. Implementar acciones de restauración activa, si la regeneración natural no ocurre

Entre las acciones de restauración activa más comunes se contempla la reforestación, modificaciones en la micro topografía (generalmente relacionada con la acreción), acciones de ingeniería ecológica, entre otras. Todas éstas implican costos elevados y no siempre se obtienen los mejores resultados, por tanto, es imprescindible realizar con anterioridad los pasos anteriores, especialmente el relacionado con las acciones de eliminación o mitigación de los tensores, y un análisis de costo-beneficio, de tal modo que se pueda tomar la decisión de continuar o elegir otro sitio para restaurar. En esta fase del proceso es vital involucrar a las comunidades locales y usuarios del ecosistema en la implementación de las acciones seleccionadas, de tal modo que se genere sentido de pertenencia, compromiso, continuidad, control y vigilancia, hasta lograr los objetivos planteados en el proyecto.

4.4.8.1 Reforestación

Ha sido la actividad preponderante para la restauración de áreas de manglar degradadas, pero, en la mayoría de los casos esta técnica se ha empleado de manera empírica sin considerar el hidroperiodo, la salinidad, tensores y causas de deterioro, y factores ambientales como la energía

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



del oleaje, corrientes, entre otros, lo que ha llevado generalmente al fracaso (Flores, y otros, 2007). Lo anterior indica que la reforestación en sí misma es insuficiente para restaurar áreas que no han sido antecedidas por labores de rehabilitación y respaldadas por instrumentos o planes de manejo, a excepción de las zonas degradadas que mantienen las condiciones ambientales intactas (Flores, y otros, 2007).

Las principales razones de bajo éxito o fracaso en las acciones de reforestación tienen que ver con el desconocimiento de la ecología del manglar y de la hidrología del sitio a recuperar; la falta de seguimiento y protección a semilleros y siembra; selección inadecuada de los periodos para la ejecución de los proyectos (épocas climáticas); etapas de seguimiento y control del proceso muy cortas; insostenibilidad de las acciones (acciones rápidas y no duraderas); no se involucran los actores locales en el proceso de planificación; uso de especies incorrectas; siembra en lugares y tiempos inadecuados.

El esfuerzo de reforestación es variable y depende de los métodos utilizados, la cercanía y accesibilidad del sitio, las especies empleados, la densidad de siembra y la mano de obra. Las acciones de reforestación en ecosistemas de manglar se reducen a tres técnicas, con las cuales generalmente no se logra replicar la estructura, composición y abundancia del bosque de referencia, a saber:

- Siembra directa con propágulos y/o de plántulas (trasplante): es factible cuando las condiciones ambientales se han restablecido o no han sido modificadas. Las plántulas son obtenidas del medio natural y deberán transplantarse con bola de tierra. No implica costos de siembra y mantenimiento en vivero.
- Reforestación con plántulas de vivero: presenta mayor probabilidad de sobrevivencia en comparación con la siembra directa de plántulas, lo que se traduce en menor densidad de siembra, no obstante, los costos pueden ser mayores ya que requiere previamente siembra y mantenimiento en vivero. Cuando se utilizan estas plántulas, es importante adaptarlas a condiciones similares al sitio donde se van a sembrar (salinidad, temperatura del agua, inundación), para garantizar mayores tasas de supervivencia.
- Combinación de siembra directa y con plántulas de viveros.

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

Generalmente el resultado final de las tres prácticas son bosques mono o multiespecíficos dispuestos en filas semejantes a plantaciones forestales productoras y no a bosques naturales de manglar.

4.4.8.2 Modificaciones en la micro topografía

Están orientadas a estimular la sedimentación en las áreas degradadas, para reducir la energía erosiva del oleaje y las corrientes y proteger las plántulas de mangle. En ocasiones, se emplean estas modificaciones de la micro topografía con fines de reforestación con mangle en los bajos de marea, en un proceso definido como “*conversión de hábitat*”, sin considerar que los bajos de marea de arena o limo-arcilla son ecosistemas productivos que proveen de un importante hábitat a invertebrados, muchos de ellos de importancia comercial o son zonas de alimentación y descanso de aves playeras migratorias, por tanto, la modificación de la micro topografía debe evitarse en lo posible en este tipo de ambientes. Estas acciones pueden desarrollarse en áreas que ya han sido perturbadas por azolvamiento intenso o granjas para camaronicultura abandonadas (Flores, y otros, 2007).

Las acciones de modificación micro topográfica empleadas con mayor frecuencia en ecosistemas de manglar son:

- Camas elevadas de sedimentos: consisten en la acumulación manual de sedimentos para aportar rugosidad y variaciones en el relieve de la zona y favorecer el establecimiento natural de las plántulas de mangle que puedan ser arrastradas por los flujos de agua. Se debe tener cuidado en la altura del material acumulado, para que estas estructuras no queden por encima del nivel máximo de inundación y se afecte la supervivencia y el crecimiento de las plántulas. Una vez construidas estas estructuras se aconseja usar técnicas para favorecer la regeneración natural (paso 7).
- Plataformas o isletas: esta técnica se utiliza con relativa frecuencia en la restauración de áreas de manglar degradadas y, consiste en la construcción de plataformas o isletas utilizando material de relleno proveniente de dragados u otras fuentes, los cuales son confinados con alguna barrera (tablas o malla geotextil) y sobre los cuales se establecen plántulas de mangle de manera natural o inducida (Flores, y otros, 2007; Agraz, 1999). Esta

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

técnica debe emplearse en zonas donde se han realizado dragados y el nivel del suelo está por debajo del nivel de los manglares; además parte del material de relleno puede emplearse en los márgenes de los canales dragados para la navegación con el propósito de estabilizar los sedimentos y aumentar la vida media del canal (Benítez, 2003). Se recomienda la construcción de pequeños canales para la penetración de la marea en estas plataformas y de esta manera disminuir la salinidad intersticial, favorecer el recambio de aguas y evitar el bajo desarrollo de los árboles de mangle (Flores, y otros, 2007).

4.4.9 Paso 9. Monitoreo de las acciones de restauración implementadas

Monitoreo es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacerle seguimiento al avance o cumplimiento de los objetivos planteados, de tal modo que se cuente con insumos técnicos, veraces y actuales que puedan guiar decisiones de manejo y de gestión.

Mediante el diseño e implementación de un programa de monitoreo en proyectos de restauración de manglares, no solo se mide el éxito o fracaso de las acciones realizadas, sino que también se pueden identificar y solucionar en “*tiempo real*” los posibles problemas que puedan interferir con las metas buscadas en el proceso de restauración.

Con los ocho pasos anteriores, especialmente con los pasos 1, 2 ,3, 5 y 6, se ha levantado información primaria y secundaria para realizar un diagnóstico y caracterización completa del área perturbada y de referencia, de tal modo que a este punto se cuenta con conocimientos en aspectos como: estructura, composición y función, grado de alteración de la hidrología, identificación de factores tensionantes, regímenes de marea, aportes de agua dulce, factores que afectan los patrones de producción, dispersión y establecimiento de propágulos, aspectos físicos y químicos del agua y el sedimento, aspectos topográficos, entre otros

4.4.9.1 Diseño del monitoreo

El monitoreo en un proyecto de restauración ecológica de manglares debe responder fielmente a los objetivos inicialmente propuestos, lo cuales se relacionan con los tensores identificados y las acciones realizadas para mitigarlos o eliminarlos, no obstante, el monitoreo en el marco del GREM

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



debe contar con mediciones de las variables físico químicas descritas (Paso 5), con la evaluación de la regeneración natural (Paso 6) y con evaluación del crecimiento y supervivencia de las plantas de mangle que fueron establecidas por favorecimiento de la regeneración natural (Paso 7) o por acciones de restauración activa (Paso 8).

Elzinga, Salzer, & Willoughby (1998) propone varios cuestionamientos importantes que se deben considerar al momento de diseñar e implementar un estudio de monitoreo de manglar, entre los cuales se destacan:

- ¿Cuáles son las variables de interés?
- ¿Cuál es la unidad de muestreo adecuada?
- ¿Cómo se deben ubicar las unidades de muestreo?
- ¿Cuáles son los indicadores para evaluar el éxito del proyecto?

Para efectos del monitoreo en el marco del GREM, la unidad de muestreo serán parcelas permanentes de crecimiento (PPC) de mínimo 100 metros cuadrados (10 m X 10 m), dispuestas de forma perpendicular al cuerpo de agua principal y que cubran la totalidad del área de restauración ecológica (Figura 5), de tal modo que se contemple en la evaluación los gradientes ambientales salino y de inundación.



Figura 4. Disposición de las unidades de muestreo (PPC) al interior del área de restauración ecológica

El número de parcelas permanentes de crecimiento que se deben establecer, depende de factores como el área total de restauración, los recursos financieros con los que se cuente, el hidroperiodo y la microtopografía. Éstos últimos regulan el nivel de inundación y a su vez la posibilidad de establecimiento de las especies de acuerdo con las características anatómicas y fisiológicas de sus propágulos. Lewis & Brown (2014) recomiendan establecer al menos una unidad de muestreo de 100 metros cuadrados por cada hectárea en que se implementen acciones de restauración ecológica, no obstante, si los recursos son limitados, se puede disponer de un menor número de unidades pero que asegure la captura de información en todo el gradiente ambiental mencionado. Se debe tener en cuenta que entre menor sea el número de unidades de muestreo mayor será la incertidumbre de la información obtenida y por consiguiente se tendrá mayor dificultad para evaluar el éxito en el cumplimiento de los objetivos de restauración ecológica.

Sea cual sea el número de unidades de muestreo, al interior de cada una de ellas se deben realizar desde el inicio del monitoreo mediciones de variables físico químicas, regeneración natural y cobertura, e incluir mediciones estructurales cuando se cuente con árboles que tengan desarrollo diamétrico mayor a 2,5 centímetros.

4.4.9.2 Variables físico-químicas

En el Paso 5 se describen las variables físico-químicas comúnmente consideradas en estudios de diagnóstico y caracterización de ecosistemas de manglar, todas ellas podrían considerarse para estudios de monitoreo ambiental, no obstante, para efectos del monitoreo en el marco del GREM, la selección de variables debe apuntar a evaluar que las nuevas condiciones ambientales favorezcan la dispersión, establecimiento y desarrollo de las especies de mangle, por tanto deben considerarse como mínimo la medición de:

- Salinidad del agua superficial e intersticial
- Temperatura
- Nivel de inundación (hidroperiodo)

4.4.9.3 Regeneración natural

Este es uno de los aspectos más importantes en procesos de restauración ecológica, ya que es indicador de éxito de las acciones implementadas. Con el monitoreo de la regeneración natural se busca evaluar la tasa media de reclutamiento de las especies de mangle, por tanto, deben contarse la totalidad de individuos establecidos de cada especie al interior de las unidades de muestreo en un tiempo determinado. La tasa de reclutamiento puede variar en función de la época climática (condiciones ambientales) o de los procesos fenológicos de cada especie, por tanto, es recomendable hacer mediciones varias veces al año, idealmente una vez en cada trimestre del año, o como mínimo una vez en cada época climática.

Es ideal hacerle seguimiento a la totalidad o a una muestra de las plantas establecidas al interior de cada unidad de muestreo, con el fin de estimar adicionalmente las tasas de crecimiento y supervivencia, para ello se debe identificar los individuos de cada especie con un número o código único y se les debe medir como mínimo la altura total.

4.4.9.4 Cobertura

En este aspecto, se debe estimar el porcentaje de cada una de las unidades de cobertura presentes en la unidad de muestreo. Para ello es recomendable dividir la PPC en cuadrículas imaginarias y sumar la totalidad de cuadrículas en que se presenta cada una de las unidades de cobertura presentes en ella. Es recomendable realizar esta medición una vez al año e incluir la mayor cantidad de unidades de cobertura posibles, de ese modo se pueden identificar los cambios en pérdida y ganancia de alguna cobertura en particular. Se sugiere adicionalmente llevar registro fotográfico de los cambios de cobertura ocurridos en cada unidad de muestreo, para ello es necesario como mínimo fijar un punto y una orientación de captura de imagen desde el inicio del monitoreo.

4.4.9.5 Estructura

Con las variables estructurales se puede conocer el grado de desarrollo que presenta el bosque de mangle en proceso de restauración y compararlo con el bosque de referencia, a partir de la medición de parámetros sencillos, que no requieren muchos recursos técnicos o financieros y que sean universalmente aplicables (Schaeffer & Cintrón, 1986). Las variables que cumplen con estas

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



condiciones son número de individuos categorizados por especie, diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total de los individuos evaluados. A partir de estos parámetros es posible calcular diversos atributos como: densidad, área basal, abundancia, frecuencia, dominancia, diámetro promedio cuadrático, e índice de valor de importancia (IVI), que en conjunto brindan una idea clara del estado y grado de desarrollo del bosque evaluado.

Según Cintrón & Schaeffer (1983), la medición de las variables estructurales debe iniciarse cuando se cuente con árboles que tengan altura mayor a 1,3 metros y DAP mayor a 2,5 centímetros, no obstante, en procesos de restauración ecológica, es importante incluir la totalidad de individuos que reclutan en cada unidad de muestreo, desde el comienzo del proceso de restauración, por tanto es recomendable incluir en la medición los individuos que cumplan con una altura mayor a 1,3 metros así el DAP sea menor a 2,5 centímetros, e incluirlos en la categoría “DAP menor a 2,5 centímetros” (Lewis & Brown, 2014), de este modo se considera la trayectoria de recuperación y desarrollo del bosque. Dado lo anterior, la medición de las variables estructurales (DAP y altura total) debe realizarse una vez al año a todos los individuos de cada especie contenidos en las unidades de muestreo. El seguimiento de estas variables, en años consecutivos, dará cuenta del crecimiento y desarrollo del bosque, e indicarán la trayectoria de restauración.

4.4.9.6 Indicadores de éxito

Un indicador es una representación cuantitativa (variable o relación entre variables), que permite verificar objetivamente información acerca de características, comportamientos o fenómenos de la realidad, por tanto, sirven para medir el avance o retroceso (éxito o fracaso) en el cumplimiento de los objetivos de restauración planteados, mediante el desarrollo de un proceso continuo y sistemático de recolección y análisis de información (Paso 9 - monitoreo). Los indicadores deben ser claros, pertinentes, económicos, adecuados, factibles de hacerles seguimiento, precisos y coherentes con los objetivos propuestos (Kusek & Rist, 2005).

Dado todo lo anterior y considerando que con la implementación de los nueve pasos del PREM, se pretende en términos generales la identificación, priorización y eliminación o mitigación de tensores con el fin de lograr y facilitar la reactivación de la regeneración natural en ecosistemas de manglar, se sugiere que los indicadores seleccionados correspondan con los tensores identificados y

F-E-SIG-23 Versión 2 Vigencia 14/03/2016



Calle 37 No. 8 - 40
Conmutador (571) 3323400
www.minambiente.gov.co
Bogotá, Colombia

priorizados, y su evaluación será al contrastarlos con los valores obtenidos a partir del ecosistema de referencia, o con los valores óptimos para el desarrollo de bosques de manglar., muchos de ellos descritos en los Pasos 4 y 5 de la presente guía.

Finalmente, el indicador de mayor importancia y que refleja en gran medida el éxito del proceso de restauración ecológica en el corto plazo, es el reclutamiento de plántulas y la regeneración natural de las especies de mangle, las cuales en el mediano o largo plazo aportarán a la estructura y cobertura del ecosistema de manglar restaurado. La forma de medición de estos indicadores se describe en los Pasos 6 y 9 de esta guía.