

# GUÍAS TÉCNICAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ECOSISTEMAS

CONVENIO DE ASOCIACIÓN No. 22 ENTRE MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO  
TERRITORIAL (MAVDT) Y ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES (ACCEFYN)

ORLANDO VARGAS RÍOS  
SANDRA PAOLA REYES BEJARANO  
PILAR ANGÉLICA GÓMEZ RUIZ  
JULIÁN ESTEBAN DÍAZ TRIANA

GRUPO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA (GREUNAL)

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



JULIO DE 2010

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>PAG.</b>
<b>I PARTE</b>	
1. Pasos fundamentales de la restauración ecológica.....	4
<b>II PARTE</b>	
<i>Ecosistemas Terrestres</i>	
1. Páramos.....	30
2. Bosques (húmedos, secos y andinos).....	38
3. Sabanas.....	48
4. Zonas Secas.....	54
<b>III PARTE</b>	
<i>Ecosistemas de Acuáticos</i>	
1. Introducción.....	59
2. Humedales.....	62
3. Ríos y bosques riparios.....	69
<b>IV PARTE</b>	
<i>Sistemas Costeros</i>	
1. Introducción.....	76
2. Manglares.....	79
3. Ecosistemas Coralinos.....	83
4. Praderas de Pastos Marinos.....	88

## PRESENTACIÓN

La Restauración Ecológica se concibe como la práctica de restaurar ecosistemas, en este sentido la presente guía técnica es una síntesis conceptual y metodológica basada en experiencias prácticas que se están desarrollando en muchos ecosistemas del mundo, con énfasis en los ecosistemas tropicales terrestres y acuáticos.

El presente documento se divide en cuatro partes, en la primera parte se explican los pasos más comunes que siguen los proyectos de restauración, con explicaciones conceptuales que contribuyen a la comprensión de los procesos, procedimientos y técnicas. Se recomienda leer cuidadosamente esta primera parte para tener una visión integral del proceso, fijar metas, formular objetivos y precisar escalas.

La segunda parte presenta la guía técnica para la restauración ecológica de ecosistemas terrestres, comenzando con los páramos y ecosistemas boscosos (húmedos, secos y andinos), posteriormente se presentan las sabanas y finalmente las zonas áridas.

En la tercera parte se desarrollan los ecosistemas acuáticos, primero se hace una introducción general dadas las particularidades de estos ecosistemas y posteriormente se desarrollan las guías técnicas para la restauración de humedales, ríos y bosques riparios.

En la cuarta y última parte se presentan los ecosistemas costeros con énfasis en manglares, corales y praderas de pastos marinos. Esta parte inicia, como la anterior, con una introducción general a la particularidad de los ecosistemas costeros.

Esperamos que estas Guías Técnicas contribuyan de una forma efectiva en el desarrollo práctico y conceptual de la restauración ecológica en Colombia.

**Grupo de Restauración Ecológica (GREUNAL)**  
**Departamento de Biología**  
**Universidad Nacional de Colombia.**

## I. PARTE

### LOS PASOS FUNDAMENTALES EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

#### INTRODUCCIÓN

- Un ecosistema es un área de cualquier tamaño, con una estrecha relación o asociación de sus componentes físicos (abióticos) y biológicos (bióticos) y organizado de tal manera que si cambia un componente, o subsistema, cambian los otros componentes y en consecuencia el funcionamiento de todo el ecosistema.

- Los ecosistemas se recuperan por si solos cuando no existen tensionantes o barreras que impidan su regeneración. Si en un ecosistema degradado se eliminan estos tensionantes, se iniciará su regeneración natural; este proceso también se conoce como restauración pasiva o sucesión natural. Es por esto que una de las primeras acciones para recuperar un ecosistema es retirar los factores que impiden la expresión de los mecanismos de regeneración natural.

- Cuando los ecosistemas están muy degradados o destruidos, han perdido sus mecanismos de regeneración y en consecuencia es necesario ayudarles o asistirlos en su recuperación, se denomina restauración activa o asistida (sucesión dirigida o asistida). Esta implica, que con ayuda humana, se asista al ecosistema para garantizar el desarrollo de los procesos de recuperación y superar los tensionantes que impiden la regeneración.

- La capacidad de restaurar exitosamente un ecosistema dependerá de gran cantidad de conocimientos, como por ejemplo: el estado del ecosistema antes y después del disturbio, el grado de alteración de la hidrología, la geomorfología y los suelos, las causas por las cuales se generó el daño; la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema preexistente, la información acerca de las condiciones ambientales regionales, la interrelación de factores de carácter ecológico, cultural e histórico: es decir la relación histórica y actual entre el sistema natural y el sistema socioeconómico; la disponibilidad de la biota nativa necesaria para la restauración, los patrones de regeneración, o estados sucesionales de las especies (por ejemplo, estrategias reproductivas, mecanismos de dispersión, tasas de crecimiento y otros rasgos de historia de vida o atributos vitales de las especies), los tensionantes que detienen la sucesión y el papel de la fauna en los procesos de regeneración.

- El éxito en la restauración también dependerá de los costos, las fuentes de financiamiento y voluntad política de las instituciones interesadas en la restauración; pero ante todo de la colaboración y participación de las comunidades locales en los proyectos.

#### ¿CÓMO EMPEZAR UN PROCESO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA?

Al escoger un área para restaurar se presenta una gran variedad de factores, tanto naturales como sociales, de los que dependerán las acciones a realizar, las cuales serán diferentes para cada sitio dentro de un mismo ecosistema; por ejemplo, sectores muy cercanos unos de otros tienen una historia de transformación y de uso actual muy diferente, como es el caso de áreas sometidas a

agricultura y/o pastoreo, con plantaciones forestales de especies exóticas, áreas con especies invasoras, áreas quemadas y/o pastoreadas, o erosionadas y utilizadas para minería, de manera que se presenta una gran heterogeneidad ambiental y una historia de uso difícil de reconstruir. Otras áreas han sido tan modificadas que no presentan relictos o fragmentos del ecosistema original.

Aunque no existen recetas para restaurar un ecosistema, por la particularidad intrínseca de cada sitio, si existen recomendaciones generales basadas en las teorías y conceptos de la Ecología de la Restauración y en las experiencias acumuladas en los intentos de restaurar diferentes ecosistemas en el mundo.

Preguntas centrales durante el proceso de restauración ecológica:

*¿Cómo establecer el tipo de ecosistema que se va a restaurar?*  
*¿Cuáles son los conocimientos básicos sobre el sitio que se va a restaurar?*  
*¿Cuáles son los factores tensionantes para la restauración que impiden la regeneración natural de los sitios a restaurar?*  
*¿Cómo se pueden superar estos tensionantes?*  
*¿Qué variables se pueden monitorear, para saber si la restauración se está desarrollando?*

A continuación se desarrollan 13 pasos para tener en cuenta en un proyecto de restauración ecológica. No se trata de una receta para restaurar, sino de una forma de pensar e interpretar la complejidad y particularidad de los sitios a restaurar. Los pasos propuestos no necesariamente se deben seguir en el mismo orden, ni es necesario aplicarlos en su totalidad, todo depende de la particularidad de los sitios, el grado de alteración, de las escalas y los objetivos propuestos.

**13 PASOS A TENER EN CUENTA EN LA RESTAURACION ECOLOGICA**

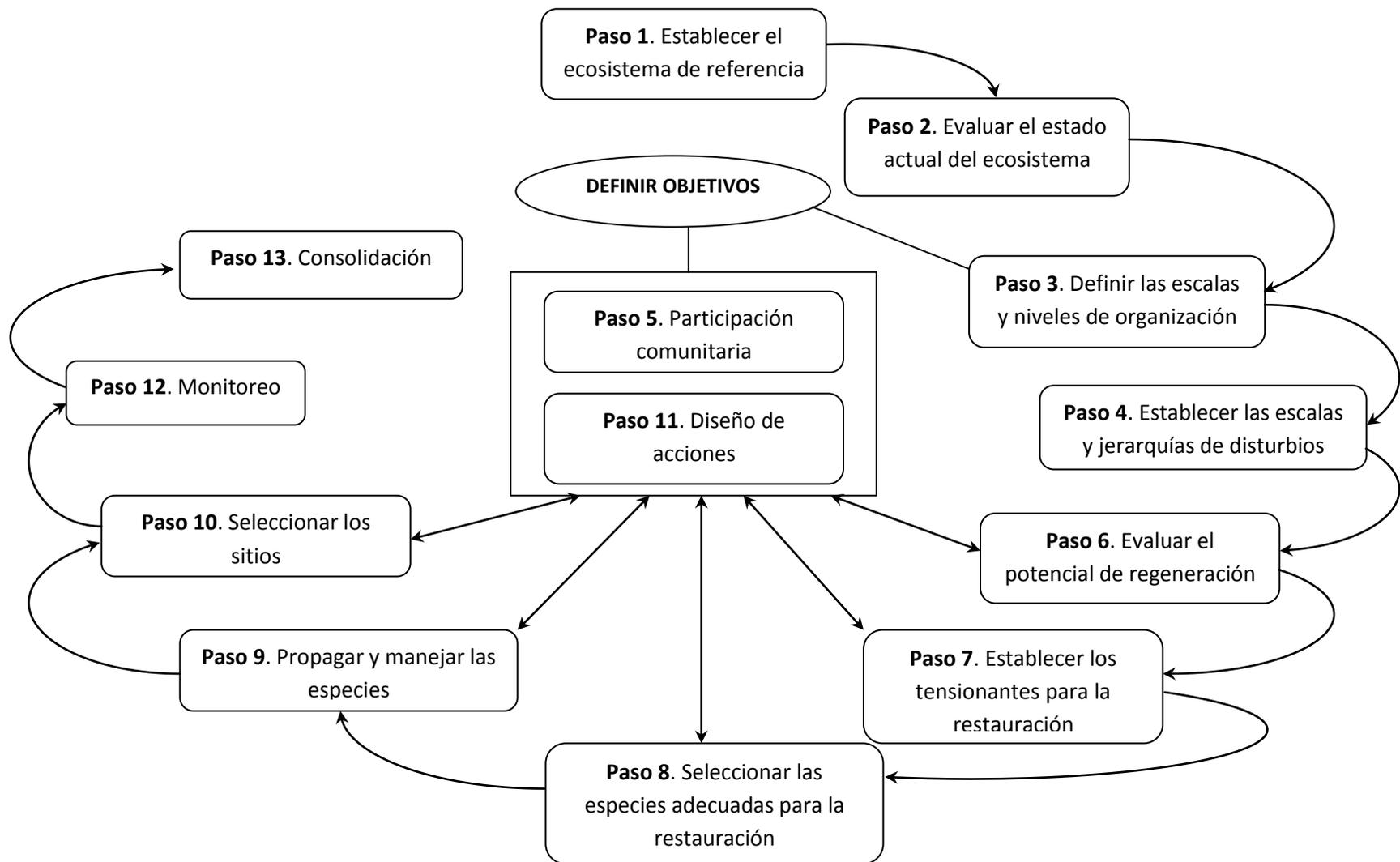
1. Definir el ecosistema o comunidad de referencia.
2. Evaluar el estado actual del ecosistema que se va a restaurar.
3. Definir las escalas y niveles de organización.
4. Establecer las escalas y jerarquías de disturbio.
5. Lograr la participación comunitaria.
6. Evaluar el potencial de regeneración del ecosistema.
7. Establecer los tensionantes para la restauración a diferentes escalas.
8. Seleccionar las especies adecuadas para la restauración.
9. Propagar y manejar las especies.
10. Seleccionar los sitios.
11. Diseñar acciones para superar los tensionantes para la restauración.
12. Monitorear el proceso de restauración.
13. Consolidar el proceso de restauración

En la Figura 1 se presenta la secuencia de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica. La participación comunitaria es muy importante en todo el proceso de restauración y el diseño de acciones se va retroalimentando con los conocimientos derivados de los pasos 6 a 10.

#### **PASO 1. DEFINIR EL ECOSISTEMA DE REFERENCIA.**

El ecosistema de referencia sirve de modelo para planear un proyecto de restauración y más adelante, para su evaluación. No siempre es fácil identificar este referente pero la reconstrucción con base en la información de diferentes fuentes, puede dar mayor certeza de las condiciones previas anteriores a los disturbios. A continuación se presentan siete recomendaciones para establecer el ecosistema de referencia (SER 2004, Vargas 2007):

1. *Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación.* Revistas importantes a tener en cuenta: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Revista Caldasia y Acta Biológica Colombiana de la Universidad Nacional de Colombia. Sistemas de Información Geográfica y Biológica como el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB). Bases de datos de herbarios internacionales, <http://fm1.fieldmuseum.org/vrrc/index.php>; <http://www.tropicos.org/>
2. *Fotografías históricas y recientes, tanto aéreas como terrestres y mapas del sitio del proyecto antes del daño.* Buscar series de fotografías aéreas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) para estudiar la transformación del ecosistema y buscar relictos del ecosistema de referencia. Otras fuentes de información son IDEAM, INGEOMINAS, Instituto Humboldt.
3. *Remanentes del sitio que se ha de restaurar que indiquen las condiciones físicas anteriores y la biota.* En los paisajes aun quedan relictos o parches de la vegetación original, que pueden indicar trayectorias sucesionales posibles del ecosistema original y que tienen una muestra importante de las especies sucesionales tempranas y tardías del ecosistema original (Figura 2).
4. *Descripciones ecológicas y listas de especies de ecosistemas similares e intactos.* Con base en la información de especímenes de herbario y museos. Los herbarios de Colombia, principalmente del Herbario Nacional Colombiano (COL), y los herbarios regionales como el herbario amazónico (SINCHI), PSO (Pasto) CAUP (Popayán), CUVC (Cali), LLANOS (Villavicencio), HUA (Antioquia), COAH (Bogotá), JAUM (Antioquia), FMB (Villa de Leiva), ya que albergan mucha información sobre especies y su distribución. Adicionalmente la información proveniente de los institutos de investigación como: Instituto de Ciencias Naturales (ICN), Instituto Alexander Von Humboldt (IAvH), Instituto de Estudios Ambientales y Meteorología (IDEAM), Instituto de Investigaciones del Pacífico (IIAP), Instituto de Investigaciones Amazónicas (SINCHI) e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR).
5. *Versiones históricas e historias orales de personas familiarizadas con el sitio del proyecto antes del daño.* Los cronistas de Indias, los viajeros y naturalistas, la Expedición Botánica, la Comisión Corográfica aportan muchos datos interesantes sobre distribución de plantas, que pueden ayudar a establecer tipos de vegetación que existieron en un lugar determinado. La reconstrucción por tradición oral, cuando es relativamente reciente, es una gran fuente de información de especies y su distribución.
6. *Evidencias paleoecológicas y paleohidrológicas.* En Colombia gracias a los trabajos del Dr. Thomas van de Hammen y colaboradores, se tiene una muy buena bibliografía de la historia de clima y vegetación de casi todos los grandes biomas (véase por ejemplo van der Hammen 1992 y las publicaciones de la serie EL CUATERNARIO DE COLOMBIA).



**Figura 1.** Secuencia y relaciones de los 13 pasos fundamentales en la restauración ecológica (Vargas 2007)



**Figura 2.** Vegetación remanente para la restauración de bosque andino y humedales (Fotos: O. Vargas)

## **PASO 2. EVALUAR EL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA**

En este paso se hace una evaluación de las condiciones previas y actuales del ecosistema. En esta fase se empieza a tener evidencia del problema para poder precisar posteriormente los objetivos de restauración.

Recomendaciones para evaluar los atributos del estado actual del ecosistema:

### **CONDICIONES DEL PAISAJE.**

- a. Ubicación de relictos o parches del ecosistema original.
  - Número de parches, tamaño, forma, conectividad.
- b. Tipos de usos de la tierra donde se encuentran los relictos (potreros, cultivos, plantaciones). Usos de la tierra en un ciclo anual y su relación con las áreas a restaurar (Figura 3).

### **CONDICIONES BIOTICAS.**

- a. Tipos de comunidades: Composición de especies, dinámica de la vegetación (tipos de sucesiones ecológicas: herbáceas, arbustivas, arbóreas; estratificación).
- b. Ubicación de poblaciones de especies sucesionales tempranas y tardías.
- c. Fauna dispersora de semillas.
- d. Biota en el suelo.

### **CONDICIONES ABIOTICAS.**

- a. Estado del suelo y el agua: Valoración físico-química, contaminación, erosión, niveles freáticos.
- b. Topografía, hidrodinámica, hidrología y geomorfología: Flujo de agua superficial, hidrodinámica estacional, cambios en niveles freáticos, acumulación de sedimentos, tipos de pendientes.
- c. Clima regional: distribución de las precipitaciones, duración de la estación seca, fluctuaciones diarias de las temperaturas, frecuencia de heladas.



**Figura 3.** Evaluación del estado actual del ecosistema y usos de la tierra (Fotos: P. Gómez-Ruiz & O. Vargas)

### **PASO 3. DEFINIR LAS ESCALAS Y NIVELES DE ORGANIZACIÓN.**

Los proyectos de restauración ecológica abarcan diferentes niveles de organización, desde poblaciones de especies y comunidades a ecosistemas o paisajes (Erenfeld 2000, Lake 2001). En cada nivel se definen objetivos de trabajo diferentes y consecuentemente los procesos críticos que se deben tener en cuenta para la restauración cambian según la escala y el nivel de análisis. Para definir los objetivos de un proyecto de restauración es necesario primero precisar escalas y su relación con los niveles de organización.

- **Escala local y Nivel de especie**

Esta aproximación pretende la recuperación de poblaciones de una especie en particular, tratando principalmente de recrear el hábitat de dicha especie. La ventaja de esta aproximación es que posee un objetivo muy claro, que es el rescate mismo de la especie (Erenfeld 2000). Las especies clave deben ser prioridad, pues de ellas depende la persistencia de una gran cantidad de organismos. En algunos proyectos es necesario iniciar proyectos a una escala de parcela, principalmente en el caso de las plantas.

- **Escala local y Nivel de comunidad**

La restauración a nivel de comunidades hace énfasis en el restablecimiento de la comunidad original, especialmente con fines de preservación de comunidades raras o en peligro de extinción, o la restauración de trayectorias sucesionales de especies pioneras. La restauración de comunidades constituye el enfoque primario de una parte importante de los esfuerzos de restauración en la actualidad (Erenfeld 2000), para lo cual la teoría de la sucesión ecológica y su aplicación es la base para la restauración ecológica. Cuando es necesario hacer experimentos haciendo combinación de especies es necesario trabajar a escala de parcela con diseños de

tratamientos (Ver ejemplo en Anexo 7 PNRE - Ficha técnica proyecto *Estrategias para la restauración ecológica de los páramos andinos*).

- **Escala Regional o Nivel ecosistémico**

En la actualidad, la escala a la cual se recomienda establecer los objetivos para la restauración es la escala regional a nivel de ecosistema, en este caso el objetivo de la restauración es principalmente la recuperación de algunas funciones del ecosistema. Esta visión implica que lo que se debe retornar a su estado predisturbio, son las condiciones ecológicas que garantizan la recuperación de la composición, estructura y función del ecosistema, integrando los procesos a gran escala con los de pequeña escala (Herrick *et al.* 2006). La perspectiva ecosistémica posee la ventaja de que permite visualizar todos los procesos fundamentales de funcionamiento de un ecosistema, especialmente en los procesos ligados a las sucesiones naturales (Cairns 1987) (Ver ejemplo en Anexo 7 PNRE - Ficha Técnica proyecto *Experiencias en la reconfiguración física y rehabilitación ecológica de las riberas de humedales de entornos urbanos. Caso Humedal La Vaca, Sector Norte Bogotá, D.C.*).

- **Escala de Paisaje**

La restauración a escala de paisaje implica la búsqueda de la reintegración de ecosistemas fragmentados y paisajes, más que el enfoque sobre un único ecosistema. De hecho, aún si el objetivo de la restauración es planteado a escala ecosistémica, se requiere una visión del proceso a una escala de paisaje, puesto que las funciones ecosistémicas están relacionadas con flujos de organismos, materia y energía entre las diferentes unidades del paisaje (SER 2004). Sin embargo, para la mayoría de paisajes un retorno completo a la situación histórica es poco probable, dado el cambio constante de los procesos que definen el desarrollo de comunidades y ecosistemas (van Diggelen *et al.* 2001) (Ver ejemplo en Anexo 7 PNRE - Ficha Técnica proyecto *Recuperar el páramo. Restauración ecológica en la Laguna del Otún, Parque Nacional Natural los Nevados*).

## **DEFINICION DE OBJETIVOS**

A partir del paso 3 se van precisando los objetivos del proyecto de restauración y sus escalas. Se va definiendo el estado deseado dentro de las posibles trayectorias sucesionales posibles del ecosistema. Cuando el proyecto es de escala regional es importante que inicien activamente su participación las comunidades locales para definir los objetivos.

Los objetivos se deben establecer con mucha claridad para lograr que el proyecto tenga éxito en términos de efectividad y costos. Se debe estar seguro del tipo de influencias externas que pueden afectar el desarrollo del proyecto.

Un aspecto importante para la definición de los objetivos se relaciona con el presupuesto destinado para el desarrollo del proyecto de restauración, ya que de estos recursos depende la extensión del área a intervenir, el personal contratado para las diversas funciones, la cantidad de acciones que puedan ser implementadas y el tiempo que dure la implementación, evaluación y monitoreo. Los presupuestos pueden variar dependiendo del objetivo de la restauración ya que si sólo se trata de una recuperación o rehabilitación implica menos inversión en rescatar el ecosistema con toda su estructura y funcionalidad.

En algunos proyectos es necesario hacer investigación básica y es necesario tenerlo en cuenta en los costos, en otros proyectos es necesario contratar muchos jornales para la siembra de especies, remoción de plantas invasoras y adecuación de las áreas, construcción y mantenimiento de viveros para la propagación y crecimiento de plantas nativas. En general hay que tener en cuenta los costos de personal, pago de jornales, compra de materiales, construcciones si son necesarias y pago de transportes. Es muy importante poder evaluar la relación costo-efectividad de diferentes técnicas de restauración.

#### **PASO 4. ESTABLECER LAS ESCALAS Y JERARQUÍAS DE DISTURBIO**

Todos los ecosistemas están sujetos a un régimen de disturbios naturales y antrópicos, la combinación de éstos establece una dinámica espacial y temporal en los paisajes (Pickett & White 1985, Collins 1987). Por ejemplo, algunos ecosistemas presentan un régimen de disturbio complejo que incluye fuego, pastoreo y disturbio del suelo por animales; cada uno de los cuales difiere en escala, frecuencia e intensidad.

Los principales disturbios naturales son: deslizamientos, vulcanismo, huracanes, tormentas, lluvias y vientos fuertes, inundaciones, heladas, fenómeno del Niño, fuego, sequía y procesos erosivos, disturbios producidos por animales y fuegos naturales. Disturbios antrópicos se relacionan con ganadería y agricultura, minería, deforestación, quemas, la construcción de obras civiles (embalses, oleoductos y carreteras), explotación de especies, siembra de especies forestales exóticas, invasiones biológicas. La tabla 1 presenta los disturbios antrópicos y naturales más frecuentes en los ecosistemas colombianos.

#### ***Dimensión espacial y magnitud***

La escala espacial se refiere a la extensión del disturbio, en términos de las dimensiones físicas de la zona afectada, expresadas en unidades de área o de volumen (Figura 4). La magnitud por su parte, se relaciona con la fuerza, intensidad o severidad del disturbio (Gleen-Lewin & van der Maarel 1992).



**Figura 4.** Definición de la escala espacial y magnitud del disturbio (Fotos: O. Vargas)

### **Dimensión temporal**

Incluye frecuencia y predictibilidad del disturbio. En algunos casos, como por ejemplo los disturbios por fuego, la estación climática en que éste ocurre también debe considerarse en esta dimensión. Según la frecuencia, los disturbios pueden clasificarse como *raros*, si ocurren en un tiempo menor al lapso de vida de las especies más longevas; o *frecuentes*, si ocurren muchas veces dentro del lapso de vida de las especies menos longevas (Noble & Slatyer 1980). En la mitad del espectro están los disturbios *recurrentes*, como fuegos, inundaciones, eventos climáticos extremos y ataque de plagas. Existen también disturbios *continuos*, como el pastoreo intensivo, los cuales suelen tener un impacto significativo sobre las comunidades, especialmente, sobre aquellos ecosistemas que no han evolucionado con esta perturbación como parte de su dinámica.

**Tabla 1.** Principales disturbios antrópicos y naturales en los ecosistemas de Colombia.

<b>Disturbios Antrópicos</b>	<b>Ecosistemas Terrestres</b>	<b>Ecosistemas de Agua Dulce</b>	<b>Ecosistemas costeros</b>
Sistemas de producción extensiva e intensiva			
Deforestación en cuencas y riberas			
Extracción de materiales a cielo abierto			
Desarrollo Industrial y Urbanístico			
Incendios forestales y/o Quemas			
Desección de humedales			
Modificación de regímenes hidrológicos			
Invasiones Biológicas			
Sistemas productivos forestales no sostenibles			
Sobreexplotación de recursos biológicos			
Cultivos Ilícitos			
Contaminación			
Potrericación			
Sedimentación			
Pesca con dinamita y/o red de arrastre			
<b>Disturbios Naturales</b>			
Huracanes			
Terremotos y Maremotos			
Fuegos			
Inundaciones			
Deslizamientos			
Vulcanismo			

### **PASO 5. CONSOLIDAR LA PARTICIPACIÓN COMUNITARIA**

La restauración ecológica es una actividad con diferentes escalas espaciales y temporales, en las cuales los disturbios antrópicos juegan un papel importante en cualquier escala que se elija. La pérdida de los servicios ambientales de los ecosistemas es también una preocupación de las personas en cualquier región y por consiguiente hay que tener en cuenta tanto el manejo regional como las necesidades de las comunidades locales. Por eso es muy importante que la gente participe activamente, desde su formulación en los proyectos de restauración, esto puede garantizar su continuidad y consolidación (Cano & Vargas 2007).

Es muy importante explorar la aceptabilidad que tendría el eventual programa de restauración, en función del entorno socioeconómico que prevalezca en el área, con especial atención a las aspiraciones propias de las comunidades humanas locales, en términos del futuro que desean.

Los conocimientos que tienen las poblaciones humanas locales sobre su región, su historia de uso, la ubicación de las especies y en algunos casos su propagación son conocimientos de gran importancia en el éxito de los proyectos. De esta forma la educación ambiental se vuelve más práctica y se puede consolidar a corto y largo plazo una educación ambiental para la restauración ecológica de la región. La restauración ecológica es una actividad de largo plazo y por consiguiente quienes deben garantizar la continuidad de los proyectos son las poblaciones locales con apoyo de organizaciones locales, municipales, departamentales y nacionales.

#### CLAVES PARA EMPRENDER UN PROYECTO DE RESTAURACION ECOLOGICA CON PARTICIPACION COMUNITARIA (Cano & Zamudio 2006)

La comunidad debe ser contemplada como una unidad integral. Es necesario promover la participación de adultos (mujeres y hombres), jóvenes, niños y niñas y generar procesos de trabajo entre:

1. Comunidad campesina: Trabajadores agrícolas de diferentes edades y géneros.
2. Comunidades Indígenas.
3. Comunidad escolar: profesores, padres de familia y alumnos.
4. Entidades locales: Asociaciones comunitarias, ONG's, Organizaciones indígenas, Organizaciones Ambientales, Entidades estatales que participan en la conservación regional de los recursos.
5. Investigadores de la conservación y restauración ecológica: biólogos, ecólogos, ingenieros forestales, antropólogos, sociólogos, geógrafos y trabajadores sociales.

#### ENFOQUES CONCEPTUALES:

- Investigación Acción Participativa: Mediante este enfoque se plantea a las comunidades como grupo investigador y transformador de su propia realidad.
- Conservación con Base Comunitaria: Se refiere al manejo de recursos naturales a través de la participación de las comunidades.
- Manejo Local de Recursos: Corresponde a la recuperación, conservación y protección de la flora y fauna en su hábitat natural, teniendo en cuenta la característica de los ecosistemas y el valor cultural que le otorgan las comunidades humanas.

#### HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS:

- Cartografía social: Esta metodología considera el territorio como referente espacio – temporal y busca su representación por medio de la construcción colectiva de mapas, en donde se muestran las percepciones locales del entorno natural, político, económico y cultural.
- Recorridos Territoriales: Metodología que complementa la cartografía social. A través de ellos se puede precisar y actualizar la información consignada en los mapas de territorio.

- **Conversatorios:** Son encuentros con diferentes participantes en los cuales se busca el diálogo de saberes sobre un tema específico. En ellos, aparecen puntos de vista distintos y se procura establecer consensos de opinión.

#### RECOMENDACIONES:

- Diseñar participativamente acciones para recuperar los elementos de los ecosistemas.
- Seleccionar las áreas donde se implementarán las acciones de restauración (fincas, áreas de interés comunitario, áreas de conservación).
- Integrar el conocimiento local y promover su aplicación en las acciones de restauración.
- Difusión de técnicas de propagación de especies nativas y manejo de viveros e invernaderos.
- Integración del tema de la restauración ecológica en los programas académicos de los centros educativos.
- Realización de actividades prácticas e investigativas con los estudiantes de escuelas y colegios y los padres de familia.
- Fortalecimiento del conocimiento de los funcionarios públicos con relación a la restauración ecológica.
- Creación participativa de materiales que divulguen el conocimiento local y las acciones de restauración iniciadas (herbarios, plegables informativos, cartillas, boletines).
- Encuentros comunitarios en los cuales se reúnan diferentes tipos de participantes para intercambiar experiencias de Restauración Ecológica.

Tanto para la conservación y restauración de ecosistemas es muy importante lograr que las instituciones del estado puedan ofrecer incentivos económicos a las comunidades o propietarios locales. En este sentido la conservación y restauración deben ir juntas puesto que el mantenimiento de servicios ambientales se logra tanto por la conservación como por la restauración ecológica. Con la restauración ecológica se recuperan servicios ambientales como el agua, la fijación de CO<sub>2</sub>, suelo, biodiversidad y control de la erosión, entre otros. Por esta razón es muy importante que quien demuestre recuperación de servicios ambientales, tenga una retribución económica.

#### **PASO 6. EVALUAR EL POTENCIAL DE REGENERACIÓN**

En la fase diagnóstica la evaluación del potencial de regeneración se refiere a la disponibilidad de especies en la región, su ubicación, abundancia, su etapa sucesional. El potencial de regeneración se define entonces, como el conjunto de especies nativas y trayectorias sucesionales que ofrece un paisaje. En esta fase se tiene una aproximación a las especies pioneras y a las especies de sucesión tardía, a las especies dominantes, codominantes y raras y sobre todo a las especies que potencialmente pueden ser utilizadas en experimentos y programas de restauración. Muchas especies pueden estar extintas localmente, pero no regionalmente, es por esto que es necesario tener muy claro el contexto regional.

Algunas de las trayectorias sucesionales pueden servir como ecosistema o comunidad de referencia y es importante conocer muy bien su composición de especies, estratificación y los mecanismos de regeneración de las especies: bancos de semillas, bancos de plántulas, bancos de retoños y los mecanismos de dispersión en el paisaje.

#### **PASO 7. ESTABLECER LOS TENSIONANTES PARA LA RESTAURACIÓN A DIFERENTES ESCALAS**

Por tensionantes o barreras a la restauración ecológica se entiende todos aquellos factores que impiden, limitan o desvían la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales y antrópicos (Vargas *et al.* 2007).

Los tensionantes para la restauración ecológica pueden clasificarse en dos tipos: ecológicos y socioeconómicos. Los de tipo ecológico se relacionan con los factores bióticos y abióticos resultantes del régimen de disturbios natural y antrópico, los cuales influyen en los diferentes mecanismos de regeneración y colonización de las especies, es decir, los procesos necesarios para que ocurra la **dispersión** de propágulos (principalmente semillas), el **establecimiento** de las plántulas y la **persistencia** de los individuos y las poblaciones de plantas. Los de tipo socioeconómico son todos los factores políticos, económicos y sociales que limitan los procesos de regeneración natural, principalmente los tipos de uso de la tierra.

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>a. Tensionantes relacionados con la dispersión de las plantas</li><li>b. Tensionantes relacionados con el establecimiento de las plantas</li><li>c. Tensionantes relacionados con la persistencia de las plantas</li><li>d. Tensionantes sociales</li></ol> |
|---|

#### **Tensionantes Ecológicos**

##### **1. Fase de dispersión.**

Los tensionantes en la fase de dispersión de propágulos son causados generalmente por la fragmentación y pérdida de hábitats y la extensión de matrices de potreros, cultivos y especies exóticas. Estos tensionantes hacen referencia al destino de los propágulos (p.ej. el destino de las semillas). Los más comunes a la dispersión son:

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Ausencia de polinizadores.</li><li>2. Ausencia de propágulos (principalmente semillas)</li><li>3. Ausencia de animales dispersores.</li><li>4. Corta longevidad de las semillas y germinación impedida.</li><li>5. Ausencia de plantas niñeras o plantas facilitadoras.</li><li>6. Predación de semillas.</li><li>7. Ausencia de un banco de semillas del ecosistema original.</li><li>8. Matriz continua de pastos que impide la regeneración.</li><li>9. Presencia de especies invasoras o colonizadoras agresivas.</li></ol> |
|--|

##### **2. Fase de establecimiento**

La fase de establecimiento comprende la germinación de las semillas y el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas. Los tensionantes al establecimiento pueden clasificarse en dos grandes grupos relacionadas con factores abióticos y bióticos.

<b>Factores abióticos</b>	<b>Factores bióticos</b>
1. Ausencia de micrositios para el establecimiento de las plántulas. 2. Restricciones climáticas (sequía, heladas, inundaciones) 3. Suelo inadecuado (erosión, compactación, contaminación, ausencia o exceso de nutrientes, pérdida de materia orgánica).	1. Ausencia de micorrizas 2. Hojarasca gruesa que impide el establecimiento. 3. Herbivoría 4. Competencia 5. Presencia de especies invasoras.

### 3. Fase de persistencia

La fase de persistencia hace referencia a que una especie una vez establecida pueda crecer y cumplir su ciclo normalmente, sin ser disminuida su biomasa o que algún factor le cause mortalidad. Ejemplos son:

<b>Factores abióticos</b>	<b>Factores bióticos</b>	<b>Factores sociales</b>
1. Restricciones climáticas (Sequía, heladas, inundaciones). 2. Fuegos naturales	1. Competencia 2. Herbivoría 3. Plagas 4. Presencia de especies invasoras.	1. Pastoreo y agricultura 2. Fuegos antrópicos 3. Introducción de especies invasoras. 4. Corte

## PASO 8. SELECCIONAR LAS ESPECIES ADECUADAS PARA LA RESTAURACIÓN

La selección de especies para la restauración es un aspecto muy importante, puesto que el éxito de los proyectos depende de la capacidad para dicha selección (Tabla 2).

Del listado de especies y sus trayectorias sucesionales registrado en el potencial de regeneración, se seleccionan las especies más importantes bajo una escala de atributos o rasgos que pueden ser útiles en los sitios que se van a restaurar. Por ejemplo, para áreas en donde hay que recuperar el suelo es muy importante combinar especies fijadoras de nitrógeno con especies que produzcan gran cantidad de hojarasca. En esta fase es necesario combinar el conocimiento de la gente y el conocimiento de expertos locales y científicos.

## PASO 9. PROPAGAR Y MANEJAR LAS ESPECIES.

Una vez seleccionadas las especies se presenta el problema de la consecución del material, dado que muchas especies no se consiguen en los viveros locales, o las cantidades no son suficientes para las necesidades del proyecto.

La propagación es la capacidad de las plantas para reproducirse, ya sea de forma sexual o vegetativa (asexual); la primera de estas se da por medio de las semillas y la segunda mediante células, tejidos y órganos. Existen tres tipos de propagación vegetativa: 1. la propagación por

rizomas, estacas, esquejes, bulbos, tubérculos, estolones y segmentos de órganos como tallos y hojas; 2. la propagación por injertos donde segmentos de una planta se adhieren a otra receptiva más resistente de mejores características; y 3. la propagación *in vitro*, en la cual células, partes de tejido u órganos son cultivados en condiciones controladas de laboratorio (Cardona 2007).

La escasez de propágulos de especies pioneras que inicien la sucesión y de especies de estados sucesionales más avanzados que permitan la recuperación de la estructura del ecosistema, y la composición del mismo es una limitante para la implementación de acciones de restauración.

La construcción de viveros o invernaderos es muy importante para la propagación y crecimiento permanente del material requerido. En ciertos casos, los costos de construcción de un vivero pueden ser altos. En estos casos es posible conseguir plántulas o rebrotes o sembrar directamente las semillas en el área a restaurar.

**Tabla 2.** Ejemplo de atributos para tener en cuenta en la selección de especies (Adaptado de Rodríguez & Vargas 2007)

<b>ATRIBUTOS PARA LA SELECCIÓN DE PLANTAS</b>		
<b>Morfológicos</b>	<b>Reproductivos</b>	<b>Otros</b>
Planta completa *Hábito: arbusto, árbol, hierba *Altura	*Reproducción sexual *Reproducción vegetativa	Nivel poblacional: frecuencia, abundancia y tipo de distribución de la especie (individuos aislados o agrupaciones).
Copa *Forma de la copa *Cobertura de la copa (diámetro aproximado) *Densidad de follaje	Estrategia de dispersión de las semillas: *Zoocoria, anemocoria y/o barocoria (tipo de fruto)	Asociación *Tipo de asociación con otras especie nativas y/o exóticas) *Presencia de micorrizas
Hoja *Área foliar específica. *Contenido de Materia Seca. *Cociente peso fresco/peso seco *Tipo de hoja	Estrategia de Polinización *Ornitofilia, entomofilia o anemofilia (tipo de flor)	*Tolerancia a la luz. *Resistencia a Heladas. *Fijadora de Nitrógeno. *Producción de Hojarasca (diaria, semanal, mensual). *Defensas anti-herbívoros. * Estado fitopatológico: nivel de ataque.
	*Banco de semillas *Banco de plántulas *Banco de retoños	*Usos tradicionales y/o industriales potenciales: Protección márgenes hídricas y nacederos; Control erosión, recuperación de suelos y protección taludes; Cerca viva; Ornamental ; Barrera contra heladas *Prestación de Servicios Ambientales

## PASO 10. SELECCIONAR LOS SITIOS.

La selección de los sitios a restaurar, o donde se van a realizar experimentos, debe hacerse cuidadosamente. En este paso ya hay un conocimiento de lo que sucede a diferentes escalas, principalmente como actúa el régimen de disturbios naturales y antrópicos.

El conjunto de recomendaciones para la selección de los sitios hace referencia principalmente a una combinación de factores abióticos, bióticos y las poblaciones humanas locales (Vargas 2007).

### 1. Ubicación en sitios accesibles.

Las facilidades logísticas son de gran importancia para garantizar el éxito del proyecto. Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Vías o caminos de acceso, o sitios cercanos en donde no sea difícil el transporte de los materiales necesarios.
- b. Fácil acceso para personas mayores y niños, con el fin de emprender acciones de participación y educación.
- c. Facilidades para realizar la fase de monitoreo.

### 2. Áreas de interés comunitario.

Es importante que se discuta con la comunidad los sitios prioritarios para restaurar, lo ideal es que la comunidad participe en la selección de los sitios, por algún interés especial relacionado con servicios ambientales, como agua, detener la erosión, recursos de amplia utilización por las comunidades.

### 3. Definir disturbios y tensionantes y su frecuencia.

Si no se eliminan de una forma definitiva los factores tensionantes es posible que el proyecto no sea viable. En algunos ecosistemas donde los disturbios hacen parte de su dinámica natural es importante restaurar la frecuencia de disturbios, como por ejemplo inundaciones, fuegos, hidrología. Tener en cuenta las recomendaciones de las comunidades locales en cuanto a fenómenos estacionales como inundaciones, fuegos, heladas.

### 4. Explicar a las comunidades locales el papel de los disturbios y perturbaciones en los procesos ecológicos.

5. Evaluar con las comunidades locales las actividades humanas, buscando la mayor compatibilidad posible con el proyecto. Evaluar si algunas prácticas culturales son compatibles con el desarrollo de proyectos de restauración. Por ejemplo el uso estacional de recursos.

6. Establecer si en el sitio o en sus alrededores se presentan poblaciones muy abundantes de pequeños herbívoros como conejos, curíes, que se puedan convertir estacionalmente o permanentemente en tensionantes.

7. Se debe evaluar si hay especies invasoras en el sitio o en los alrededores y evitar que se introduzcan estas especies tanto de plantas como de animales. Planear actividades continuas con la comunidad, para el manejo de especies invasoras.

8. No es recomendable remover especies introducidas naturalizadas (no invasoras) que cumplen una importante función ecológica.

9. Evaluar los gradientes topográficos naturales y patrones de drenaje.

10. Restablecer el régimen del flujo hidrobiológico natural.

11. Evaluar el estado del suelo.

## PASO 11. DISEÑO DE ACCIONES PARA LA RESTAURACIÓN

Se plantean cinco conjuntos de acciones dependiendo del tipo de disturbio y sus tensionantes (Brown & Lugo 1994, Vargas 2007):

1. Basadas en la remoción y control de los tensionantes leves (frecuencia de quemas, sobrepastoreo, tasa de cosecha, erosión moderada)
2. Basadas en la adición de especies (plantas, animales o microorganismos) o materiales (fertilizantes, materia orgánica, agua)
3. Basadas en la regulación de la tasa de procesos ecosistémicos, es decir, los flujos entre los compartimientos (ej: regular la composición y estructura del suelo para sincronizar liberación de nutrientes y captación vegetal de estos).
4. Basadas en la remoción de los tensionantes severos.
5. Basadas en la regulación de las fuentes de entradas de energía.

En algunos pastizales de los trópicos se han utilizado muchas acciones, de las cuales, se destacan entre las más comunes: a) manejo de la regeneración natural b) distribución de perchas para aves, artificiales y/o naturales c) utilización de árboles aislados o vegetación remanente presente en el área a restaurar d) incorporación de árboles de especies pioneras nativas, e) recolección y trasplante de plántulas presentes dentro de la misma área a restaurar o en los alrededores.

Se trabajan y plantean otras opciones de carácter específico, dependiendo del sitio de trabajo, igual o más apropiadas para la recuperación de áreas degradadas, algunas de ellas son: a) dispersión manual de semillas b) aprovechamiento de rebrotes, c) utilización de troncos en descomposición, d) formación de microsítios en los cuales se favorezca la germinación y crecimiento de las plántulas, e) sistemas agroforestales, f) aplicación de suelo donado proveniente del ecosistema de referencia, g) siembra de plántulas provenientes del banco de semillas, h) formación de islas de recursos o núcleos de facilitación, i) plantaciones forestales de especies nativas como catalizadoras de sucesión, j) uso del pastoreo para controlar el crecimiento de los pastos y para ayudar a dispersar semillas, k) cercos vivos y barreras rompevientos, l) establecimiento y ampliación de corredores riparios, m) tratar o reemplazar los suelos degradados, n) formación de doseles, o) ampliación de bordes de bosque.

Todas las acciones anteriores se pueden clasificar en: a) manipulación del ambiente físico, b) manipulación del ambiente químico, c) manipulación del ambiente biótico (Perrow & Davy 2002).

A continuación se explican brevemente algunas de las acciones más comunes en restauración ecológica (Vargas 2007):

### *Eliminación de Disturbios y tensionantes*

- Erradicación de las matrices de pastos invasores: para facilitar la recolonización por parte de las especies nativas, es necesario eliminar de las zonas de restauración los pastos que han colonizado estas áreas por causa del pastoreo y abandono de cultivos. Debido a que la mayoría de estas especies invasoras son altamente competitivas se requiere de varias acciones como erradicación manual, competencia con otras especies y tratamientos de sombra para lograr un control efectivo.

- Creación de refugios artificiales para fauna: con la acumulación de troncos, piedras y algo de vegetación, se pueden formar agrupaciones que pueden servir como albergues temporales o sitios de paso para la fauna nativa. (Vargas 2007). Mejorar las condiciones abióticas para el desplazamiento de las especies favorece simultáneamente la dispersión zocora de muchas especies vegetales.
- Controlar los impactos del turismo mal dirigido: es importante que las comunidades locales y habitantes de la zona, reconozcan y valoren sus recursos naturales asociados a los páramos, por lo tanto se espera que las actividades turísticas puedan continuar de forma organizada. Para esto se requiere el establecimiento de una brigada ambiental local (entrenada en el manejo de los recursos y atención a los turistas), educación ambiental en escuelas y organizaciones locales, y establecimiento de un centro de información (Llambí *et al.* 2005).
- Utilización de perchas artificiales para aves: Con esta estrategia se busca aumentar la dispersión de semillas en potreros. Son estructuras en madera con diferentes arreglos, que permiten la llegada de aves a la matriz de pastizal, dando lugar a un aumento significativo de la tasa de deposición de semillas de plantas ornitócoras y la implantación de individuos que no llegan en condiciones naturales, teniendo consecuencias en la aceleración de la recuperación del bosque, así como en la acumulación de un banco de semillas del bosque.

#### *Selección y Propagación de especies:*

- Evaluación del banco de semillas: tomar muestras de suelo y hojarasca del sitio a restaurar para conocer su composición de especies y la distribución espacial de las semillas (Moscoso & Diez 2005). Con base en esta evaluación se podría determinar la capacidad de regeneración natural del ecosistema y cómo ha variado la estructura en consecuencia de las perturbaciones (Parker *et al.* 1989, Bakker *et al.* 1996). A partir del banco de semillas se puede obtener material vegetal para ser utilizado en el enriquecimiento de las áreas a restaurar.
- Propagación de material vegetal nativo adecuado para el sitio de intervención: a partir del ecosistema de referencia o de las áreas circundantes en buen estado de conservación se recolectan semillas y plántulas de las especies de interés (Cole 2007), lo cual evitaría los costos que implica la adquisición de semillas de vivero o individuos juveniles. La reintroducción de ciertas especies puede incrementar significativamente los niveles de materia orgánica y desencadenar el proceso de sucesión secundaria en áreas agropecuarias degradadas y abandonadas (Zahawi 2005). Esta estrategia puede estar acompañada con fertilización y deshierbe, en el caso de pastizales (Román-D. *et al.* 2007).
- Uso de árboles remanentes: los árboles remanentes desempeñan un papel crítico en la recuperación de los bosques naturales al aumentar la dispersión de semillas, mejorar las condiciones microclimáticas e incrementar los nutrientes del suelo. Debe alentarse la retención de algunos árboles semilleros en áreas intervenidas y la plantación o el mantenimiento de árboles en tierras agrícolas a fin de mejorar la calidad del hábitat mientras se usa la tierra para la agricultura y facilitar su recuperación si la tierra es abandonada (OIMT 2002).
- Siembra directa de semillas: debido a los disturbios, la continuidad del páramo se ve afectada y hay muchas especies que no forman banco de semillas o que éste ha sido degradado por algún disturbio, por lo tanto, se puede superar esta barrera a la dispersión, adicionando

propágulos en sitios donde difícilmente pueden llegar las especies por sus propios mecanismos, más aun cuando han perdido potenciales dispersores animales (Vargas 2007).

- Siembra de plántulas en parcelas de enriquecimiento: posterior a la propagación de las semillas en condiciones de vivero o invernadero, las plántulas obtenidas se siembran en conjunto con especies fijadoras de N o que tengan micorrizas para un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo (Vargas 2007).
- Montaje de viveros locales: en asociación con las comunidades vecinas de las áreas a restaurar puede promoverse la propagación de las diferentes especies utilizadas en las acciones de restauración, de forma que se de continuidad a los procesos en escalas de tiempo mayores e igualmente pueden ser fuente para desarrollar otras acciones.

#### *Creación de micrositios y matrices de vegetación*

- Siembra de especies niñeras facilitadoras: Por facilitación se entiende el efecto positivo de una especie o cierto tipo de vegetación sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otra(s) especie(s), en comparación con unas condiciones existentes en el ambiente exterior. Se han desarrollado técnicas para restaurar potreros degradados en los trópicos por medio de la siembra de plántulas debajo de árboles, matorrales o cultivos niñeros; en estas acciones se propone también sembrar especies de crecimiento rápido, que forman dosel en poco tiempo y que mejoran las condiciones del suelo al fijar nitrógeno o asociarse con micorrizas. La siembra de especies niñeras debe estar acompañada también de un conjunto más diverso de especies cuando no hay suficiente dispersión de propágulos en el sitio.
- Formación de núcleos activos de dispersión: por medio de la siembra de especies arbustivas y herbáceas nativas atrayentes de animales dispersores y polinizadores. Se utilizan individuos adultos, con altura superior a 1 m. y que estén dispersando de semillas o en floración. Con esto no sólo se atrae fauna a la zona de restauración, también ayuda a la regeneración natural (Vargas 2007).
- Creación de un relieve microtopográfico para generar y aumentar los micrositios: por medio de pequeños aclareos en zonas donde el suelo está muy compactado, puede modificarse la estructura por medios mecánicos, creando espacios que puedan ser colonizados por las especies de la zona, permitiendo el flujo de gases y agua que serán aprovechados por los propágulos que allí se encuentren. También se facilita la consecución de nutrientes porque la remoción aumenta la heterogeneidad del suelo (Vargas 2007).
- Siembra de especies arbustivas nativas atrayentes de polinizadores y dispersores: seleccionar especies nativas que sirvan para atraer diversos animales que actúen como dispersores o polinizadores de otras especies también, por lo tanto, estas especies deben ser generalistas en este aspecto.
- Regeneración natural: Se debe utilizar en áreas poco perturbadas. En esta estrategia se utilizan los servicios de animales asociados a los frutos y/o semillas de la región. Permite la creación de “núcleos” de regeneración que tienen la función de facilitar el establecimiento de nuevas plantas. Esta estrategia se basa en los principios de la sucesión ecológica, sin embargo no

siempre es posible prever las características de las especies que llegarán. Una ventaja importante de esta estrategia es el bajo costo, aunque su éxito dependerá de las características climáticas y del paisaje regional (Rondón & Vidal 2005).

- Ampliación de bordes utilizando bancos de plántulas y retoños: hacer rescate de plántulas y retoños de los parches de bosque existente y utilizarlos para el avance de los bordes del bosque (Acosta & Vargas-Ríos 2007).
- Disturbios experimentales que inicien la sucesión: En ambientes transformados la inducción de un disturbio en el sistema logra generar las condiciones que pueden iniciar o reactivar un proceso sucesional, disminuir la presencia de especies invasoras, liberar recursos que permitan el establecimiento de especies nativas, entre otros. Los disturbios experimentales simulan unas condiciones específicas y sus variaciones dependen de los objetivos planteados, los cuales están sujetos a las condiciones del sitio a restaurar: pueden enfocarse a controlar una especie invasora, reducir la influencia de una especie dominante y aumentar el recurso disponible como la especie de colonización, los nutrientes y el agua del suelo. Pueden efectuarse de manera manual o mecánica y pueden actuar de manera directa o indirecta. Con la aplicación de disturbios experimentales también se busca generar un cambio en el patrón sucesional, al reducir o eliminar la cobertura de las dominantes y con esto disminuir la competencia por el recurso. También busca reabastecer los recursos agotados, reducir la herbivoría, eliminar tóxicos acumulados en el substrato, generar condiciones como mayor intensidad lumínica y ampliar la fluctuación de la temperatura, que estimule la germinación de especies latentes en el banco de semillas.

#### *Recuperación de Suelos*

- Remoción de la vegetación epigea e hipogea: para facilitar el proceso de establecimiento de las especies nativas, es necesario remover la vegetación que no es propia del ecosistema para dar espacio a las nativas. No sólo basta remover las partes aéreas ya que muchas de las plantas de páramos pueden reproducirse clonalmente, por lo cual hay que eliminar también el sistema radicular hasta donde sea posible, sin remover o alterar mucho el suelo.
- Enmiendas para mejorar las condiciones del suelo: En sitios altamente deteriorados se requiere el enriquecimiento de nutrientes en el suelo, mediante el uso de enmiendas orgánicas y/o químicas. Los fertilizantes químicos poseen una alta capacidad para suplir nutrientes escasos y pueden servir para obtener una cobertura vegetal rápidamente. Este tipo de resultados pueden ser útiles en casos donde es necesario recuperar algunas características ambientales, tales como cobertura vegetal protectora, estabilidad de suelos, o retención de agua en un corto tiempo, sin esperar recuperar la composición o estructura del ecosistema.

Por otra parte la enmienda orgánica puede aumentar el potencial de reforestación, especialmente en sitios altamente degradados, pero estudios realizados en áreas secas, han mostrado que este tipo de enmiendas puede causar una alta mortalidad en las primeras etapas de las plántulas. Una enmienda orgánica muy utilizada para la recuperación de suelos en sitios altamente alterados son los biosólidos, obtenidos a partir de aguas residuales, que contienen altas cantidades de materia orgánica, fósforo (P), potasio (K) y alta humedad.

Descompactación mecánica del suelo: en sitios disturbados principalmente por ganadería, ya que el pisoteo del ganado modifica principalmente las características hidráulicas del suelo, lo cual afecta el desarrollo del sistema radicular de las especies haciendo que sean más susceptibles de

ser removidas fácilmente (Basset & Mitchell 2005). Esta descompactación puede hacerse con herramientas de labranza, de forma que no se genere una alteración más grave al usar maquinaria más pesada.

Trasplante de suelo de zonas sin disturbio en bloques o desmoronado: Con esta estrategia se busca introducir al ecosistema a restaurar: microfauna del suelo, varias fuentes de propágulos y enriquecimiento de nutrientes y se aprovecha la capacidad de algunas especies de tener semillas que se mantienen viables en el suelo, formando bancos de semillas que podrían expresarse cuando se den las condiciones necesarias (Vargas 2007). Esta estrategia puede propiciar la formación de pequeños nichos de regeneración y colonización, además de favorecer la variabilidad genética (Tres & Reis 2007).

Combinación de acciones entre remoción de la vegetación superficial, adición de enmiendas y siembra de especies (Cole 2007). Con esto se busca acelerar el proceso sucesional al realizar varios pasos simultáneamente que logren superar la barrera al establecimiento y reducir la escala de tiempo para la obtención de resultados.

Restaurar la fertilidad del suelo, dejando que los periodos de descanso entre cultivos sean más de 5 años. Por medio del análisis de la biomasa microbiana se obtiene un buen estimativo del grado de disturbio debido a la agricultura (Llambí & Sarmiento 1999).

Empleo de endomicorrizas: Los hongos formadores de micorrizas (HMVA) dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrientes minerales, especialmente los poco móviles como el fósforo, también estimulan la producción de sustancias reguladoras de crecimiento, incrementan la tasa fotosintética, promueven ajustes osmóticos cuando hay sequía, aumento de la fijación de nitrógeno por favorecer a las bacterias simbióticas asociativas, incrementan la resistencia a plagas, la tolerancia a estrés ambiental, contribuyen a mejorar la agregación del suelo y ser mediadores de muchas de las acciones e interacciones de la microflora y la microfauna que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces. Luego de un disturbio forestal el inoculo de micorriza puede ser insuficiente, incrementar la densidad de micorrizas a través de la inoculación es crucial para una regeneración exitosa, además se pueden reducir los costos de producción, por la disminución de tiempo de permanencia de las plantas en el vivero. Se pueden variar las especies de HMVA que se emplean, las cuales pueden ser nativas o comerciales, la composición del inoculo el cual puede ser mono específico o poliespecífico y en cuanto al tipo de inoculo, que puede componerse de esporas aisladas, raicillas colonizadas por HMVA, suelo con esporas.

Acciones integrales de conservación y restauración ecológica en paisajes rurales se conoce como HERRAMIENTAS DE MANEJO DEL PAISAJE (Lozano-Zambrano 2009). El objetivo principal de esta estrategia es aumentar la calidad de los hábitats para la fauna, aumentar la cobertura nativa e incrementar la conectividad de los elementos del paisaje rural, restaurando corredores de hábitats.

Las principales acciones utilizadas son:

Conservación de remanentes de ecosistemas naturales, para lo cual se hacen cerramientos de bosques remanentes con cercas vivas de aislamiento.

Enriquecimiento del bosque secundario con especies nativas.

Ampliación de parches de bosque o cañadas.

Incremento de la conectividad a través de la formación y restauración de corredores biológicos.  
Cercas vivas mixtas en las fincas y ganadería sostenible.  
Mantenimiento y siembra de árboles dispersos en los potreros.

## **PASO 12. MONITOREAR EL PROCESO DE RESTAURACIÓN**

Dentro de un proceso de restauración ecológica, el monitoreo consiste en el seguimiento y evaluación continuos de los cambios que experimenta el ecosistema, bajo los diferentes tratamientos de restauración aplicados. Tiene como objetivo final asegurar el éxito en la restauración ecológica, brindando información necesaria para evaluar y ajustar las prácticas de restauración, de modo que puedan ser modificadas en cualquier momento; de esta manera, si los resultados obtenidos en los tratamientos aplicados son negativos o indeseables, dichos tratamientos se modifican o detienen; por el contrario, si se obtienen resultados positivos, estos tratamientos se continúan, multiplican, y si es posible, se mejoran (Block *et al.* 2001, Brunner & Clark 1997, Díaz 2007).

El diseño del programa de monitoreo debe realizarse en el mismo momento en el que se plantean los objetivos de la restauración y se planean los tratamientos que serán aplicados. De esta manera, un monitoreo ecológico efectivo se entiende como un proceso que acompaña al proceso de restauración desde el diagnóstico del estado actual del ecosistema, y continúa durante la implementación de los tratamientos y el desarrollo de los mismos, terminando en el momento en que se considera que el ecosistema ha recuperado su integridad ecológica (Holl & Cairns 2002).

En el diseño de un programa de monitoreo, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos (Díaz 2007):

- a. Definir los objetivos del programa de monitoreo en el mismo momento en que se definen los objetivos de la restauración ecológica, y en concordancia con estos.
- b. Establecer las escalas espaciales y temporales (monitoreo a corto y largo plazo), en las cuales se desarrollarán la restauración ecológica y el programa de monitoreo.
- c. Seleccionar los parámetros que se han de monitorear y los indicadores ecológicos adecuados para evaluar su desempeño.
- d. Escoger la metodología adecuada para el monitoreo de los diferentes indicadores ecológicos.

Tipos de monitoreo en restauración ecológica.

Uno de los puntos importantes a tener en cuenta al diseñar el programa de monitoreo, es que existen dos tipos de monitoreo relevantes en restauración ecológica: el monitoreo de implementación o de corto plazo y el monitoreo de efectividad o de largo plazo (Block *et al.* 2001).

El monitoreo de implementación busca evaluar si los tratamientos de restauración se llevaron a cabo como fueron diseñados, cuantificando los cambios que ocurren en el ecosistema inmediatamente después de los tratamientos. Este seguimiento de los primeros cambios en el ecosistema en restauración, permite determinar si la estrategia de manejo implementada está cumpliendo con el objetivo propuesto, lo cual se logra a través del análisis de la respuesta del sistema ecológico a escalas espaciales y temporales pequeñas. Este monitoreo permite ajustar las acciones de manejo rápidamente, cuando los resultados de la evaluación indican que los cambios en el ecosistema están tomando direcciones indeseadas.

En el monitoreo de efectividad se busca determinar si se cumplió con el objetivo último de la restauración, mediante análisis realizados a escalas espacio-temporales más grandes. En este monitoreo se evalúa si los principales patrones y procesos ecológicos del ecosistema se restablecieron. La información obtenida en este monitoreo, permite además redefinir los objetivos de restauración ecológica y ajustar la estrategia de manejo (Herrick *et al.* 2006).

### **La elección de los indicadores ecológicos para el monitoreo de la restauración**

Uno de los pasos cruciales en el diseño del monitoreo, es la selección de los indicadores adecuados. Estos son variables que permiten evaluar el estado del ecosistema en cualquier punto del proceso de restauración, con respecto a los objetivos de restauración.

En el momento de definir estas variables, es importante elegir aquellas que cumplan con ciertas características, entre las cuales se destacan las siguientes (véase Díaz 2007):

- Ser definibles claramente.
- Ser fácilmente medibles e interpretables.
- Ser útiles para múltiples análisis.
- No tener carácter destructivo.
- Brindar el máximo de información por unidad de área.
- Proveer información con respecto al incremento en las características deseables y la reducción de las no deseables.

El plan de restauración entonces debe tener las siguientes características:

- ✓ Los datos recopilados y los resultados deben ser acumulativos y estar disponibles para futuras experiencias de restauración.
- ✓ La eficiencia de los datos tomados debe ser maximizada y los costos minimizados para garantizar un menor esfuerzo de muestreo
- ✓ El monitoreo debe realizarse a diferentes escalas que correspondan con los objetivos propuestos.
- ✓ Se deben seleccionar atributos que sean monitoreables, los cuales permitan tener datos en mediciones repetidas en el tiempo.
- ✓ Los protocolos de seguimiento y toma de datos deben ser claramente delineados para que puedan tener continuidad.

### **PASO 13. CONSOLIDAR EL PROCESO DE RESTAURACIÓN**

La consolidación de un proyecto de restauración implica que se han superado todos los tensionantes del disturbio y que el ecosistema marcha de acuerdo a los objetivos planteados, las labores de mantenimiento y monitoreo deben indicar que el proceso marcha satisfactoriamente y el ecosistema empieza a mostrar variables de autosostenimiento, como el enriquecimiento de especies, la recuperación de la fauna, el restablecimiento de servicios ambientales relacionados con la calidad del agua y el suelo.

La importancia de consolidar áreas en proceso de restauración se fundamenta en los siguientes aspectos (Vargas 2007):

1. Garantizan la permanencia de procesos que se pueden monitorear a largo plazo.
2. Permiten ajustar trayectorias sucesionales del ecosistema que se pretende restaurar, según los resultados del monitoreo.
3. Consolidan el conocimiento de las especies adecuadas (tasas de crecimiento, acciones reproductivas).
4. Se ponen a prueba conocimientos en ecología.
5. Facilitan el ensayo de nuevos grupos de especies sucesionales tempranas y tardías, dentro del potencial total de regeneración del ecosistema.
6. Se recupera adecuadamente la fauna nativa, principalmente su estructura trófica.
7. Son áreas permanentes de investigación, educación y divulgación para la conservación y restauración de ecosistemas.
8. Generan conocimientos aplicables a otras áreas del mismo ecosistema y a otros tipos de ecosistemas.
9. Permiten que las comunidades locales (niños y niñas, jóvenes y adultos), tengan una participación permanente en los programas de restauración.
10. Permiten que los funcionarios locales tengan una actividad en todas las fases de los proyectos de restauración.
11. Centralizan esfuerzos de instituciones de orden nacional, regional y local y consolidan grupos de investigación de instituciones académica.

## Literatura citada

- Acosta, M. & O. Vargas-Ríos. 2007. Ampliación de fragmentos de bosque altoandino. En: Orlando Vargas-Ríos (Ed.) Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la Reserva Forestal de Cogua, Cundinamarca. Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Bakker, J., Pschlod, P., Strykstra, R., Bekker, R. & K. Thompson. 1996. Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Bot. Neerl.* 45(4), 461-490.
- Basset, I., Simcock, R. & D. Mitchell. 2005. Consequence of soil compactation for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecology* 30 p. 827-833.
- Block, W. M., A. B. Franklin, J. P. Ward, Jr., J. L. Ganey & G. C. White. 2001. Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restoration Ecology* 9 (3): 293-303.
- Brunner, R. D. & T. W. Clark. 1997. A Practice-based Approach to Ecosystem Management. *Conservation Biology* 11: 48–58.
- Cairns, J. 1987. Disturbed Ecosystems as Opportunities for Research in Restoration Ecology. En: Jordan, W.R., Gilpin, M. & Aber, J. (Eds.). *Restoration Ecology. A Synthetic Approach to Ecological Research*. Pp. 307-320. Cambridge University Press.
- Cano I. y N. Zamudio 2006. Recuperar lo nuestro: una experiencia de restauración ecológica con participación comunitaria. O. Vargas y Grupo de Restauración Ecológica (eds). Universidad Nacional de Colombia, Acueducto de Bogotá, Jardín Botánico, DAMA.
- Cano, I. y O. Vargas. 2007. Lograr la participación comunitaria. En: O. Vargas (ed.). *Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Cardona, A. 2007. Propagación de especies En: O. Vargas (ed.) *Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Cole, D. 2007. Seedling Establishment and Survival on Restored Campsites in Subalpine Forest. *Restoration Ecology* Vol. 15, No. 3, pp. 430–439.
- Collins, S. 1987. Interaction of disturbances in Tallgrass prairie: a field experiment. *Ecology* 68(5): 1243 – 1250.
- Díaz, R. 2007. El monitoreo en la restauración ecológica. En: O. Vargas (ed.). *Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Gleen-Lewin, D.C. y E. van der Maarel. 1992. Patterns and processes of vegetation dynamics. Pp. 11-59. En: D.C. Gleen-Lewin, R. Peet y Th. Veblen (Eds). *Plant Succession. Theory and Prediction*. Chapman and Hall.
- Herrick, J.E., G.E. Schuman y A. Rango. 2006. Monitoring ecological processes for restoration projects. *Journal for Nature Conservation* 14: 161-171.
- Holl, K. & J. Cairns. 2002. Monitoring and appraisal. pp. 411-432. En: Perrow M. R. & A. J. Davy (Eds.). *Handbook of Ecological Restoration*. Cambridge University Press. Cambridge U.K.
- Lake, P. S. 2001. On the Maturing of Restoration: Linking Ecological Research and Restoration. *Ecological Management and Restoration* 2(2): 110-115.
- Llambí, L.D., & L. Sarmiento. 1999. Ecosystem restoration during the long fallow periods in the traditional potato agriculture of the Venezuelan High Andes. En: Price, M. (Ed). *Global*

Change in the Mountains: Proceeding of the European Conference of Environmental and Societal Change in Mountain Regions. Parthenon Publishing. New York, pp. 190-192.

- Llambí, L.D., Smith, J., Pereira, N., Pereira, A., Valero, F., Monasterio, M. & M. Dávila. 2005. Participatory planning for biodiversity conservation in the high tropical Andes: are farmers interested?. *Mountain Research and Development* Vol 25, No 3, pp. 200–205.
- Lozano-Zambrano, F. H. (ed). 2009. Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) Bogotá D.C. Colombia 238 p.
- Moscoso, L. & M. Diez. 2005. Banco de semillas en un bosque de roble de la cordillera central colombiana. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.58, No.2*, pp. 2931-2943.
- Parker, V., Simpson, R. & M. Leck. 1989. Pattern an process in the dynamics of seed banks. En: Leck, M., Parker, V. & R. Simpson (Eds.) *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press Inc. San Diego, California.
- Perrow, M.R. y A.J. Davy (eds). 2002. *Handbook of Ecological Restoration*. Cambridge University Press.
- Pickett, S. T. & P. White (Eds). 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press Inc., San Diego, California, 472 pp.
- Rodríguez, N. y O. Vargas 2007. Especies leñosas nativas claves para la restauración ecológica del embalse de Chisacá, basados en rasgos importantes de su historia de vida. Pp181 – 198. En: O. Vargas (ed.). *Restauración ecológica del bosque altoandino. Estudios Diagnósticos y experimentales en los alrededores del embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C)*. Universidad Nacional de Colombia y Acueducto de Bogotá.
- Román-D., F., Levy T. S., Perales R. H., Ramírez M., N., Douterlungne, D. & S. López Mendoza. 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en La Selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada*, 6: (1,2).
- Rondón, J. A. & R. Vidal. 2005. Establecimiento de la Cubierta Vegetal en áreas degradadas (Principios y Métodos). *Rev. For. Lat. N° 38*, Págs. 63 – 82.
- SER. Society for Ecological Restoration International Science, Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Política. 2004. Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Tres, D. & A. Reis. 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. II Simposio Internacional sobre restauración ecológica. [http://iras.ufsc.br/images/stories/cuba\\_paisagem\\_deisy.pdf](http://iras.ufsc.br/images/stories/cuba_paisagem_deisy.pdf)
- Vargas, O (Ed.). 2007. *Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Vargas O., Díaz, A., Trujillo, L., Velasco, P., Díaz, R., León O. & A. Montenegro. 2007. Barreras para la Restauración Ecológica. Pp. 46-66. En: O. Vargas (ed). *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia – Colciencias.

## II. PARTE. ECOSISTEMAS TERRESTRES

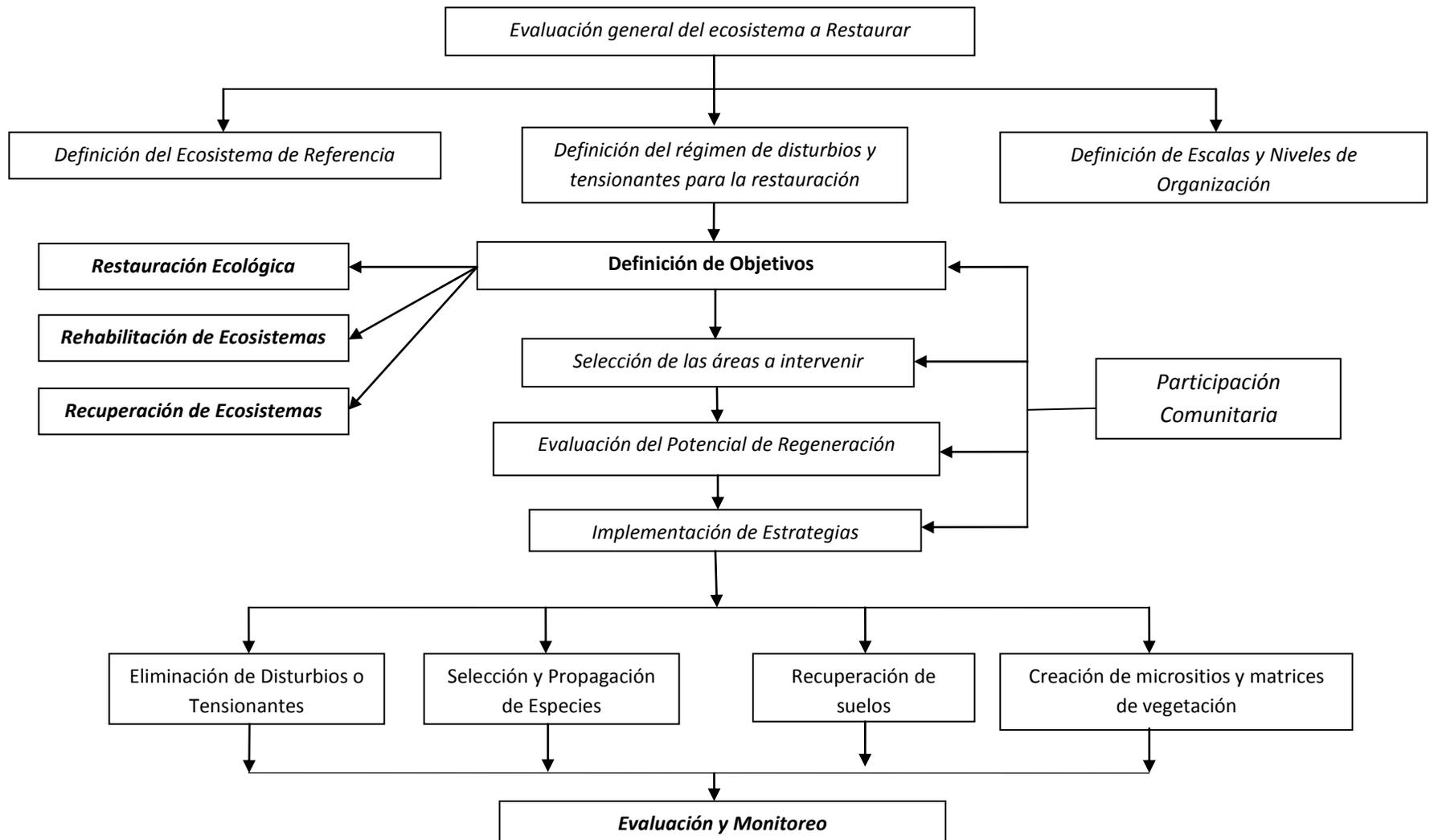


Figura 5. Esquema general de restauración ecológica para los ecosistemas terrestres de Colombia

# 1. PÁRAMOS

## Definición

Los páramos son ecosistemas de alta montaña presentes por encima de los 3.200 – 3.900 m hasta el inicio de la zona nival aproximadamente a los 4.800 – 5.000 m (Van der Hammen & Hooghiemstra 2001). Las condiciones locales de temperatura, humedad y vientos, disminuyen o amplían los rangos altitudinales. Los páramos son de gran importancia principalmente por su capacidad de interceptar y almacenar agua, regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos, albergar una rica flora endémica y otros servicios ambientales como cuencas abastecedoras de agua para consumo humano (MAVDT 2002) (Figuras 6 y 7).



**Figura 6.** Páramo en el Parque Nacional Natural Chingaza (Foto: O. Vargas).



**Figura 7.** Páramo en el Parque Nacional Natural los Nevados (Foto: O. Vargas)

## Determinantes

- La posición orográfica junto con la intensidad y distribución de las precipitaciones condiciona la presencia de páramos atmosféricamente húmedos y atmosféricamente secos (Lauer 1979, Cleef 1981, Sturm & Rangel 1985, Rangel 2000). Como la temperatura en las altas montañas tropicales disminuye aproximadamente  $0.6^{\circ}\text{C}$  por cada 100 m de incremento en altura se forman gradientes térmicos con diferentes tipos de páramos con cambios fisiológicos y florísticos muy evidentes (subpáramo, páramo propiamente dicho y superpáramo).
- La precipitación determina páramos permanentemente húmedos y con gran nubosidad con más de 2000 mm de precipitación anual y otros que son más secos con 600 mm (Monasterio 1980, Rodríguez *et al.* 2006).
- La alternancia térmica diaria, lo cual produce gran amplitud en los cambios diarios de temperatura, '*verano de día e invierno de noche*' (Monasterio 1980, Azócar & Fariñas 2003). Este descenso brusco de la temperatura en la noche produce heladas en la época seca, lo cual genera grandes oscilaciones diarias de temperatura del aire y del suelo en sus capas superiores.
- La temperatura media anual permanece constante durante todo el año (régimen isotérmico anual), pero existe un gradiente térmico desde los  $10^{\circ}\text{C}$  hasta  $-0,4^{\circ}\text{C}$  de temperatura media anual (Azócar & Fariñas 2003).

- El fotoperiodismo que tiende a ser constante (Monasterio 1980), debido a la ubicación geográfica de los páramos en la región ecuatorial, la duración del día efectivo es casi siempre por lo cual las plantas están adaptadas a periodos constante de luz durante todo el año.
- Los suelos son humíferos, entre los que predominan inceptisoles y entisoles (Malagón & Pulido 2000), con gran capacidad de almacenamiento de agua y pH ácidos (3,7-5,5), los cuales producen sequía fisiológica en las plantas.
- Las comunidades vegetales están dominadas por formas de crecimiento características, como rosetas caulescentes y acaulescentes, bambusoides y macollas, cojines y arbustos, entre las más importantes (Vargas-Ríos 2000).
- La vegetación presenta una baja biomasa, crecimiento lento, productividad primaria baja, descomposición lenta de la materia orgánica, acumulación de necromasa tanto en pie como en el suelo y, bancos de semillas superficiales y fácilmente degradables.
- Las bajas temperaturas del suelo, la ocurrencia de vientos fuertes con un efecto desecante en la vegetación, una baja presión atmosférica y en consecuencia alta radiación ultravioleta y bajas concentraciones de oxígeno, constituyen limitantes ecológicos para las plantas (Vargas-Ríos *et al.* 2004).

## Disturbios

Los páramos están siendo fuertemente intervenidos y transformados por causa lo siguientes disturbios: sistemas de producción no sostenible en agricultura y ganadería. Una de sus principales consecuencias es el fenómeno de potrerización, invasiones biológicas, quemas ocasionadas por el hombre y extracción de materiales a cielo abierto.

En una escala más puntual, otros disturbios comunes en los páramos son:

Extracción de leña para combustible y cercas vivas: aunque de menor impacto, la extracción de los elementos leñosos principalmente de la franja de subpáramo afecta la estructura del ecosistema y a largo plazo su composición y funcionamiento, creando condiciones favorables para el establecimiento de especies que no son nativas.

Desecación de turberas para ampliación de la frontera agrícola: el régimen hidrológico de los páramos se ha visto fuertemente afectado por las alteraciones relacionadas con la eliminación de su vegetación nativa y daños mecánicos del suelo para introducir sistemas de cultivos como el monocultivo de papa, en el cual la tumba y quema realizada para su establecimiento ha generado profundos cambios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas de páramo (MAVDT 2002). Esto trae graves consecuencias en la función de los páramos de regular las fuentes y cursos de agua.

Cacería: en los páramos no habitan animales de gran tamaño pero la fauna nativa es muy apetecida para consumo humano y comercio. Esto tiene fuertes implicaciones para el ecosistema porque se pueden reducir las poblaciones a un punto cercano a la extinción o quedar demasiado

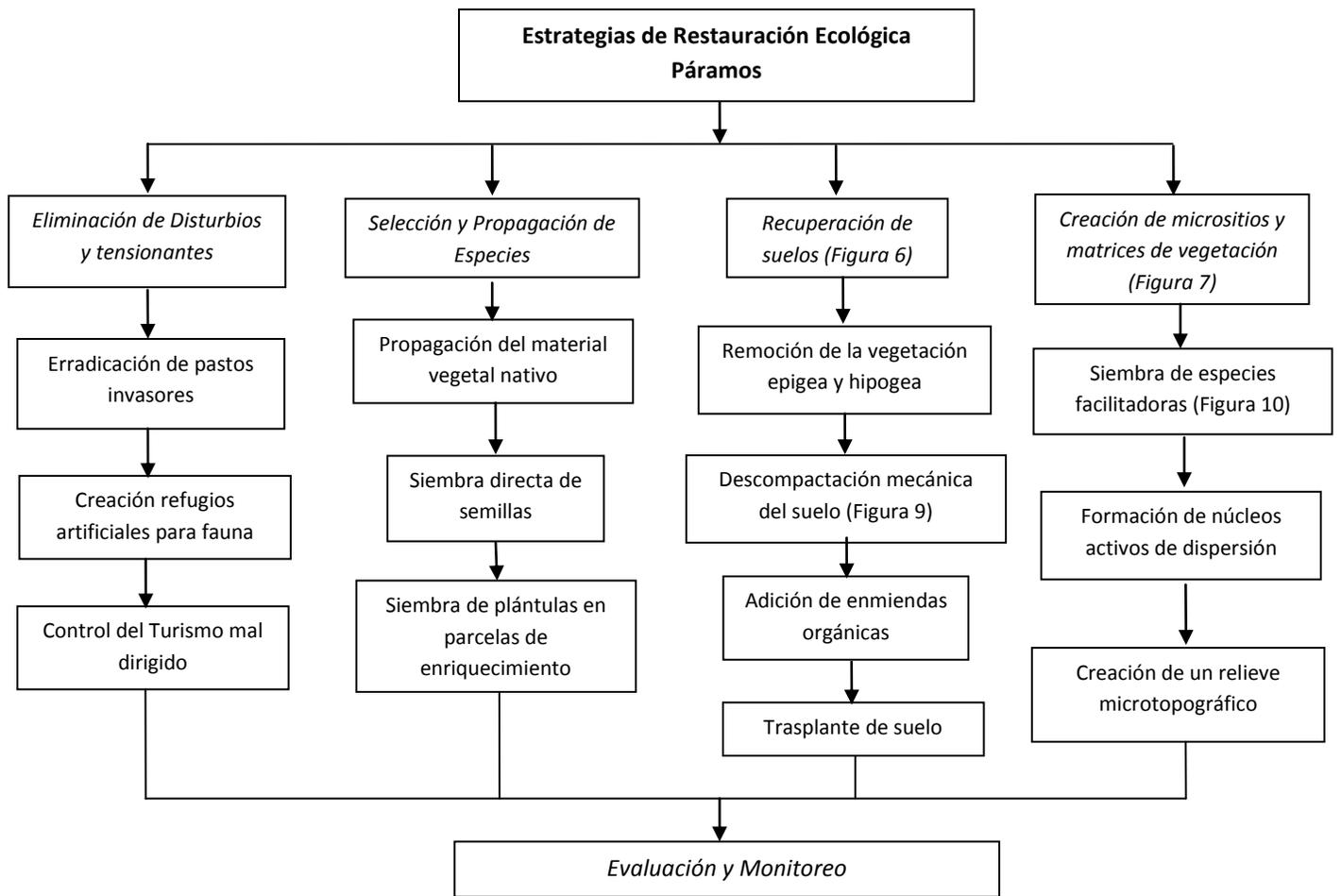
fragmentadas. Así mismo se alteran las comunidades vegetales a las cuales están asociadas ya que son dispersores y polinizadores de muchas especies.

### **Objetivos de la restauración**

- Acelerar la recuperación de los páramos degradados por fuegos y ganadería con la reintroducción de especies nativas como arbustos y frailejones eliminados por efecto de disturbios.
- Desarrollar trayectorias sucesionales de especies pioneras (herbáceas y arbustivas), para acelerar la rehabilitación de suelos degradados.
- Restaurar áreas con presencia de especies invasoras como retamo espinoso y gramíneas exóticas.
- Rehabilitar los suelos de zonas erosionadas y pastoreadas.
- Restablecer el régimen hidrológico con base en la recuperación de la vegetación asociada a turberas y cursos de agua.
- Estudiar y tener un conocimiento regional de las especies nativas y propagarlas masivamente en los viveros locales y regionales.

### **Acciones de restauración ecológica para los páramos**

La recuperación del páramo por medio de acciones de restauración es una necesidad cada vez más importante debido a la acelerada tasa de destrucción y transformación de este ecosistema por disturbios antrópicos principalmente. Aunque en Colombia son muy recientes los estudios y experimentos de restauración en los páramos, pueden plantearse algunas acciones como resultado de estas investigaciones y de experiencias internacionales, la descripción de mencionadas a continuación se encuentra en el capítulo de introducción. A continuación, el esquema de acciones de restauración para los páramos (Figura 8):



**Figura 8.** Esquema de acciones de restauración ecológica de los páramos



**Figura 9.** Acciones de restauración en páramos: parcela de remoción y descompactación de suelo en el parque Chingaza (Foto: P. Gómez-Ruiz).



**Figura 10.** Acciones de restauración en páramos: siembra de especies facilitadoras y de juveniles de frailejones en el parque Chingaza (Foto: P. Gómez-Ruiz)

## Evaluación y Monitoreo

La restauración ecológica de los páramos es un proceso que requiere de mucho tiempo, debido a que los procesos ecosistémicos que se dan entre los factores bióticos y abióticos son más lentos en comparación con otros ecosistemas, por las características extremas que rigen su dinámica. Por lo tanto, desde el momento de la implementación de las acciones, es necesario evaluar si se están recuperando los principales factores del proceso como las especies clave, suelos y fauna. Para mayor precisión sobre los aspectos a considerar en el monitoreo se deben tener en cuenta las siguientes variables:

### Suelos:

- Recuperación de la estructura física y nivel de compactación.
- Niveles y composición de nutrientes
- Banco de propágulos existente
- Presencia de micorrizas

### Flora:

- Presencia de semillas y plántulas de especies de sucesión primaria como *Espeletia argétea* y especies de los géneros *Hypericum* sp. y *Arcytophyllum* sp.
- Supervivencia y crecimiento de los individuos de especies trasplantadas.
- Potencial de regeneración de especies clave como *Chusquea tessellata*.

### Fauna:

- Artropofauna presente en el suelo.
- Recuperación de hábitat para especies locales como pequeños mamíferos.
- Registro de la presencia de especies grandes como venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*).

## Literatura citada

- Basset, I., Simcock, R. & D. Mitchell. 2005. Consequence of soil compactation for seedling establishment: implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecology* 30 p. 827-833.
- Cleef, A. M. 1981. The vegetation of the paramos of the Colombian Cordillera Oriental, Tesis Doctorado, U.Utrecht
- Lauer, W. 1979. La posición de los páramos en la estructura del paisaje de los Andes Tropicales. Pp 29 - 45. En: M.L. Salgado - Labouriau (ed.). *El Medio Ambiente Páramo*. Actas del Seminario de Mérida. Venezuela.
- Malagón, D. & C. Pulido. 2000. Suelos del Páramo Colombiano. En: Rangel, O. (Ed.). *Colombia Diversidad Biótica III, la región de vida paramuna de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia, pp. 37-84.
- Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT. 2002. Programa para el Manejo Sostenible y Restauración de Ecosistemas de la Alta Montaña Colombiana: PÁRAMOS. Bogotá D.C., Colombia.
- Monasterio, M. (ed.). 1980. *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.

- Rangel-Ch. J.O. (Ed). 2000. Colombia Diversidad Biótica III, la región de vida paramuna de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M & M. Romero. 2006. Ecosistemas de los Andes colombianos. 2da. Edición. Instituto de Investigación en recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Sturm, H. & O. Rangel. 1985. Ecología de los Páramos Andinos: una visión preliminar integrada. ICN-MHN. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Van der Hammen, T & H. Hooghiemstra. 2001. Historia y paleoecología de los bosques montanos andinos neotropicales. En: M. Kappelle & A. Brown (eds) Bosques Nublados del Neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica.
- Vargas-Ríos, J.O. 2000. Sucesión – Regeneración del páramo después de quemadas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. 147 p.
- Vargas-Ríos, J., Jaimes, V., Castellanos, L. & J. Mora. 2004. Propuesta de actividades de investigación para los páramos de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

## 2. BOSQUES

### Definición

Los bosques en general son ecosistemas de gran variabilidad en respuesta a las condiciones ambientales, geológicas y bióticas. Debido a esto, en Colombia es posible encontrar varios tipos de bosques de los cuales serán tratados en este documento tres grandes tipos: húmedos, secos y andinos (Figuras 11-13).



**Figura 11.** Bosque Húmedo Tropical, Departamento Amazonas (Foto: O. Vargas).



**Figura 12.** Bosque Seco Tropical, Fundación Reserva Natural Viento Solar (Córdoba) (Foto: O. Vargas).



**Figura 13.** Bosque Andino (Pasquilla, Usme, Bogotá) (Foto: O. Vargas)

La tabla 3 presenta la definición de bosques húmedos, secos y andinos.

**Tabla 3.** Definición de los tres tipos de bosques

<b>Bosques Húmedos</b>	<b>Bosques Secos</b>	<b>Bosques Andinos</b>
Son formaciones vegetales ubicadas por debajo de los 1000 m de altitud, corresponden a los bosques tropicales húmedos, muy húmedos y pluviales de Holdridge (1967), Zonobioma Húmedo Ecuatorial (Hernández & Sánchez 1992) y al bosque ombrófilo de baja altitud (UNESCO 1973).	Son formaciones vegetales ubicadas entre 0 y 1000 m de altitud, en áreas donde existen dos períodos de sequía: uno prolongado entre diciembre o enero hasta marzo o abril y uno más corto (conocido como veranillo de San Juan) entre junio hasta julio o agosto (Hernández-C. & Sánchez 1992).	En general, los bosques andinos no tienen un rango de altitud definido, pues se encuentran distribuidos en diferentes altitudes dependiendo de las condiciones ambientales de cada sitio, determinadas por cambios de temperatura y humedad, además de su exposición a las corrientes de masas de aire humedecido (Tobón 2009, Van der Hammen & Hooghiemstra 2001).

## Determinantes

Los bosques tropicales presentan características de temperatura, precipitación, edáficas, así como de estructura y composición de especies, que determinan diferentes tipos de bosque, los cuales se citan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Principales determinantes de los principales ecosistemas boscosos tropicales

Determinante	Bosques Andinos	Bosque húmedo tropical	Bosque seco tropical
<b>Altitud</b>	Gradientes altitudinales determinan tipos de bosques: sub-andino (montano bajo): 1000 - 2300 m, andino (montano alto): 2300 - 3500 m y altoandino (3500 - 3900 m).	Se ubica por debajo de 1000 m de altitud. La mayoría de estos ecosistemas se ubica en planicies bajas con altitudes menores a 300 m.	Se ubica por debajo de 1000 m de altitud.
<b>Precipitación</b>	Variaciones de la precipitación relacionados con la altitud, con rangos entre 500 y 4000 mm. anuales, que no permiten deficiencias de humedad en el año.	Varía en un rango entre 1.800 mm (Magdalena Medio, Arauca) y 10.000 mm (Chocó) al año.	Entre 700 y 2000 mm anuales. La evapotranspiración supera ampliamente la precipitación durante el año, generando un déficit de agua.
<b>Temperatura</b>	Varía entre 6 y 12°C, la media anual disminuye con la altitud.	Temperatura media anual de 28°C	La temperatura es superior a 24°C, con un valor máximo de 38°C.
<b>Suelos</b>	Presentan cambios asociados a cambios florísticos que generan: cambios en los horizontes orgánicos, en la materia orgánica, en la relación C:N, en contenidos de N y P, espesor en la capa de raíces y actividad de lombrices.	Presentan en general características de baja fertilidad, que se manifiesta en la tendencia a la acidez (pH menores a 5.0) y en la baja disponibilidad de nutrientes.	Suelos muy fértiles, por lo que han sido objeto de intensa transformación.
<b>Productividad</b>	La productividad de hojarasca disminuye con la altitud, así como la concentración de CO <sub>2</sub> , la de N foliar, las tasas de fotosíntesis y las de descomposición.	Reciclaje de nutrientes rápido y eficiente.	La mayor parte de la hojarasca anual se produce en la estación seca.
<b>Estructura y Composición</b>	Con el aumento de la altitud disminuye la altura del dosel, número de estratos y del tamaño foliar; pero aumenta la densidad de individuos.	Composición y estructura del bosque primario presenta gran complejidad florística y estructural, con árboles de 40 a 60 m de alto, albergan la mayor diversidad de especies.	La altura del dosel oscila entre 15 y 25 m, y se presentan hasta cuatro estratos vegetativos, incluyendo el herbáceo; altos niveles de endemismo.
	En bosques sub-andinos abundantes epífitos vasculares y en bosques andinos abundantes epífitos no vasculares (musgos, líquenes y hepáticas).	Las familias de plantas más diversificadas incluyen las Leguminosae, Arecaceae, Sapotaceae, Annonaceae, Lauraceae, Rubiaceae y Melastomataceae.	Los índices de diversidad de los bosques secos tropicales corresponden a la mitad de la diversidad presente en los bosques húmedos y a la tercera parte de la diversidad encontrada en los bosques muy húmedos del trópico.
<b>Otras</b>	Presencia de gradientes altitudinales, con una disminución de la temperatura media del aire y del suelo como consecuencia de una disminución de la presión atmosférica y de la densidad del aire. Intercepción de neblina, especialmente en bosques altoandinos.	La humedad relativa varía entre 70 y 80%. La geología se caracteriza por la presencia de diferentes tipos de sustratos: sedimentarios, ígneos y metamórficos, aunque predominan los sedimentos arcillosos y arenosos de consolidación variable y de Edad Terciaria o Cuaternaria.	Adaptaciones fisiológicas al déficit hídrico: pérdida total o parcial del follaje en época seca, hojas compuestas y folíolos pequeños y presencia de aguijones o espinas.

Fuente: Hernández & Sánchez (1992), Etter 1998, Alvarez *et al.* (1997) y IAvH (2000), Cavelier *et al.* 2001, Rodríguez *et al.* 2006, Grubb 1977

## Objetivos de la restauración ecológica

- Mejorar y acelerar los procesos naturales de regeneración natural en áreas de bosque convertidas en potreros y aquellas degradadas por el establecimiento de sistemas productores forestales no sostenibles y cultivos ilícitos.
- Adquirir conocimiento de las especies de sucesión temprana y avanzada, para emplearlas en planes de restauración, por ejemplo, especies de la familia Lauraceae de los bosques andinos.
- Acelerar la recuperación de bosques secundarios con la introducción de especies claves (sucesionales tardías) de árboles de bosques primarios.
- Desarrollar trayectorias sucesionales con especies pioneras (sucesionales tempranas: herbáceas, arbustivas y leñosas), que presenten las mayores tasas de crecimiento y fijación de CO<sub>2</sub> para acelerar el proceso de sucesión.
- Restaurar áreas con presencia de especies invasoras como: helecho marranero, retamo espinoso, retamo liso y gramíneas invasoras.
- Restaurar áreas con presencia de especies invasoras como: helecho marranero, retamo espinoso, retamo liso y gramíneas invasoras, entre otras.
- Restaurar áreas con presencia de sistemas productores forestales no sostenibles como pinos, eucaliptus, acacias, urapanes.
- Ampliar parches o fragmentos de bosque y conformar núcleos de regeneración en potreros abandonados para restablecer la conectividad del paisaje.
- Rehabilitar los suelos compactados y erosionados.
- Restablecer gradientes altitudinales completos de bosques andinos, principalmente en las cuencas hidrográficas que abastecen de agua a los acueductos locales.

## Disturbios

Los bosques son uno de los ecosistemas con mayor presión antrópica en todo el país, por lo cual los procesos de transformación y pérdida son cada vez más acelerados. A continuación se mencionan los disturbios de mayor impacto: deforestación, sistemas de producción no sostenible (producción extensiva e intensiva en agricultura y ganadería) siendo la potrerización, una de las consecuencias más graves, sistemas productores forestales no sostenibles, reemplazo por cultivos ilícitos: coca (*Erythroxylon coca*), marihuana (*Canabis indica*) y amapola (*Papaver somniferum*), extracción de materiales a cielo abierto, paramización, potrerización, invasiones biológicas, fuegos antrópicos, sobreexplotación de recursos biológicos y fragmentación y pérdida de hábitat por deforestación (Figura 14).

A)



C)



B)



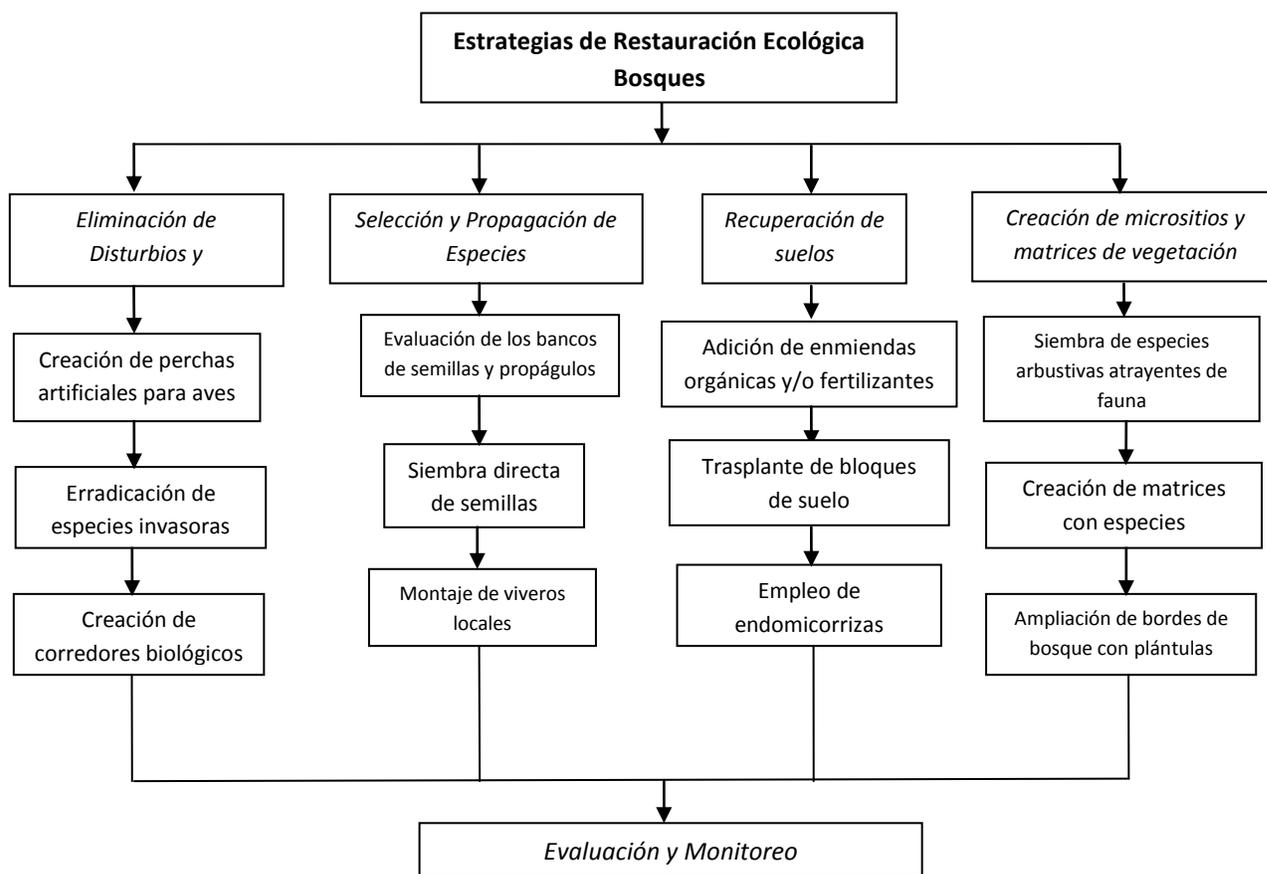
D)



**Figura 14.** Algunos de los disturbios que afectan los bosques. A) Fuego antrópico en bosque seco tropical, B) Deforestación de bosque húmedo tropical en el Amazonas, C) Pastoreo en Bosque seco tropical, D) Potrerización en bosque andino (Fotos: O. Vargas).

## Acciones de Restauración Ecológica para Bosques

La restauración ecológica de los bosques debe abordarse desde diferentes escalas espaciales y temporales, según las necesidades y objetivos del bosque particulares (Figura 15).



**Figura 15.** Esquema de acciones de restauración ecológica para los bosques

### Evaluación y Monitoreo

Durante el desarrollo de las acciones de restauración, es importante hacer el seguimiento permanente de los resultados de cada técnica y no esperar a culminar el proyecto para hacer la evaluación ya que durante el proceso es posible identificar fallas y hacer las modificaciones necesarias que permitan obtener los resultados esperados.

Para lograr la restauración de los bosques, es indispensable recuperar la cobertura vegetal a partir de especies pioneras que inicien la sucesión, recuperar el banco de propágulos y reactivar el potencial de regeneración. A nivel de individuos, es importante monitorear el crecimiento por medio de datos de altura, cobertura, número de ramas, tiempo de floración y fructificación. A

nivel de paisaje, identificar especies de diferentes estados sucesionales y estratos, recuperación del horizonte orgánico de los suelos y fauna asociada.

Entre las variables a tener presentes para la evaluación del éxito de la restauración se encuentran las siguientes:

- ✓ Cambios en la complejidad, diversidad y estructura de la vegetación
- ✓ Evaluación de diferentes grupos de insectos indicadores del estado del ecosistema, entre ellos las hormigas.
- ✓ Recuperación de la mesofauna
- ✓ Evaluación de la estructura de las comunidades de invertebrados terrestres
- ✓ Evaluación de la estructura de comunidades de reptiles, aves y murciélagos.

### Bosques Secos

Dadas las condiciones de marcada estacionalidad que caracterizan a los bosques secos tropicales, la restauración de estos ecosistemas debe tener en cuenta las siguientes particularidades:

**Identificación de tensionantes para la Restauración:** Se presentan los siguientes tensionantes para el establecimiento de especies leñosas (Ceccon 2010):

- ✓ La estacionalidad climática: El alto estrés hídrico que se presenta en estos bosques, afecta varios eventos implicados en la regeneración del mismo como la fenología, producción y germinación de semillas, sobrevivencia y desarrollo de plántulas y producción y descomposición del mantillo.
- ✓ Para las semillas el estrés hídrico es el factor que representa más limitantes para la restauración, aunque generalmente poseen altos contenidos de humedad, pierden rápidamente su viabilidad, con reducciones muy severas de humedad y/o temperatura y adicionalmente se ha encontrado que aproximadamente el 50% de las semillas no presentan latencia.
- ✓ El reclutamiento de plántulas es muy estacional, pero la mortalidad se presenta tanto en estación seca como en estación húmeda, de manera que las plántulas reclutadas forman un tapete y mueren por fenómeno de denso-dependencia.
- ✓ Se ha encontrado que sólo entre el 22 y 29% de las especies regeneran por rebrote y que la supervivencia de plántulas que provienen de germinación por rebrote, es mucho más alta que en las plántulas germinadas por semilla (Ceccon *et al.* 2002, 2003).

### **Acciones para la restauración:**

- ✓ *Regeneración natural:* La regeneración natural como estrategia de restauración requiere de fragmentos cercanos de tamaño adecuado y en buen estado de conservación, puesto que el banco de semillas en los bosques secos es efímero y la viabilidad de dichas semillas es muy corta (Rico-Gray & García-Franco 1992, Miller & Kauffman 1998).
- ✓ *Siembra directa de semillas:* considerada como una técnica más económica que la producción de plántulas, puede resultar en fracaso teniendo en cuenta que la mortalidad de plántulas es muy alta, no obstante que sus tasas de reclutamiento son altas también (Ceccon *et al.* 2003). Por esta razón, en el caso de proyectos de restauración a gran escala, la utilización de esta técnica implica un número muy elevado de semillas colectadas.

Por otra parte ya que las semillas pierden rápidamente su viabilidad, deben ser colectadas máximo 6 meses antes de la germinación, constituyendo una barrera para su utilización en proyectos a gran escala.

- ✓ *Propagación de plántulas de árboles nativos:* Según Ceccon (2010), el establecimiento de plántulas cultivadas en invernadero, en áreas degradadas de bosque seco, también presenta varias limitantes para su aplicación:

- Las plántulas deben ser relativamente grandes, para garantizar que al inicio de la época seca, posean un sistema radicular bien desarrollado y soporten los meses de sequía, sin embargo muchas especies producen sus semillas 2 ó 3 meses antes de la estación de lluvia (Ceccon & Hernández 2009).

- El establecimiento de plántulas con un año o más tiempo en invernadero, eleva los costos de riego y de trabajo en invernadero y en la labor de trasplante.

- El crecimiento de la parte aérea de las plántulas, muestra tasas de crecimiento positivas solamente durante los seis meses más húmedos y su crecimiento es mucho mayor en la raíz que en la parte aérea (Ceccon 2010), hecho que incrementa la competencia radicular que tiene efectos negativos en la sobrevivencia y crecimiento de plántulas (Gerhardt 1996).

- La tasa de crecimiento de la parte aérea de las plántulas una vez se han introducido en áreas degradadas disminuye, como consecuencia de la limitación en nutrientes y disponibilidad de agua.

- El crecimiento de las plántulas también se ve afectado significativamente por el mantillo depositado en el suelo, al influir en el microclima, reciclaje de nutrientes, interacciones alelopáticas, por barrera física creada por las hojas mismas y como un filtro inhibidor de luz, sin embargo no se cuenta con suficientes estudios sobre la producción de mantillo, para utilizarse como herramienta en la selección de especies para la restauración (Ceccon 2010).

- ✓ *Aperturas del dosel en fragmentos de bosques secundarios en proceso de regeneración:* Consiste en la intervención del dosel del bosque con aperturas que generen un 40% de iluminación, con el fin de disminuir las tasas de mortalidad de especies sucesionales tempranas y mejorar su reclutamiento (Melo-Cruz *et al.* 2008).

## **Evaluación y Monitoreo**

- ✓ Tasas de crecimiento y mortalidad de especies según la estacionalidad.
- ✓ En de bosques secos se ha empleado el estudio de Coleópteros de la familia Staphylinidae, como grupo bioindicador de paisajes naturales y alterados (García & Chacón 2005).
- ✓ Mortalidad de plántulas en la época de caída de hojarasca.



**Figura 16.** Restauración de áreas de bosque andino, invadidas por retamo espinoso en Usme, Bogotá D. C. (Foto: P. Gómez-Ruiz)

## Literatura citada

- Alvarez, M., Escobar, F., Gast, F., Mendoza, H., Repizzo, A. & H. Villareal. 1998. Bosque Seco Tropical. Págs.: 56 – 71. En: Chavez, M. E. & N. Arango. (eds.) Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia 1997. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. SantaFé de Bogotá, Colombia.
- Cavelier, J., D. Lizcano & M.T. Pulido. 2001. Colombia. En: M. Kappelle & A. Brown (eds) Bosques Nublados del Neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica.
- Ceccon E., Omstead I., Vázquez-Yanes C. & J. Campo-Alves. 2002. Vegetation and soil properties in two tropical dry forests of differing regeneration status in Yucatán. *Agrociencia*, 36, 621-631.
- Ceccon E., Huante P. & J. Campo-Alves. 2003. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on the survival and recruitment of seedlings of dominant tree species in two abandoned tropical dry forests in Yucatán, Mexico. *Journal of Forest Ecology and Management*, 182, 387-402.
- Ceccon E. & P. Hernández. 2009. Seed rain dynamics following disturbance exclusion in a secondary tropical dry forest in Morelos, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 57(1-2):257-69.
- Ceccon E. 2010. En prensa. Los bosques tropicales estacionalmente secos. ¿Una prueba ácida para la restauración?.

- Etter, A. 1998. Bosque húmedo tropical. Págs: 106 – 133. En: Chavez. M. E. & N. Arango. (eds.). Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia 1997. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. SantaFé de Bogotá, Colombia.
- García-C. & P. Chacón de Ulloa. 2005. Estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae) en fragmentos de bosque seco del valle geográfico del río Cauca. Rev. Colomb. Entomol. v.31 n.1: 43-50.
- Gerhardt, K. 1996. Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. Forest Ecology and Management 82 (3) 3-48.
- Grubb, P.J. 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains, with special reference to mineral nutrition. Annual Review of Ecology and Systematics 8: 83 – 107.
- Hernández-C., J. I. & H. Sánchez. 1992. Biomas terrestres de Colombia, págs. 153-173. En: G. Halffter, comp. La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. Acta Zoológica Mexicana. Vol. Esp. México.
- Holdridge, L. R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica. 206 pp.
- IAvH. 2000. Colombia megadiversa: cinco años explorando la riqueza de un país biodiverso. Santafé de Bogotá. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Melo-Cruz, O., Paz, M. M. & P. Guerra. 2008. Restauración de la regeneración natural Del Nogal (*Cordia alliodora* R. & P.), en áreas de bosque seco tropical, norte del Tolima. En: Barrera-Cataño, J. I., M. Aguilar-Garavito y D. C. Rondón-Camacho (eds.). Experiencias de Restauración Ecológica en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D. C. 274 p.
- Miller P.M. & J. B., Kauffman. 1998. Seedling and sprout response to slash-and-burn agriculture in a tropical deciduous forest. Biotropica, 30, 538-546.
- Moscoso, L. & M. Diez. 2005. Banco de semillas en un bosque de roble de la cordillera central colombiana. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.58, No.2, pp. 2931-2943.
- OIMT, Organización Internacional de las Maderas Tropicales. 2002. Directrices de la OIMT para la restauración, ordenación y rehabilitación de bosques tropicales secundarios y degradados. Serie de políticas forestales N° 13.
- Rangel-Ch. J.O. (Ed). 2000. Colombia Diversidad Biótica III, la región de vida paramuna de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Rico-Gray, V. & J. García-Franco. 1992. Vegetation and soil seed bank on successional stages in tropical lowland deciduous forest. Journal of Vegetation Science, 3, 617-624.
- Rodríguez, N., Armenteras, D., Morales, M & M. Romero. 2006. Ecosistemas de los Andes colombianos. 2da. Edición. Instituto de Investigación en recursos biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Tobón, C. 2009. Los bosques andinos y el agua. Serie Investigación y sistematización #4. Programa regional ECOBONA-INTERCOOPERATION. CONDESAN. Quito, Ecuador.
- UNESCO. 1973. Clasificación internacional para la cartografía de la vegetación. Unesco. París, Francia.
- Van der Hammen, T & H. Hooghiemstra. 2001. Historia y paleoecología de los bosques montanos andinos neotropicales. En: M. Kappelle & A. Brown (eds) Bosques Nublados del Neotrópico. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica.

## 3. SABANAS

### Determinantes

Las sabanas son formaciones climáticas tropicales, del piso térmico cálido con predominio de pastos, en las cuales pueden aparecer entremezclados subarbustos esparcidos e inclusive árboles y palmeras. Se desarrollan por lo general en planicies con muy ligero declive y en ocasiones en terrenos quebrados u ondulados. Entre las sabanas se encuentra extensiones variables de bosques deciduos y bosques estacionales siempreverdes, formando patrones complejos con la vegetación herbácea (Sarmiento 1983).

De acuerdo con Sarmiento (1994), Hernández & Sánchez (1994) y Romero-R. (2009), las siguientes son las características que permiten la diferenciación de sabanas tropicales:

- El clima presenta alternancia entre una estación lluviosa y otra seca.
- Las temperaturas son constantemente altas durante todo el año, los promedios de precipitación se encuentran entre 1000 y 2500 mm anuales y un régimen unimodal o bimodal de lluvias, pero siempre con 4-9 meses de sequía pronunciada durante el año.
- Los suelos muy pobres en materia orgánica y nutrientes minerales, ricos en óxidos de hierro.
- El fuego es uno de los factores ecológicos más importantes para el mantenimiento de la dinámica de las sabanas, es responsable de la mineralización de una parte muy significativa de la materia orgánica producida. Por otra parte, el fuego tiene efectos sobre la dinámica de los bancos de semillas del ecosistema, determinando la finalización del período de dormancia de algunas semillas, así como una reducción en la densidad de semillas de subarbustos, monocotiledóneas y pastos (Williams *et al.* 2005)
- Diversidad de adaptaciones morfológicas, fenológicas y funcionales de las plantas a las condiciones extremas de sequía estacional, exceso periódico de agua, falta de nutrientes, acción repetitiva de quemas y herbivoría.

### Disturbios

- Sistemas de producción no sostenible (producción extensiva e intensiva en agricultura y ganadería) (Figura 17).
- Extracción de materiales a cielo abierto: Minería
- Invasiones biológicas
- Sistemas de producción forestal no sostenible



**Figura 17.** Ganadería en sabanas inundables (Foto: O. Vargas).

## Objetivos de la restauración

- Restaurar ecosistemas de sabana degradados por sobrepastoreo, quemas frecuentes e introducción de pastos exóticos.
- Restaurar sabanas con plantaciones de pino (*Pinus caribea*).
- Restaurar sabanas que están siguiendo trayectorias sucesionales que permiten el establecimiento de especies leñosas, no tolerantes a la estacionalidad climática y al fuego.
- Restaurar los ecotonos sabana-bosque.
- Restaurar sabanas arboladas, matas de monte y morichales.
- Propagar especies propias de los ecosistemas de sabana.}

## Acciones para la restauración ecológica

- **Definición del ecosistema de referencia:** Es fundamental distinguir el tipo de sabana en el cual se pretende realizar la restauración. En Colombia existen tres grandes tipos ecológicos de sabanas (Hernández & Sánchez 1994):
  - ✓ Sabanas estacionales: Dominadas por gramíneas, frecuentemente con árboles o arbustos dispersos, sometidas a las condiciones más fuertes y prolongadas de sequía, hasta cinco o seis meses consecutivos y a la mayor frecuencia de quemas, en ocasiones más de una por año, frecuentemente una cada año o cada dos años (Figura 18).
  - ✓ Sabanas hiperestacionales: Ubicadas sobre suelos inundables durante varios meses y que se desecan totalmente durante otros meses, normalmente están sobre suelos más fértiles, aunque son muy impermeables y casi imposibles de aprovechar para un uso diferente al ganadero.

- ✓ Sabanas inundadas o semiestacionales: en las cuales el suelo permanece muchos meses anegado o saturado y solamente durante un corto período se seca por evaporación o por drenaje, pero nunca totalmente, de manera que siempre queda agua disponible en el suelo. Sólo prosperan unas pocas especies arbóreas, de manera que generalmente toman el aspecto de vastas extensiones gramíneas sin ninguna especie leñosa (Figura 19). En la mayoría de casos faltan los árboles, excepto ciertas palmas como el caso del moriche *Mauritia minor*.
- **Definir escalas y niveles de organización y de disturbio:** Según Romero-R. (2009) aunque el fuego es uno de los factores ecológicos más importantes para el mantenimiento de la dinámica de las sabanas, en Colombia no existen estudios que permitan estimar la importancia y escala de este disturbio natural. Entre los años 2007 y 2008, se ha encontrado que las sabanas naturales en la Orinoquía presentan fuegos en un 99%. Comprender la dinámica y escalas de los fuegos en las sabanas, es indispensable para entender todo su funcionamiento, su estado actual y así mismo, plantear acciones para su restauración.

Se ha encontrado también, que el fuego es primordial en la ruptura del período de dormancia de semillas de un amplio rango de especies de sabana y que este efecto, es más drástico en los fuegos que se presentan hacia finales de la estación seca, que aquellos que se presentan al comienzo de la misma (Williams *et al.* 2005).

El fuego actúa como un disturbio temporal y espacialmente heterogéneo, que puede abrir espacios para el establecimiento de plántulas. Un máximo reclutamiento e incremento del tamaño poblacional, dependerá de frecuencias de fuego lo suficientemente cortas, para permitir oleadas periódicas de establecimiento de plántulas, pero lo suficientemente largas para permitir el desarrollo de un tamaño suficiente para alcanzar la tolerancia al fuego (García-Núñez & Azócar 2004).



**Figura 18.** Sabana estacional (Casanare) (Foto: O. Vargas)



**Figura 19.** Sabana inundable (Casanare) (Foto: O. Vargas)

- ***Evaluar el potencial de restauración:***
  - ✓ Evaluación del Banco de semillas: En el banco de semillas superficial (5 mm de suelo) se ha observado la menor densidad de semillas (semillas/m<sup>2</sup>) al comienzo del período de lluvias y se incrementa sostenidamente, haciéndose máxima en el período de sequía (abril), época en la que también se incrementa el número de especies presente en dicho banco. Las familias Gramineae, Leguminosae y Cyperaceae son las mejor representadas en este banco de semillas, siendo también las más abundantes. Durante la época de lluvias, las gramíneas dominan ampliamente el banco (Pérez & Santiago 2001).
- ***Acciones para la restauración:***
  - ✓ *Eliminación o control de factores tensionantes:* Eliminación de ganado de áreas potrerizadas y plantaciones forestales.
  - ✓ *Propagación de plántulas de árboles nativos:* Se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos (García-Nuñez & Azócar 2004, García-Nuñez *et al.* 2001):
    - Únicamente el período de establecimiento de las especies leñosas está rígidamente determinado por las condiciones ambientales, las demás fenofases estarían ajustadas secuencialmente a ese período de establecimiento y no determinadas directamente por los cambios estacionales.
    - Algunas características de la ecología reproductiva de las leñosas siempreverdes dominantes en los Llanos Orientales, revelan que a pesar de las altas frecuencias de fuego que caracterizan a la sabana, éstas especies producen anualmente una cantidad sustancial

de propágulos viables, lo cual sugiere que la reproducción sexual debe jugar un papel importante en el mantenimiento a largo plazo de sus poblaciones.

- Las plántulas son capaces de producir la suficiente cantidad de biomasa en su primera estación de crecimiento, permitiéndoles rebrotar y sobrevivir después del fuego durante la estación seca, lo cual constituye una demostración de la funcionalidad de la reproducción sexual en especies leñosas de la sabana.

- El establecimiento exitoso de propágulos dependerá de su capacidad para alcanzar las capas de suelo más allá de la zona de las raíces de las gramíneas y de la construcción de suficientes reservas energéticas subterráneas, que permitan el rebrote de la biomasa aérea después del fuego y la sequía. Bajo estas circunstancias, la probabilidad de establecimiento estará correlacionada con la duración de la estación lluviosa y con las propiedades de la masa de agua.

- Se ha encontrado que las especies leñosas son longevas y tienen baja mortalidad una vez se han establecido.

- Las plántulas de las leñosas de sabana presentan una mayor asignación de biomasa a las raíces durante la primera estación de crecimiento, lo cual les permite almacenar reservas subterráneas que pueden ser utilizadas durante la estación desfavorable. También se ha encontrado en plántulas y juveniles de especies de leñosas siempreverdes, una alta tolerancia del proceso fotosintético al déficit hídrico.

- ✓ Uso de tratamientos mecánicos, herbicidas y fuego para eliminar la cobertura de arbustos o plantas leñosas invasoras: Los tratamientos con herbicidas han sido reportados como efectivos, para alcanzar la mortalidad de algunas especies de arbustos, sin daño a especies herbáceas y efectivamente convierte los arbustales en tierras fisionómicamente herbáceas. Por otra parte aunque el fuego también se sugiere como estrategia para reducir el dosel de arbustos y restaurar la productividad de herbáceas, los fuegos intensos rara vez eliminan por completo los doseles de arbustos, que alcanzan una mortalidad inferior al 5% de toda la planta. El resultado final son densos matorrales, pero no se dispone de datos a cerca del impacto a largo plazo del recrecimiento de las especies leñosas, sobre el crecimiento de las plantas herbáceas. El fuego genera un incremento en la producción de herbáceas, pero a corto plazo (hasta 5 años), tiempo después del cual, el componente leñoso rebrota de forma vigorosa (James & Castellano 2006).
- ✓ *Siembra de especies niñeras facilitadoras para la formación de matas de monte*
- ✓ *Uso de endomicorrizas*: Se ha encontrado que en sabanas naturales la alta diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), disminuye severamente ante una perturbación, lo cual disminuye también la capacidad de recuperación del ecosistema (Lovera & Cuenca 2007). El uso de micorrizas arbusculares, junto a dosis relativamente bajas de fósforo, propician el reclutamiento de especies nativas de sabanas (Cuenca *et al.* 2002).

## Literatura citada

- Cuenca, G., De Andrade, Z., Lovera, M., Fajardo, L., Meneses, E., Márquez, M. & R. Machuca. 2002. El uso de arbustos nativos micorrizados para la rehabilitación de áreas degradadas de la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela. *Interciencia* 27 (4): 165 – 172.

- García-Núñez y A. Azócar. 2004. Ecología de la Regeneración de Arboles de la Sabana. *Ecotrópicos* 17(1-2): 1 - 24.
- García-Núñez, Azócar, A. y J. F. Silva. 2001. Seed production and soil seed bank in three evergreen woody species from a neotropical savanna. *Journal of Tropical Ecology* 17: 563-576.
- Hernández-C., J. & H. Sánchez. 1994. Sabanas de Colombia. En: Hernández-C., J. (Ed.) *Sabanas naturales de Colombia*. Banco de Occidente. Colombia.
- Hernández-V., I. & D., López-H. 1999. Efectos de la quema sobre el ciclo del fosforo en una sabana de *Trachypogon*. *Ecotrópicos* 12(1): 3-8.
- James Ansley, R. & M. J. Castellano. 2006. Strategies for Savanna Restoration in the Southren Great Plains: Effects of Fire and Herbicides. *Restoration Ecology*. Vol. 14, N° 3 (420-428).
- Lovera M. & G. Cuenca. 2007. Diversidad de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia* 32 (2): 108-114.
- Moreira, A. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *Journal of Biogeography*, 27, 1021–1029.
- Pérez, E. H. y E. T. Santiago. 2001. Dinámica estacional del banco de semillas en una sabana en los Llanos Centro-Orientales de Venezuela. *Biotrópica* 33: 435-446.
- Román-D., F., Levy T. S., Perales R. H., Ramírez M., N., Douterlungne, D. & S. López Mendoza. 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en La Selva Lacandona, Chiapas, México. *Ecología Aplicada*, 6: (1,2).
- Romero-R., M. H. 2009. Dinámica de fuegos de las sabanas orientales de Colombia para el período seco (diciembre 2007 a abril 2008). En: IAvH. Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007-2008: Piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Marzo 2009.
- Sarmiento, G. 1983. The savannas of tropical America. pp. 245-288. En: Bourliere, F. (ed.). *Ecosystems of the world 13, Tropical Savannas*. Elsevier Scientific. Publishing Company. Amsterdam, The Netherlands.
- Sarmiento, G. 1994. Sabanas Naturales, génesis y ecología. En: Hernández-C. (Ed.), J. *Sabanas naturales de Colombia*. Banco de Occidente. Colombia.
- Suárez, L. M., Molina, C. R., Bulla, L. A. & V. Francisco. 2000. Efecto de plantaciones de *Pinus caribaea* sobre la herpetocenosis en Uverito, Venezuela. *Ecotropicos* 13(2):67-74.
- Williams, P. R., Congdon R. A., Grice, A. C., & Clarke, P. J. 2005. Germinable soil seed banks in a tropical savanna: seasonal dynamics and effects of fire. *Austral Ecology* 30: 79–90

## 4. ZONAS SECAS

### Determinantes

Las zonas secas se caracterizan principalmente por la ocurrencia de un clima cálido árido, precipitaciones promedio anuales inferiores a 500 mm. Incluye también áreas marginales en clima cálido muy seco y cálido seco, donde la precipitación anual media varía entre 500 y 1000 mm, y entre 1000 y 2000 mm, respectivamente y con un índice de aridez que oscila entre 0.5 y 0.65. Están ubicadas por debajo de los 800 msnm y se presentan también algunos enclaves secos en las tierras altas de la Cordillera Oriental, entre 2500 y 3000 msnm (Rodríguez *et al.* 2004). La cobertura vegetal es densa, rala o escasa. Corresponden al zonobioma desértico tropical y zonoecotono subxerofítico tropical de Hernández-C. (1990). Estas zonas también incluyen los enclaves secos altoandinos, correspondientes al pedobioma quersofítico del piso térmico frío (Hernández-Camacho & Sánchez-P. 1992).

De acuerdo con Hernández Camacho *et al.* (1995), Hernández-C. & Sánchez-P. (1992) y Hassan & Dregne (1997), las zonas secas se caracterizan por los siguientes factores:

- Un clima desértico o seco, el cual se caracteriza porque el promedio anual de precipitación es inferior a la evaporación potencial de la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación, dando lugar a un déficit de agua para las plantas.
- La geología de estas zonas se caracteriza por superficies rocosas de meteorización lenta o la presencia de sales en los suelos.
- La humedad ambiental durante el ciclo diario es generalmente baja, con promedios diarios menores a 60 – 70%, hecho que contribuye a favorecer la evaporación y evapotranspiración, no obstante la ocurrencia de nieblas nocturnas.
- Los vientos son una característica muy importante para determinar estas zonas, puesto que su capacidad erosiva posiblemente es mayor que en las zonas húmedas.
- La temperatura muestra gran amplitud durante el día, en la Guajira colombiana la temperatura promedio diaria, supera casi los 30°C.
- Los suelos generalmente se caracterizan por la baja fertilidad, asociada con bajos niveles de materia orgánica y nitrógeno.
- La vegetación de estos ecosistemas está particularmente adaptada a las condiciones de sequía y de alta temperatura: presencia de espinas en cambio de hojas, arbustos espinosos con copas aparasoladas, como sombrillas, follaje escaso y caducifolio (Figura 20).

### Disturbios

En las zonas áridas de Colombia se presentan principalmente los siguientes disturbios:

- Sistemas de producción no sostenible (producción extensiva e intensiva en agricultura y ganadería).
- Extracción de materiales a cielo abierta
- Altos grados de erosión
- Desertificación
- Salinización de suelos



**Figura 20.** Zonas secas, Departamento de La Guajira (Foto: O. Vargas).

## Objetivos de la Restauración

- Recuperar la capacidad productiva de los suelos en avanzado estado de deterioro.
- Restaurar la cobertura vegetal de las zonas secas.
- Iniciar núcleos de vegetación con especies niñeras.
- Conectar parches de zonas secas.
- Reducir el riesgo por sequías.

## Estrategias para la Restauración Ecológica de zonas secas

La restauración ecológica de las Zonas Secas, es parte de las acciones que para tal efecto se determinan en el Plan de Ordenamiento y Manejo de Zonas Secas, instrumento de planificación que permite implementar en lo local y regional, el Plan de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, para el cumplimiento de los compromisos adquiridos en el marco de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía.

Los lineamientos de este Plan de Ordenamiento y manejo de Zonas Secas, actualmente se encuentra en revisión y deben ser incorporados en los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS. En la última parte de estos lineamiento se presenta una zonificación, que incluye áreas susceptibles a conservar, a restaurar (restauración ecológica, rehabilitación y recuperación) y de uso sostenible.

- **Evaluación del sitio a restaurar - Identificación de tensionantes para la restauración:** Los proyectos de restauración en zonas secas presentan serios inconvenientes relacionados con efectos adversos de compactación, erosión y salinización de suelos, los cuales disminuyen la infiltración. Los aspectos de mayor importancia para analizar en suelos son (Bainbridge 2007):

- ✓ Caracterización química y física.
- ✓ Porcentaje de saturación: indicador de la capacidad de retención de nutrientes y agua.
- ✓ Fertilidad: más especialmente en el caso de áreas muy degradadas. corrección
- ✓ Biología del suelo: quizás es la característica más alterada en los suelos de zonas áridas, especialmente en áreas sometidas a intensos disturbios, durante largos períodos de tiempo, afectando su fauna, microorganismos, propágulos de plantas y semillas.
- ✓ Cobertura vegetal: Tipos de especies, cantidad y distribución

- **Selección de especies:**

En buena parte de los casos se tiene un conocimiento muy limitado sobre las especies nativas en zonas secas, lo cual hace necesario el establecimiento de ensayos de progenie-procedencia de las especies autóctonas, en una área representativa de la zona a reforestar (Cony 1995).

Sinisterra *et al.* (2010) definen algunos atributos importantes en la selección de especies para revegetalizar, que pueden ser utilizadas en áreas degradadas áridas (Tabla 5). Otro criterio de importancia en la selección de plantas para revegetalizar áreas degradadas de zonas secas es su capacidad para fijar nitrógeno (Schwencke & Caru 2001).

**Tabla 5.** Atributos de especies empleadas para la revegetalización en zonas secas degradadas (Modificada de Sinisterra *et al.* 2010).

Atributos	Función
Propagación vegetativa fácil y rápida. Anclaje profundo. Atracción de la fauna silvestre. Frutos comestibles.	Reducir, fragmentar y derivar caudales. Sellado de escarpaduras Recursos para las comunidades aledañas y la fauna silvestre.
Arquitectura recta y robusta. Fácil propagación vegetativa.	Estabilización de cauces, zonas de tránsito, taludes y socavación. Barreras altas cortafuego y rompevientos.
Alta disponibilidad de plántulas Facilidad de siembra Alta tolerancia al fuego	Reducir, fragmentar y evitar la socavación. Protección contra vientos y fuego.
Crecimiento rastrero denso y rápido. Atracción de la fauna silvestre.	Frenar el desprendimiento del suelo.
Crecimiento rastrero denso y rápido.	Frenar el desprendimiento del suelo.

- **Acciones para la restauración:**

- ✓ Estabilización del terreno: Se refiere a la modificación o estabilización de la topografía del paisaje, con el fin de que el área degradada sea similar a las áreas circundantes. Esta etapa es fundamental para garantizar el adecuado establecimiento de la vegetación, durante las etapas sucesivas del proyecto (Bainbridge 2007).

- ✓ Preparación mecánica del suelo: Implica una mejora inmediata del suelo, pero a corto plazo, puesto que aumenta la tasa de infiltración del agua, la recolección de escorrentía, la porosidad del suelo, la penetración de las raíces, la profundidad efectiva de las raíces y el lecho de enraizamiento y de germinación. La preparación debe ser efectiva para la restauración del ecosistema; debe evitar o minimizar los efectos colaterales de la degradación, la mezcla de los horizontes y el afloramiento de horizontes poco fértiles (horizontes profundos) (Vallejo 2010).
- ✓ Adecuación del terreno: Crear condiciones para la retención de la humedad a través de obras biomecánicas como las banquetas o zanjas de infiltración, siembra o establecimiento de barreras o cortinas rompevientos. La siembra de herbáceas, la aplicación de cubiertas o mulch, el uso de barreras discontinuas de troncos (contour felled logs), los diques de almohadillas o balas de paja, de troncos, ramas, piedras o gaviones para su aplicación en la red de drenaje y tratamientos de ladera son los tratamientos más comúnmente utilizados para la mejora del suelo. La mejora o rehabilitación de suelos debe tener en cuenta los patrones naturales de los sitios afectados y la vegetación natural de referencia (Carrick & Krüger 2007, Vallejo 2010).
- ✓ Preparación mecánica del suelo para la siembra: Implica una mejora inmediata del suelo a través del uso de una buena cantidad de materia orgánica, lo que aumenta la tasa de infiltración del agua, la retención de humedad, la porosidad del suelo, la penetración de las raíces, la profundidad efectiva de las raíces y el lecho de enraizamiento y de germinación. La preparación debe ser efectiva para la restauración del ecosistema; debe evitar o minimizar los efectos colaterales de la degradación, la mezcla de los horizontes y el afloramiento de horizontes poco fértiles (horizontes profundos) (Vallejo 2010).
- ✓ Obtención de semillas, siembra y trasplante: Las semillas para siembra deberán obtenerse de ser posible, en los sitios con vegetación presentes en áreas cercanas al sitio de restauración (Bainbridge 2007). Las ventajas del trasplante incluyen una mayor diversidad en composición y estructura, una mayor estabilidad del suelo y el logro de una comunidad vegetal con mejor estructura, en menor tiempo. Por otra parte, la mayor estabilidad del suelo aportada por las plantas sembradas, incrementará las probabilidades de establecimiento de plántulas y de igual forma, aportará una fuente de semillas para el área. Las plantas sembradas aumentarán la diversidad de microhábitats (Carrick & Krüger 2007). Para la revegetalización de zonas áridas, se requieren profundos conocimientos sobre la fisiología de las especies a utilizar, fundamentalmente en lo que relacionado con la resistencia al estrés hídrico o salino, sin los cuales toda tarea de mejoramiento podría conducir a resultados erróneos y en muchos casos, hasta resultar inútil (Cory 1995).
- ✓ *Siembra de especies niñeras facilitadoras*
- **Monitoreo y evaluación:** Las características del suelo constituyen un buen indicador del éxito de la restauración en zonas áridas; entre las variables de más utilidad se encuentran la infiltración, el contenido de materia orgánica y la composición de la biota edáfica. Por otra parte, las hormigas son indicadores del buen estado del ecosistema y de su funcionamiento. También es importante el análisis de mamíferos, reptiles y aves característicos del área, así como la presencia de herbívoros (Bainbridge 2007).

## Literatura citada

- Bainsbridge, D. A. 2007. A Guide for Desert and Dryland Restoration: A new hope for Arid Lands. Society for Ecological Restoration International. Island Press. Washington D. C. USA.
- Carrick P. J. & R. Krüger. 2007. Restoring degraded landscapes in lowland Namaqualand: Lessons from the mining experience and from regional ecological dynamics. *Journal of Arid Environments* 70 (2007) 767–781.
- Cavelier J. 1998. Formaciones Xerofíticas y Subxerofíticas. En: Chavez, M. E. & N. Arango. (eds.) 1997. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia 1997. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Cony, M. 1995. Reforestacion racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. *INTERCIENCIA* 20(5): 249-253
- Hassan H. & H. E. Dregne. 1997. Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: A Overview. Environmental department papers. Paper N° 51. The World Bank.
- Hernández-Camacho. J., Rodríguez, V. y H. Sánchez. 1995. Zonas áridas y semiáridas de Colombia. Banco de Occidente. Diego Samper Ediciones. Bogotá. Colombia.
- Hernández-C., J. I. & H. Sánchez. 1992. Biomas terrestres de Colombia, págs. 153-173. En: G. Halffter, comp. La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. *Acta Zoológica Mexicana*. Vol. Esp. México.
- Hernández-C., J. 1990. Ensayo preliminar sobre los biomas terrestres de Colombia. En: H. Sánchez, J. Hernández C., J. V. Rodríguez & C. Castaño (eds.). *Nuevos Parques Nacionales de Colombia*. INDERENA. Colombia.
- Rodríguez N., Armenteras D., Morales M. & Romero M. 2004. Ecosistemas de los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia.
- Schwencke J. & M. Caru. 2001. Advances in Actinorhizal Symbiosis: Host Plant-Frankia Interactions, Biology, and Applications in Arid Land Reclamation. A Review. *Arid Land Research and Management*, 15:285 – 327
- Sinisterra-R., J. A., Calle-Díaz, Z., Murgueitio-R., E., Sánchez-H., M., G. Rodríguez- C. 2010. En prensa. Avances en la rehabilitación ecológica de la cárcava Monte Caldera, San Luis Potosí.
- Snyman, H.A. 2003. Revegetation of bare patches in a semi-arid rangeland of South Africa: an evaluation of various techniques. *Journal of Arid Environments* 55: 417–432.
- Vallejo, R. 2010. En prensa. Recuperación de los suelos en el contexto forestal.
- Velasco-Molina, H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas: sus características y manejo. Editorial Limusa S. A. México.

## III PARTE. ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

### 1. INTRODUCCIÓN

En la Figura 21 se presenta la secuencia de pasos propuesta para la restauración de los ecosistemas de agua dulce.

#### **Paso 1. Evaluación y análisis del sitio**

Corresponde a la planeación del proceso de restauración. En este paso se realiza la evaluación de aspectos ecológicos y sociales del lugar para plantear un modelo de respuesta que abra paso con las opciones de restauración y decidir las metas y objetivos del plan. La evaluación de aspectos ecológicos incluye el estudio de condiciones físico-bióticas del ecosistema principalmente en cuanto a geomorfología y cobertura de la tierra. La evaluación de aspectos sociales se refiere al estudio previo de las comunidades humanas existentes en el sitio, su relación con el ecosistema y su potencial participación en el proceso.

#### **Paso 2. Definición del ecosistema de referencia**

El ecosistema de referencia debe ser en lo posible un ecosistema de la misma ubicación geográfica en buen estado de conservación, y con las mismas condiciones naturales del ecosistema degradado. Es fundamental procurar que el ecosistema de referencia corresponda a la misma cuenca hidrográfica y tomar en cuenta la distribución geográfica del cauce.

#### **Paso 3. Participación comunitaria**

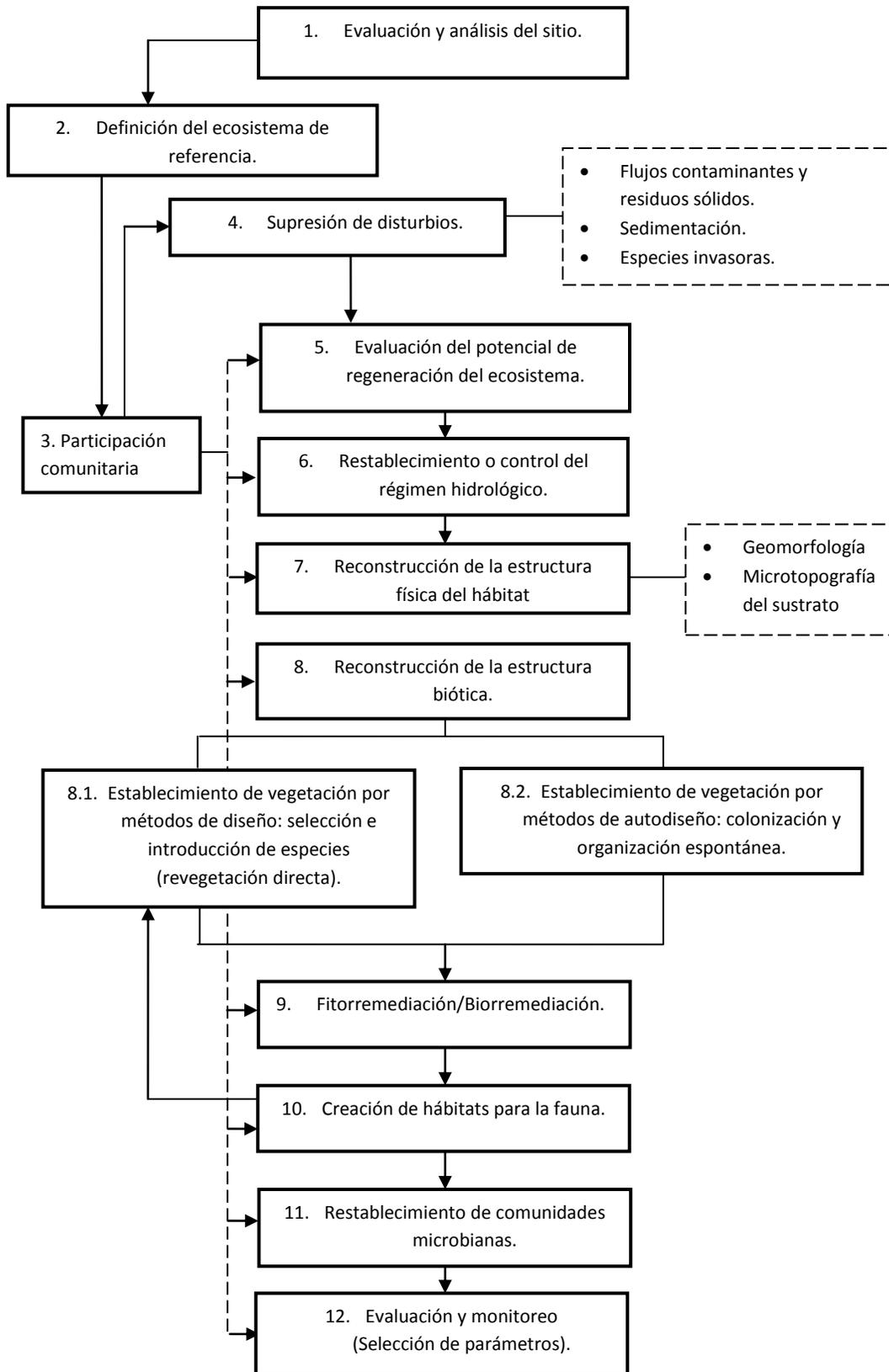
La participación comunitaria es un paso transversal que garantiza el logro de los pasos subsiguientes. Esta no involucra exclusivamente a comunidades campesinas u organizaciones comunitarias urbanas sino que también vincula instituciones educativas, entidades públicas y empresas privadas. Debe propiciarse la articulación de la participación y acción comunitaria para lograr con éxito la restauración de los ecosistemas de agua dulce. En Colombia esta situación es especial por cuanto humedales y ríos son fuertemente afectados por el desarrollo industrial y urbanístico y sus consecuentes efectos.

#### **Paso 4. Supresión de disturbios**

Antes de emprender cualquier acción de restauración es fundamental suprimir los disturbios presentes en el ecosistema. La supresión de disturbios permitirá posteriormente efectuar la evaluación del potencial de regeneración del mismo, en cuanto algunas barreras se superan parcialmente con la desaparición de estos. En ese sentido el sitio debe ser preparado haciendo los cambios pertinentes para la ocurrencia de procesos naturales. En los ecosistemas de agua dulce de Colombia por lo general se debe impedir la entrada de flujos contaminantes y residuos sólidos, la sedimentación y la introducción de especies invasoras.

#### **Paso 5. Evaluación del potencial de regeneración del ecosistema**

La evaluación del potencial de regeneración del ecosistema se logra a partir de la medición de indicadores de estado. Estos indicadores pueden ser físico-químicos o biológicos. Los ecosistemas deben contar con suficiente libertad de exhibir su dinámica natural.



**Figura 21.** Secuencia y relaciones de los pasos para la restauración ecológica de ecosistemas de agua dulce.

## 2. HUMEDALES

### Determinantes

Los humedales son áreas de marismas, pantanos y turberas (Figura 22), ya sean naturales o artificiales, temporales o permanentes, con agua que permanece estática o fluye, dulce, salobre o salada, incluyendo áreas de agua marina hasta una profundidad en que la marea baja no exceda de 6 m (RAMSAR 1971, EAAB-CI 2003).

Las características, propiedades y funciones de cualquier humedal son determinadas por el clima, régimen hidrológico, sustrato, posición y dominancia en el paisaje (Lewis 1995), fertilidad, disturbios, herbivoría, competencia y dinámica de la sedimentación (Keddy 2000).

- El régimen hidrológico controla características abióticas como color y textura del suelo.
- La distribución y movimiento del agua determinan la calidad del agua y la abundancia, diversidad y productividad de plantas, vertebrados e invertebrados.
- Las geoformas en los humedales son depresiones en el terreno con capacidad de captación y retención de agua (Kusler *et al.* 1994).
- Los nutrientes como fósforo y nitrógeno son introducidos por precipitación, flujos y fijación directa (nitrógeno) y se acumulan en el humedal determinando su fertilidad.

Los disturbios naturales como fuego, inundaciones y herbivoría mantienen las características de las comunidades vegetales.

### Disturbios

Los disturbios más importantes en este ecosistema son:

- Modificación de regímenes hidrológicos
- Sistemas de producción extensiva e intensiva
- Desarrollo industrial y urbanístico (expansión de la frontera urbana o agrícola).
- Sedimentación y colmatación
- Contaminación (principalmente de aguas)
- Sobreexplotación de recursos hidrobiológicos
- Desección (p. ej. turberas y ciénagas) y sequías prolongadas
- Invasiones biológicas

### Objetivos de la restauración

- Restaurar los humedales en áreas urbanas, degradados principalmente por expansión urbana y/o agropecuaria, vertimientos de aguas servidas, obstrucción de flujos hídricos, rellenos de escombros y especies invasoras.
- Restaurar las turberas de páramos degradadas por desecación y reemplazo de tierras por pastizales para ganado.



**Figura 22.** Humedal de páramo (Laguna Negra PNN Los Nevados) (Foto: O. Vargas).

- Restablecer los regímenes hidrológicos de las ciénagas costeras e interiores.
- Rehabilitar las funciones ecológicas de los humedales relacionadas con los servicios ambientales prestados a los entornos urbanos y rurales.
- Diseñar acciones para el establecimiento de la vegetación característica de los humedales por selección e introducción de especies y colonización natural.
- Construir humedales artificiales como medida de mitigación y compensación de daño a humedales fuertemente degradados.
- Construir humedales con fines de saneamiento de aguas residuales.

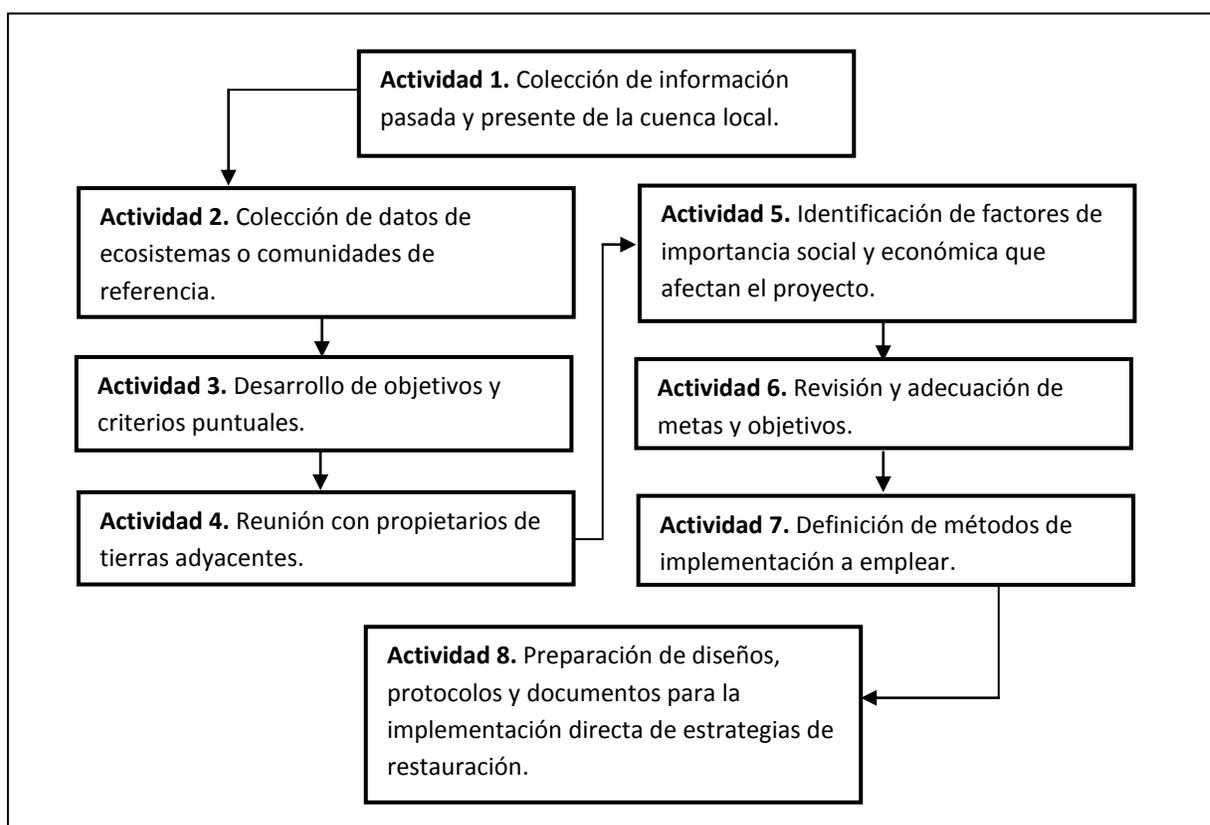
### **Estrategia para la restauración ecológica**

La restauración es un componente de la planificación nacional para la conservación y uso racional de los humedales. De acuerdo con la 8ª reunión de la Conferencia de las partes contratantes en la convención sobre humedales (Ramsar, Irán) (2002) se establecen principios y lineamientos para la restauración de humedales en el documento Ramsar COP8 Resolución VIII.16 (se recomienda consultar). A continuación se enuncian algunos principios de consideración en los proyectos de restauración de humedales:

1. Comprensión y declaración clara de metas, objetivos y criterios de rendimiento.
2. Planificación detenida para reducir posibilidades de efectos secundarios indeseados.
3. Examen de procesos naturales y condiciones reinantes durante la selección, preparación y elaboración de proyectos.
4. No debilitar esfuerzos para conservar los sistemas naturales existentes.
5. Planificación a escala mínima de cuenca de captación, sin desestimar el valor de hábitats de tierras altas y los nexos entre estos y hábitats propios de humedales.
6. Tomar en cuenta principios que rigen la asignación de recursos hídricos y el papel que la restauración puede desempeñar en el mantenimiento de las funciones ecológicas de los humedales.
7. Involucrar a todos los interesados directos en un proceso abierto
8. Gestión y monitoreo continuos (custodia a largo plazo).

9. Incorporar el conocimiento de la gestión tradicional de los recursos que contribuyen a la configuración del paisaje.
10. Aplicar el principio de manejo adaptable.
11. Emplear proyectos eficaces como ejemplo y aliento para la participación y formulación de nuevos proyectos.
12. Ejecutar actividades complementarias con medidas para promover la concienciación.

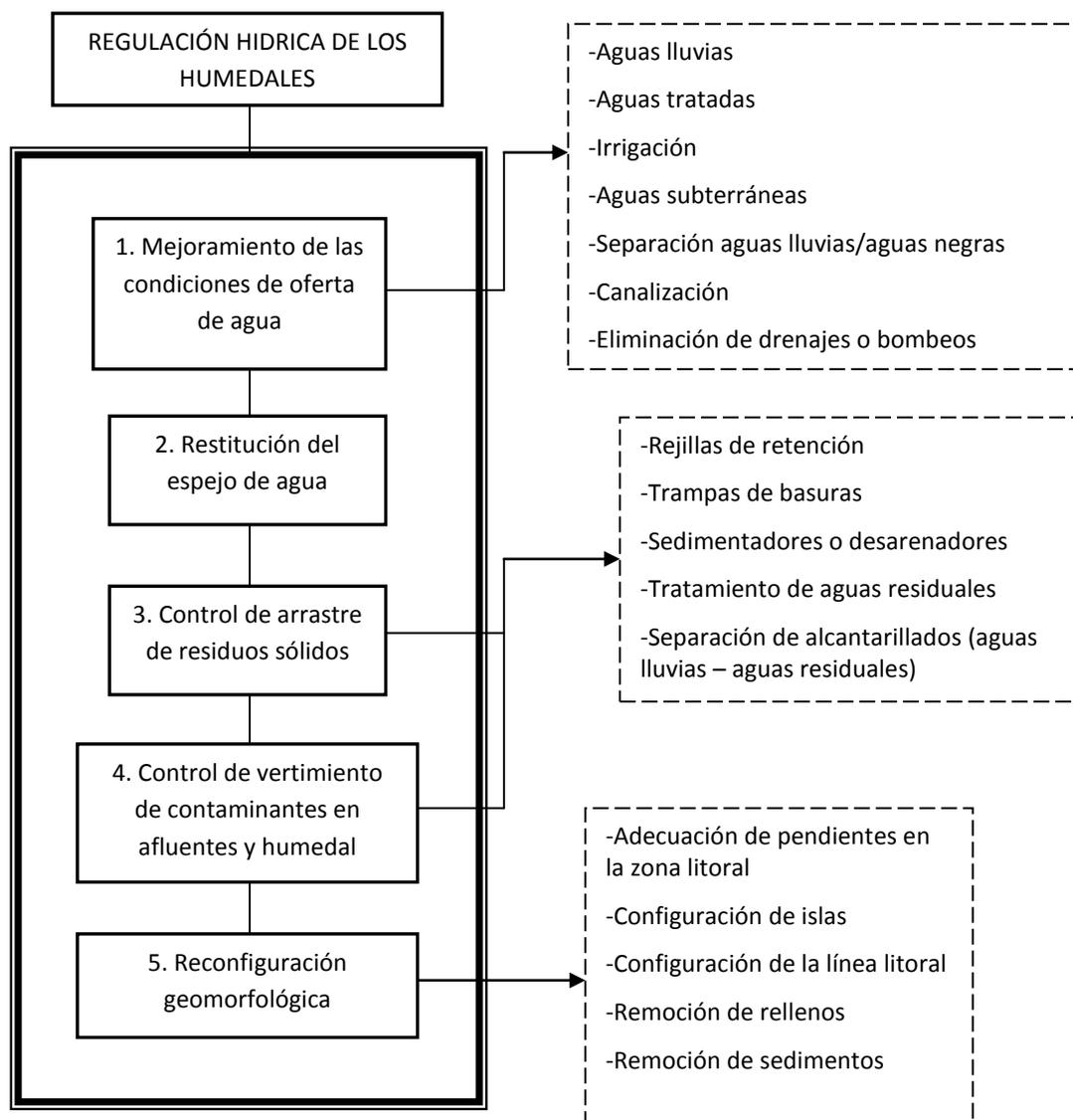
En la planeación del proceso de restauración de un humedal se realiza el análisis del sitio en cuanto a aspectos ecológicos y sociales, se define un modelo de respuesta y se contemplan opciones de restauración junto con la definición de metas y objetivos. Las actividades de planeación sugeridas se plantean en la Figura 23. En la actividad 2 se sugiere establecer la comunidad de referencia estudiando la composición, estructura y función de humedales conservados del mismo tipo y con condiciones geográficas y climáticas parecidas.



**Figura 23.** Actividades sugeridas para la planeación de la restauración de los humedales (IWWR, s.f.).

Lograr la restauración o rehabilitación de un humedal requiere en primer lugar del restablecimiento del régimen hidrológico, lo cual depende de actividades que consisten principalmente en eliminar obras de infraestructura que impidan el flujo de agua al humedal, o tubos y canales que drenan el agua de este. Sin embargo, la regulación hídrica del humedal también se relaciona con actividades que conciernen al control de la entrada de sedimentos, residuos sólidos y flujos contaminantes y la reconfiguración geomorfológica del sitio (Figura 24).

El régimen hidrológico puede recuperarse de manera indirecta si se controla la calidad del agua a partir de las concentraciones de nutrientes, la explotación de acuíferos y manantiales abastecedores y se mantiene la cobertura vegetal en las partes altas de las cuencas. Dado que el aporte de sedimentos está relacionado con el régimen hidrológico, en ocasiones es necesario construir gaviones o estructuras de retención de suelo. En otros casos se deben quitar las presas que retienen el sedimento o construir playas y dunas protectoras.



**Figura 24.** Pasos para la regulación hídrica de los humedales (SDA 2008)

Otro de los factores relacionados con el ambiente físico es la restitución de la microtopografía del sustrato porque determina la variación de factores como el potencial de oxidoreducción y temperatura, y/o la distribución y establecimiento de las especies. Las especies vegetales de los humedales son susceptibles a variaciones pequeñas en el relieve del sustrato en escalas de centímetros a metros (Collins *et al.* 1982, Titus 1990). La reconfiguración física del humedal

involucra técnicas de empleo de maquinaria y manuales para estabilizar la geoforma y al mismo tiempo propiciar la heterogeneidad en el relieve.

En segundo lugar es necesario el control de especies invasoras acuáticas, semiacuáticas y terrestres. Esto puede realizarse a través de métodos como el entresacado manual o la remoción con maquinaria liviana. Es conveniente hacerlo antes del establecimiento de especies vegetales nativas ya que es otra de las barreras a la restauración. El establecimiento de especies vegetales en los humedales tiene dos alternativas metodológicas (Lindig-Cisneros & Zedler 2005):

- Métodos de diseño: esta aproximación toma en cuenta la estrategia de historia de vida de las especies como el factor más importante en el desarrollo de la vegetación en un sitio. Esta estrategia enfatiza aproximaciones intervencionistas basadas en resultados predecibles ya que involucra la selección e introducción de especies con implementación de medidas necesarias para su permanencia.
- Métodos de autodiseño: consisten en permitir que las comunidades vegetales se organicen espontáneamente dejando que las especies se establezcan de manera natural colonizando el sitio. El restaurador puede plantar especies vegetales o no pero las condiciones ambientales naturales determinarán la permanencia de la vegetación (véase Middleton 1999).

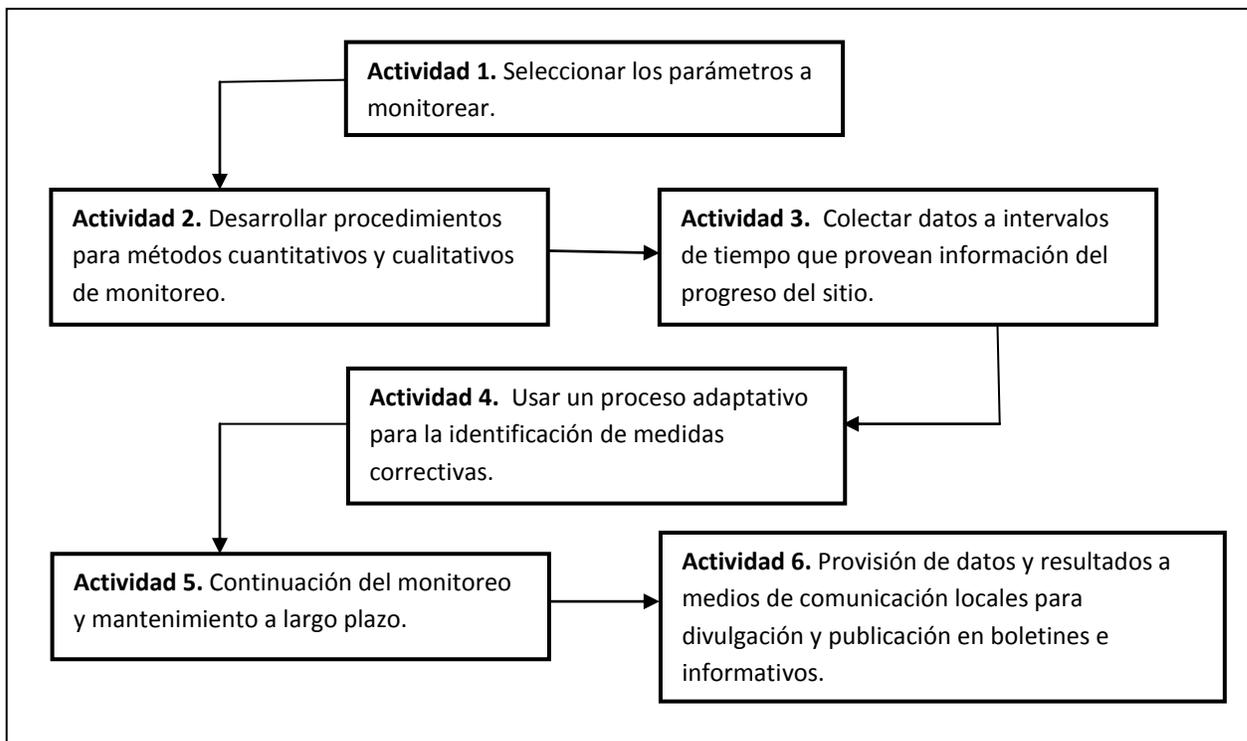
Ya que las condiciones ambientales determinan finalmente si la vegetación establecida prospera, lo más recomendable es hacer ensayos que permitan establecer cuales especies colonizan por sí solas y cuáles requieren ser plantadas.

Al igual que los métodos de diseño la creación de hábitats para la fauna requiere de la selección de especies vegetales de acuerdo a las especies animales. Restablecer la vegetación de los alrededores del humedal involucra sembrar especies nativas que sirvan como barrera, perchas vivas y refugios. Al final del proceso es imprescindible restablecer también la vegetación de los alrededores. Algunos criterios para el manejo de la cobertura vegetal terrestre de un humedal son: diseño de las plantaciones, diversidad de especies, conectividad interna, atrayentes (perchas y árboles de fructificación), condiciones edáficas, alternancia de corredores, estratificación, protección de la franja litoral, zonas de recreación y vegetación de transición.

Algunas actividades propuestas para realizar el seguimiento a través de la evaluación o monitoreo se presentan en la Figura 25.

Dentro de los atributos o variables de medición recomendables en el monitoreo de la restauración de humedales se reconocen los siguientes (Callaway *et al.* 2001):

- Hidrología: régimen de inundación, nivel freático, tiempo de retención de agua, caudales de entradas y salidas, tasas de flujo, elevación, sedimentación y erosión.
- Calidad del agua: temperatura del agua y oxígeno disuelto, pH, turbidez y estratificación de la columna de agua, nutrientes.
- Suelos: contenido de agua, textura, salinidad, densidad aparente, pH, potencial de reducción, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico, procesos del nitrógeno, descomposición, sustancias tóxicas.



**Figura 25.** Actividades de evaluación o monitoreo de proyectos de restauración en humedales (IWWR, s.f.)

- Vegetación acuática: porcentaje de cobertura, composición de especies, etapas de sucesión.
- Vegetación terrestre: mapeo, cobertura y altura de plantas vasculares, arquitectura del dosel, tamaño de parches y distribución de especies particulares, biomasa epigea, biomasa hipogea, estimación visual de algas y tipo dominante, concentración de nitrógeno en tejidos.
- Fauna: tasa de colonización, composición de especies, densidad, estructura poblacional, crecimiento, periodos de migración, anidación y cuidado de crías, relación reptiles/mamíferos. Entre los grupos considerados como indicadores biológicos para realizar el seguimiento de estos parámetros se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, peces y aves acuáticas.

### Literatura citada

- Callaway, J. C., G. Sullivan, J. S. Desmond, G. D. Williams & J. B. Zedler. 2001. Assessment and Monitoring. En: J. B. Zedler (ed.). Handbook for Restoring Tidal Wetlands. CRS Press, Boca Raton, Florida.
- Collins, S. L., J. V. Perino & J. L. Vankat. 1982. Woody vegetation and microtopography in the bog meadow association of Cedar Bog, a west central Ohio USA fen. American Midland Naturalist 108: 245-249.
- EAAB-CI. 2003. Los humedales de Bogotá y la Sabana. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Conservación Internacional. Bogotá.

- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 1998. Hacia la conservación de los humedales de Colombia: Bases científicas y técnicas para una política nacional de humedales. Biosíntesis Boletín No. 9.
- Interagency Workgroup on Wetland Restoration. S. F. An Introduction and User's Guide to Wetland Restoration, Creation and Enhancement. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Office of Habitat Conservation, Habitat Protection Division, Habitat Restoration Division.
- Keddy, P. A. 2000. Wetland Ecology: Principles and Conservation. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Kusler, J. A., W. J. Mitsch & S. Larson. 1994. Wetlands. Scientific American January:64B-70.
- Lewis, W. 1995. Wetlands: Characteristics and Boundaries. National Academic Press. Washington, D. C.
- Lindig-Cisneros, R. & J. B. Zedler. La restauración de humedales. En: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds.). 2005. Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.
- Middleton, B. 1999. Wetland Restoration: Flood Pulsing and Disturbance Dynamics. Wiley and Sons. United States of America.
- Rivera-Monroy, V. H., R. R. Twilley, E. Mancera, A. Alcantara-Eguren, E. Castañeda-Moya, O. Casas, P. Reyes, J. Restrepo, L. Perdomo, E. Campos, G. Cotes & E. Vilorio. 2006. Aventuras y desventuras en Macondo: Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Ecotropicos* 19(2): 72-93.
- Montenegro-S, A. L., Y. A. Ávila, H. A. Mendiverso-Ch & O. Vargas. 2006. Potencial del Banco de Semillas en la regeneración de la vegetación del humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. *Caldasia* 28(2):285-306.
- RAMSAR. 1971. Convención sobre los humedales. Ramsar, Irán.
- RAMSAR-COP8. 2002. Humedales agua, vida y cultura: Principios y lineamientos para la restauración de Humedales - Resolución VIII.16. Valencia, España.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá. D. C.
- Titus, J. H. 1990. Microtopography and woody plant regeneration in a hardwood floodplain swamp in Florida. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 117: 429-437.

### 3. RÍOS Y BOSQUES RIPARIOS

#### Determinantes

Los ríos se definen como volúmenes de agua relativamente grandes que se mueven dentro de un cauce visible (Figura 26), incluyendo el agua subterránea que fluye en la misma dirección, el área de inundación asociada y la vegetación riparia (Naiman & Bilby 2001). No existe diferencia exacta entre ríos y arroyos más que el volumen de agua que corre a través del canal, en los arroyos éste es relativamente pequeño. Las zonas riparias son la interface entre los ecosistemas terrestres y acuáticos, áreas semiterrestres regularmente influenciadas por agua dulce y que se extienden desde los cuerpos de agua hasta los límites de las comunidades vegetales eminentemente terrestres (Gregory *et al.* 1991, Naiman *et al.* 2007).

La existencia de los ríos como ecosistemas en el paisaje es determinada por factores como relieve, geomorfología fluvial y régimen de temperaturas, precipitaciones, evapotranspiración y escorrentía en la región biogeográfica. En los ríos se pueden reconocer características únicas, así como una dinámica natural propia, determinada por la heterogeneidad espacio-temporal y sus límites interactivos (Ward 1994). Muchos de los rasgos que poseen (continuo, espiral de nutrientes, estrés hidráulico y deriva) son manifestaciones del flujo unidireccional (Castro & Donato 2008). De acuerdo con Lindig-Cisneros & Zambrano (2007) los factores abióticos determinantes de ríos comprenden:

- La penetración de la luz permite el desarrollo en aguas transparentes de comunidades de plantas saludables que sirven de refugio y alimento a otros organismos.
- Los sólidos suspendidos regresan a la columna de agua los nutrientes retenidos en el fondo para promover el desarrollo de algas flotantes.
- La concentración de oxígeno disuelto es un factor limitante para cualquier organismo que requiera de este elemento para su crecimiento (producción primaria).



**Figura 26.** Río y bosque ripario en época seca (Casanare) (Foto: O. Vargas).

- La concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) es determinante para el crecimiento de poblaciones de algas en la columna de agua (producción primaria).

## Disturbios

Los disturbios antrópicos presentes en los ríos y vegetación riparia son:

- Deforestación
- Modificación de regímenes hidrológicos
- Sistemas de producción no sostenible (producción extensiva e intensiva en agricultura y ganadería)
- Contaminación
- Extracción de materiales a cielo abierto
- Sedimentación
- Invasiones biológicas
- Sobreexplotación de recursos biológicos

## Objetivos de la restauración

- Restauración o rehabilitación de ríos con influencia rural, urbana e industrial.
- Restauración o rehabilitación de ríos afectados por explotaciones mineras.
- Recuperación del régimen hidrológico en las cuencas altas de los ríos, arroyos y quebradas.
- Restauración o rehabilitación de la vegetación y rondas a lo largo de gradientes altitudinales.
- Restauración de deltas.

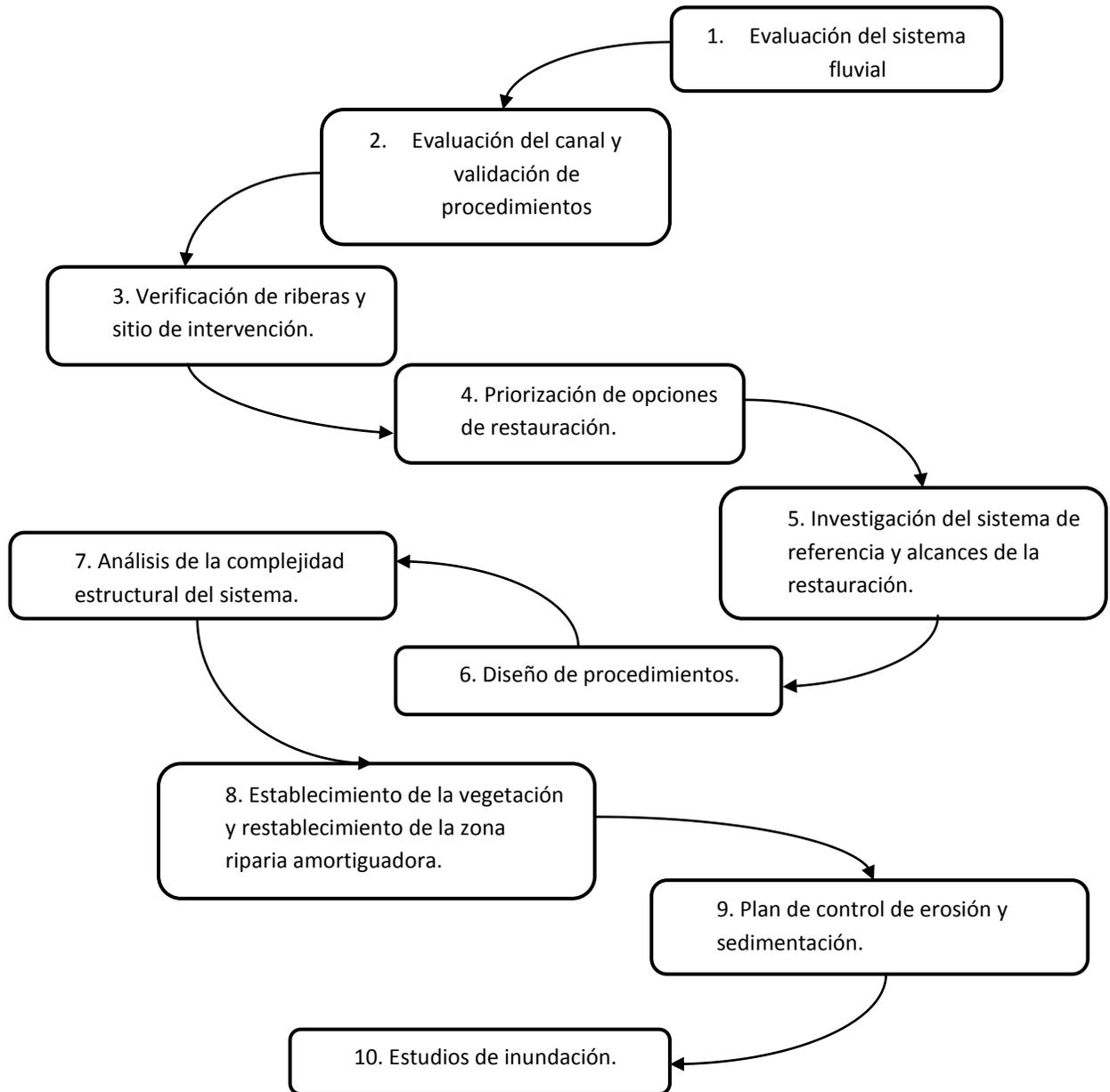
## Acciones para la restauración ecológica

De acuerdo con el Instituto de Restauración de Ríos (NCSRI) y la Concesión de Mar de Carolina del Norte (NCSG) (s.f.) el procedimiento propuesto para la restauración ecológica de los sistemas fluviales es el presentado en la Figura 27.

La evaluación física y geomorfológica del sistema fluvial degradado se realiza a partir de diferentes métodos existentes como: *Estilos geomórficos del río*, *Evaluación del estado del río*, *Evaluación del hábitat del río*, *Sistema de evaluación integrada del hábitat* y *Metodología instruida de incremento de flujo* (Newson *et al.* 1998, Dunn 2000, Phillips *et al.* 2001, Parson *et al.* 2002). Esta evaluación incluye la evaluación de las características geomorfológicas del lecho del río y su valle, la distribución de hábitats dentro del canal (caídas, rápidos y pozos), la presencia y variedad de parches de sustrato uniforme, vegetación y velocidad de corriente y acceso de luz, y preservación de características longitudinales (zonación) (Krauze *et al.* 2008).

Algunas de las técnicas para la reconstrucción física del hábitat en los sistemas fluviales se presentan en la tabla 6. Para rehabilitar la dinámica (régimen) hidrológica del río puede recurrirse a acciones como la atenuación de picos de flujo mediante el uso de reservorios de almacenamiento en la cuenca de captación o en el propio cauce, manejo del alto régimen de flujo

en planos de inundación y cauces a través del refuerzo de causas con materiales naturales y artificiales combinados, aseguramiento de flujos mínimos durante la temporada de sequía y alfézares dispuestos en el río para disminuir el gradiente longitudinal, la velocidad máxima y erosión. El mantenimiento de la conectividad hidráulica permite el movimiento de agua y biota entre el río, canales abandonados y planos de inundación adyacentes.



**Figura 27.** Procedimiento propuesto para la restauración ecológica de sistemas fluviales (NCSRI & NCSG, s.f.).

**Tabla 6. Técnicas para la restauración de la estructura física de los bancos de los ríos (Lapinska 2004).**

TECNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Estacas vivas	Cortes leñosos vivos colocados al interior del suelo, las raíces que crecen forman un tapete viviente que estabiliza este y envuelve las partículas por extracción de la humedad.	Efectiva en los sitios donde las condiciones no son complicadas, su tiempo de construcción es limitada y no es un método costoso. Es apropiado para reparar pequeñas caídas y deslices de tierra frecuentemente húmedos.
Fajinas vivas	Cortes de ramas en dormancia unidos en manojo y colocados en zanjas superficiales sobre las pendientes para reducir erosión y deslizamientos superficiales.	Pueden atrapar y mantener el suelo en los bancos creando estructuras pequeñas con forma de represa y reduciendo la longitud de la pendiente en una serie de pendientes pequeñas.
Refuerzo de leños, fajo de raíces y cantos rodados.	Atados de cantos rodados y leños con masas raíces, ubicados en los bancos para proveer protección contra la erosión, trampas de sedimentos y mejorar la diversidad del hábitat.	Amplia resistencia con atados bien hechos. Adecuado para ríos donde existe deficiencia de hábitat para peces.
<i>Rip-rap</i>	Manto de piedras de tamaño apropiado extendidas desde la punta de una cuesta a una altura necesaria.	Es comúnmente usado para proveer protección al banco en los ríos en los que se necesita durabilidad de largo plazo.
Protección de la punta del banco ( <i>bank-toe</i> ) con piedra	Cresta de piedra excavada (de cantera) o guijarros del río colocados en la punta del banco como armadura para desviar el flujo del banco, estabilizar la pendiente y promover la deposición de sedimentos.	Debe ser empleada en los ríos donde la vegetación no puede ser usada. Las piedras previenen la remoción de material caído al banco que se acumulan allí permitiendo la revegetación y estabilización de este.
Refuerzo de árboles	Fila de árboles interconectados unidos a la punta del banco de un río o en las cabezas muertas para reducir la velocidad del flujo a lo largo de bancos erosionados, proveer trampas de sedimentos y sustratos para el establecimiento de plantas y control de erosión.	Trabajan mejor en ríos con alturas de banco bajo los 3.6 m y las velocidades con banco lleno bajo 1.8 m por segundo. Capturan sedimento y mejoran las condiciones para la colonización por especies nativas particularmente en ríos con altas cargas de material en el lecho.
Geomallas vegetadas	Capas alternadas de cortes de ramas vivos y suelo compacto ajustados con geotextil naturales o sintético, dispuestas alrededor de suelo levantado para reconstruir y revegetar bancos erosionados.	Establecimiento rápido de la vegetación riparia si son apropiadamente diseñados e instalados. Pueden ser instalados en una pendiente escarpada y muy alta, tienen muy alta tolerancia inicial a la velocidad del flujo.

Para crear rápidos, pozos y caídas, componentes importantes de la estructura física de un río en la rehabilitación del meso-hábitat se usan prácticas como: aglomerados de cantos rodados, presas, pasadizos de peces, resguardos de leños/rastrojo/roca, barreras de migración, cobertura de árboles, deflectores de viento y medidas de grado de control.

La reconstrucción de la estructura biótica de los sistemas fluviales incluye 3 pasos: establecimiento de comunidades macrófitas en los lechos, estructuración de la cobertura vegetal en los bancos y desarrollo de la vegetación en los valles o zonas riparias (Krauze *et al.* 2008). El establecimiento de plantas acuáticas requiere la aplicación de procedimientos especiales y técnicas para prevenir el daño de las plantas y su deslave en estados tempranos de sucesión. Algunos procedimientos son la creación de flujos bajos, zonas parcialmente aisladas dentro del lecho del río y la preparación de sustrato para plantación. En cuanto a la restauración de zona riparias Naiman *et al.* (2007) y proponen los siguientes principios ecológicos y lineamientos para el manejo de bosques riparios:

1. Los regímenes de caudal naturales modelan la evolución de la biota riparia y los procesos ecológicos en el área.
  - Los disturbios son esenciales porque son eventos cuyos efectos influyen fuertemente la dinámica ecológica y los patrones espaciales del ecosistema.
  - Las interacciones entre los flujos de agua superficial y subterránea son esenciales en la integridad ecológica del ecosistema acuático-ripario.
2. Las redes de interacción entre individuos y especies tienen fuertes efectos en los procesos ecosistémicos.
3. El manejo de las zonas riparias demanda gran cooperación debido a la complejidad de la información y su eventual cambio, esto excede la capacidad de trabajo de un grupo singular.
4. Las actividades humanas apropiadas que afectan la zona riparia son elementos ecológicos fundamentales de la captación.
5. Conservar y restaurar las propiedades biofísicas de las zonas riparias mejora todos los valores de los recursos naturales y el bienestar humano.

Las acciones de restauración correspondientes a reconstrucción física y biológica del hábitat son complementadas por técnicas de fitorremediación que incluyen fitoextracción o fitoconcentración, fitodegradación, biodegradación de la rizósfera, volatilización y estabilización. Deben tomarse en cuenta para esto factores como:

- Selección apropiada de especies vegetales
- Especies nativas localmente adaptadas y resistentes a las sustancias contaminantes del suelo
- Tolerancia de las plantas a la variabilidad de condiciones ambientales y capacidad de adaptación a características del hábitat acuático.

Respecto al monitoreo de la restauración de los sistemas fluviales Palmer *et al.* (2005) definen 5 criterios de éxito para la restauración ecológica de los ríos:

1. Imagen guía de estado dinámico, es decir, un punto ecológico dinámico de llegada identificado a priori y usado para guiar la restauración.
2. Mejoramiento del ecosistema, es decir, condiciones ecológicas de río apreciablemente mejoradas.
3. Incremento de la resiliencia, es decir, el ecosistema es más autosostenible que antes de la restauración.
4. Daños no perdurables provocados, es decir, la implementación de la restauración no causa daños irreparables.
5. Evaluación ecológica completa, es decir, algún nivel de evaluación pre y post proyecto es transmitida y su información se hace disponible.

### **Monitoreo y Evaluación**

Se realiza a partir de la medición de los siguientes parámetros:

- Microclima: gradientes microclimáticos que indican condiciones en ambientes terrestres y sistemas acuáticos adyacentes.
- Heterogeneidad de parches: indicador de la integridad del régimen de descargas.
- Biodiversidad: riqueza de especies vegetales.
- Terrestrialización: incremento en la abundancia relativa de especies terrestres.
- Seston: material particulado suspendido.

### **Literatura citada**

- Castro, M. I. & J. C. Donato. 2008. Aspectos generales sobre la ecología de ríos. En: Donato, J. C. (ed.). Ecología de un Río de Montaña de los Andes Colombianos (Río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá.
- Dunn, H. 2000. Identifying and protecting rivers of high ecological value LWRDC Occasional Paper No. 01/00.
- Gregory, S. V., F. J. Swanson, W. Arthur McKee & K. W. Cummins. 1991. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones: Focus on links between land and water. Bioscience Sep 41, 8 Research Library 540.
- Krauze, K., M. Zawilski & I. Wagner. 2008. Aquatic habitat rehabilitation: Goals, constraints and techniques. En: Wagner, I., J. Marsalek y P. Breil (Eds.). Aquatic habitats in sustainable urban water management: Science, Policy and Practice. Unesco Publishing. Taylor & Francis Group. Londres – Paris.
- Naiman, R. J. & R. E. Bilby (eds.). 1998. River Ecology and Management. Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion. Springer-Verlag. New York.
- Naiman, R. J., H. Decamps & M. E. McClain. 2007. Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities. Elsevier Academic Press. China.
- Newson, M. D., D. M. Harper, C. L. Padmore, J. L. Kemp y B. Vogel. 1998. A cost-effective approach for linking habitats, flow types and species requirements. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 8: 431- 446.
- North Carolina Stream Restoration Institute (NCSRI) and North Carolina Sea Grant (NCSG). S.F. Stream Restoration: A Natural Channel Design Handbook. Nc Stream Restoration Institute, Sea Grant North Carolina, State of North Carolina Department of Transportation, United States Environmental Protection Agency.

- Lapinska, M. 2004. Streams and rivers: Defining their Quality and Absorbing Capacity. Management of streams and rivers: how to enhance absorbing capacity against human impacts. pp. 75-97, 169-188. En: Zalewsky M. y I. Wagner-Lotkowska (Eds.). Integrated Watershed Management – Ecohydrology - Phytotechnology – Manual. UNESCO IHP, UNEP-IETC.
- Lindig-Cisneros, R. & L. Zambrano. Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Sánchez, O., E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano (eds.) 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, United States Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación A. C., Escuela de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México D. F.
- Palmer, M. A., E. S. Bernhardt, J. D. Allan, P. S. Lake, G. Alexander, S. Brooks, J. Carr, S. Clayton, C. N. Dahm, J. Follstad, D. L. Galat, S. G. Loss, P. Goodwin, D. D. Hart, B. Hassett, R. Jenkinson, G. M. Kondolf, R. Lave, J. L. Meyer, T. K. O'Donnell, L. Pagano & E. Sudduth. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42: 208-217.
- Parson, M., M. Thomas & R. Norris. 2002. Australian River Assessment System: Review of Physical River Assessment Methods - A Biological Perspective. Monitoring River Health Initiative Technical Report 21, Environment Australia.
- Phillips, N., J. Bennett & D. Moulton. 2001. Principles and tools for the protection of rivers, Queensland Environmental Protection Agency report for LWA.
- Ward, J. V. 1994. The structure and dynamics of lotic ecosystems. pp. 195-218. En: R. Margalef (ed.). *Limnology now. A paradigm of planetary problems*. Elsevier Science. B. V. Amsterdam.

## IV PARTE. SISTEMAS COSTEROS

### 1. INTRODUCCIÓN

En la Figura 28 se presenta la secuencia de pasos propuesta para la restauración ecológica de ecosistemas costeros.

#### **Paso 1. Supresión de factores de disturbio múltiples**

En este paso se deben suspender todas aquellas actividades que generan impacto en los ecosistemas costeros. Debido a su vulnerabilidad es un paso fundamental antes que la evaluación misma de la degradación. Tal es el caso de ecosistemas de coral y praderas de pastos marinos, los cuales se ven afectados por actividades náuticas, sedimentación, contaminación química y térmica. Algunos de los factores de disturbio operan en forma simultánea; sin embargo, los efectos de estos también se combinan en el tiempo independientemente de su ocurrencia.

#### **Paso 2. Reversión de la degradación del hábitat**

Este paso es particularmente importante en los casos en los cuales los ecosistemas han tenido algún tipo de alteración en el régimen hidrológico (manglares) o están eutrofizados. Antes de observar la regeneración natural o emprender acciones de restauración debe restablecerse el régimen hidrológico y descontaminar el agua y sustrato.

#### **Paso 3. Favorecimiento de procesos de regeneración natural (3.1)**

Luego de la reversión de la degradación del hábitat se espera la recuperación del ecosistema por sí solo. Favorecer los procesos de regeneración natural requiere observar la capacidad de reclutamiento de nuevos individuos. Sin embargo, existen barreras físicas que impiden la dispersión y establecimiento de propágulos por lo cual el reclutamiento no es suficientemente efectivo para la recuperación del ecosistema. Estas barreras deben eliminarse y en lo posible cuando el caso lo amerita, intervenir en la adecuación de las condiciones físicas para propiciar los procesos de dispersión, establecimiento y persistencia de organismos.

#### **Paso 3. Mitigación (3.2)**

En los casos en los cuales la situación no permite la regeneración natural ni la intervención del hombre a través de acciones de restauración, la mitigación es una alternativa válida. Dentro de las opciones de mitigación se incluyen principalmente programas de educación ambiental o implementación de acciones de restauración en otros sitios degradados en compensación de los daños producidos en áreas afectadas.

#### **Paso 4. Participación comunitaria**

La importancia de este paso radica en la acción conjunta de las comunidades que utilizan y aprovechan recursos provistos por los ecosistemas costeros. Es el caso de pescadores y artesanos cuya participación y capacitación es herramienta fundamental en los procesos de restauración.

Este paso se integra a los pasos subsiguientes pero también podría ser esencial eventualmente en el paso 2.

#### **Paso 5. Selección de sitios o hábitats apropiados**

Luego de comprobar que la regeneración natural no ocurre o no es suficiente para la recuperación de los ecosistemas costeros, deben seleccionarse los sitios o hábitats apropiados para emprender acciones de restauración activa. Estos sitios deben ofrecer las condiciones propicias para garantizar la efectividad de los métodos y acciones empleados en la restauración. Los principales criterios de selección en zonas costeras dadas las características físico-bióticas de los ecosistemas presentes, se relacionan con aspectos logísticos, dimensiones del área, acceso y condiciones similares a ambientes previamente restaurados con éxito

#### **Paso 6. Selección de poblaciones o comunidades donantes**

La selección de poblaciones o comunidades donantes se hace con el criterio de obtener organismos para la cría y propagación. Los organismos deben seleccionarse de hábitats o ecosistemas en buen estado de conservación sin implicar que su extracción involucre cambios severos o drásticos en la supervivencia y viabilidad de las poblaciones donantes. Deben tenerse especiales recomendaciones en el transporte y manipulación de los organismos.

#### **Paso 7. Reconstrucción estructural del hábitat**

Algunas perturbaciones en los ecosistemas costeros involucran la reconstrucción estructural del hábitat. La mayoría de organismos dominantes en los ecosistemas costeros requieren de sustratos estables para desarrollarse.

#### **Paso 8. Cría y propagación de especies seleccionadas**

Al igual que en la restauración de ecosistemas terrestres, en los ecosistemas costeros existen especies clave para la restauración. Sean mangles, corales, esponjas o pastos marinos, existen métodos de cría y propagación específicos para cada uno de estos organismos.

#### **Paso 9. Trasplante**

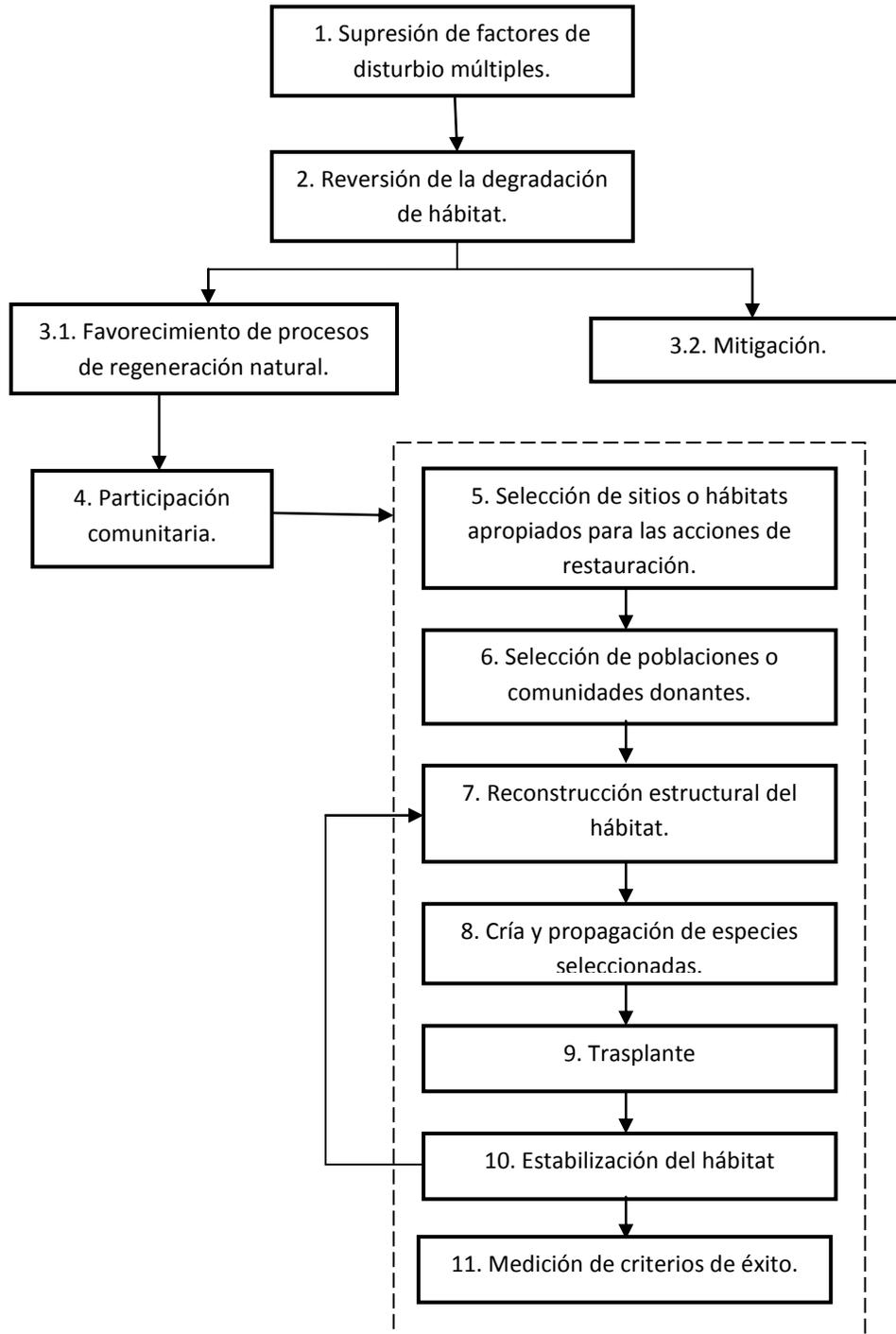
El trasplante es el paso mediante el cual los organismos criados y propagados son implantados en el sitio o hábitat seleccionado. De acuerdo con el ambiente de cada ecosistema deben seguirse recomendaciones específicas.

#### **Paso 10. Estabilización del hábitat**

En algunos casos la reconstrucción estructural del hábitat y trasplante es insuficiente para garantizar la viabilidad de las poblaciones y debe recurrirse a técnicas de estabilización con el fin de que los organismos prosperen.

### Paso 11. Medición de criterios de éxito

Este paso permitirá establecer aquellos parámetros o atributos útiles en la evaluación y monitoreo de la restauración. De acuerdo a las condiciones iniciales del ecosistema se hará el seguimiento de estos parámetros.



**Figura 28.** Secuencia y relaciones de los pasos para la restauración ecológica de los ecosistemas costeros.

## 2. MANGLARES

### Determinantes

Los manglares (Figura 29) son las formaciones vegetales intermareales características de litorales tropicales y subtropicales, se refieren a estas como bosques costeros, bosques mareales o bosques de mangle (manglar) (Saenger 2002). Están constituidos por especies de mangle con adaptaciones a fluctuaciones en la salinidad y oxígeno disponible, alta radiación y suelos inestables. En condiciones no óptimas los manglares conforman coberturas dispersas y de arbustos enanos poco parecidas a bosques productivos extensos.

Dentro de los determinantes de este ecosistema se incluyen:

- La geomorfología, puesto que los manglares crecen en llanuras litorales de los deltas formados a partir de sedimentos fluviales depositados en la desembocadura de los ríos, están protegidos por el oleaje y cuando el río sube este reduce su velocidad. La forma depende de los sedimentos acarreados y son determinantes en la estructura de los bosques de manglar.
- La hidrología, ya que la cantidad de agua dulce que drena a los manglares depende del tamaño de la cuenca, del caudal de los ríos, de las precipitaciones y la desviación de los cauces por intervención del hombre. Las principales tasas de transportes de agua ocurren durante periodos cortos (1-2 horas) del ciclo de marea.



**Figura 29.** Manglar en el Caribe colombiano (Foto: O. Vargas).

- El flujo dentro de la vegetación es lento a pesar de la velocidad que lleve la corriente; se estima que no excede los 5 cm/s. Los manglares más grandes se establecen en regiones con aporte abundante de agua dulce pero sin grandes descargas.
- La temperatura debido a que altas temperaturas en combinación con una alta radiación solar, aumenta la evapotranspiración y por lo tanto aumenta los niveles de salinidad del suelo.
- La precipitación aunque variable según la zona latitudinal y la ubicación geográfica (climas húmedos y áridos) es determinante en el control de la salinidad del suelo pues altas tasas de precipitación reducen la hipersalinidad.
- Los suelos porque los manglares se establecen en suelos inestables y pobres en nutrientes provistos de sedimentos derivados de costas, riberas de ríos y tierras altas erosionadas (Cardona & Botero 1998). En suelos inorgánicos con depósitos de limo y arcillas en llanuras aluviales y terrazas de sedimentos que se depositan a lo largo del cauce de los ríos como producto de la erosión, estos son generalmente ricos en nutrientes (Ca, Mg y K) retenidos temporalmente. También en suelos orgánicos con alta acumulación de restos orgánicos que tienen poco contenido de arcilla, limo y arena.

## Disturbios

Los principales disturbios en los manglares son (Sánchez-Páez 1994, Sánchez 2009) :

- Deforestación.
- Modificación del régimen hidrológico.
- Contaminación.
- Sobreexplotación de recursos biológicos.
- Desarrollo industrial y urbanístico.
- Sedimentación.

## Objetivos de la restauración

Como objetivos generales para la restauración ecológica de los manglares se proponen los siguientes:

- Restaurar áreas de manglar deforestadas, contaminadas y sedimentadas.
- Restaurar áreas de manglar afectadas por huracanes.
- Rehabilitar áreas de manglar convertidas en playones y basureros a cielo abierto.
- Restablecer el régimen hidrológico de los manglares afectados por sedimentación y obras de infraestructura como carreteras.
- Promover proyectos comunitarios para la construcción de viveros y propagación de especies de mangle.

## Acciones para la restauración ecológica

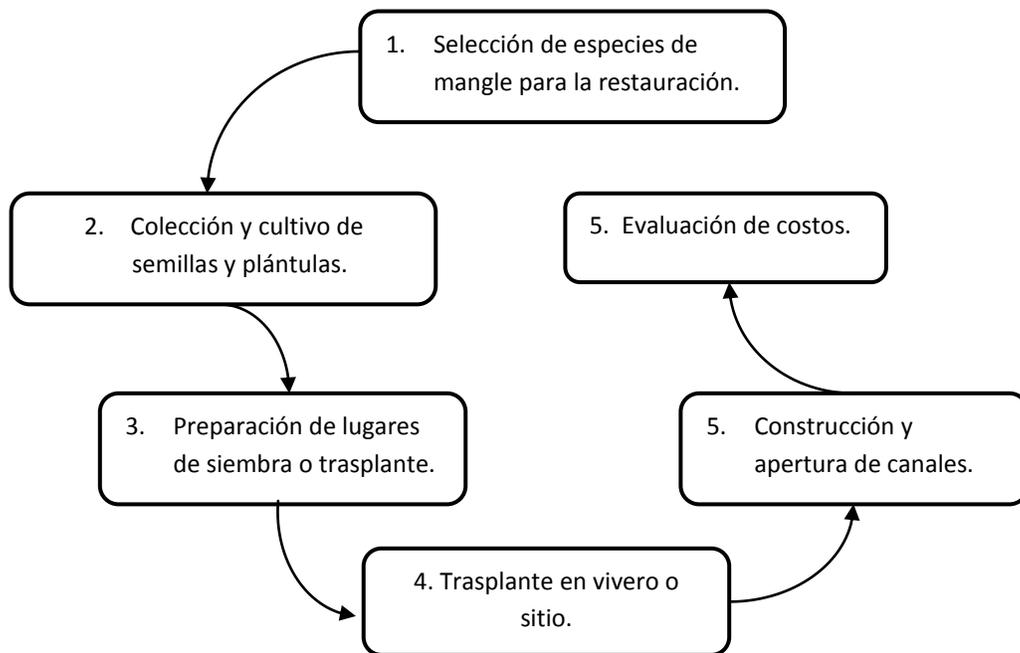
Debido a que los manglares pueden recuperarse sin esfuerzos de restauración activa, la restauración ecológica de los mismos debe empezar por cumplir con las siguientes acciones (basado en Lewis 2005):

1. Establecer la existencia de una o más barreras a la restauración (Elster & Polanía 2000). (análisis de modificaciones del ambiente ocurridas) que impiden la sucesión secundaria, por ejemplo el bloqueo de la inundación mareal.
2. Una vez identificadas las barreras se deben eliminar antes de emprender cualquier acción de restauración.
3. Realizar la determinación por observación de la ocurrencia de reclutamiento de plántulas. Esto significa entender la autoecología de las especies de mangle en el sitio, es decir, sus patrones de reproducción, la distribución de propágulos y el éxito de establecimiento de plántulas (esto influirá en la escogencia de especies en la siguiente fase). También los patrones hidrológicos normales que controlan la distribución y el éxito del establecimiento y crecimiento de las especies objetivo (profundidad, duración y frecuencia y flujo mareal en comunidades de referencia cercanas o parecidas al sitio objetivo de restauración).
4. Favorecer la regeneración natural si esta ocurre (Lema-Vélez & Polanía 2005), solamente si no ocurre emplear acciones de restauración activa y pasar a la fase de experimental o de implementación.
5. Diseño del programa de restauración para restaurar inicialmente el régimen hidrológico apropiado y el reclutamiento natural y voluntario de los propágulos de mangle para el establecimiento de las plantas.

Si las acciones anteriores son implementadas no son suficientes para favorecer el éxito de la restauración a través de la regeneración natural, es necesario proceder con el desarrollo de las acciones de la Figura 30. El trasplante de propágulos a través de la colección y cultivo de plántulas se requiere cuando el reclutamiento natural no provee suficiente cantidad de plántulas establecidas con éxito, o las tasas de establecimiento y crecimiento no cumplen con metas de restauración planteadas. En esta acción la participación comunitaria es fundamental cuando se opta por construir viveros comunitarios temporales (Ulloa *et al.* 2004) para la producción de plántulas.

La preparación de los lugares de siembra o trasplante debe hacerse imitando al máximo la topografía del terreno y sus variaciones sutiles. Estas variaciones controlan la profundidad, duración y frecuencia de la inundación mareal. La construcción y apertura de canales se hace para favorecer el flujo y drenaje al interior del área y favorecer la entrada y salida de peces con las mareas. Por último es de gran utilidad la evaluación de los costos del proyecto en una etapa temprana con el fin de hacer los recursos más efectivos con la consecuente replica de acciones para la restauración.

Garantizar el éxito del proyecto requiere de la evaluación y seguimiento de los resultados del mismo. En esta instancia es útil la implementación de parcelas experimentales en las cuales se tengan réplicas y controles a través de los cuales parámetros como la supervivencia del mangle y las tasas de colonización y crecimiento de las especies puedan ser registradas (véase Sánchez 2009).



**Figura 30.** Acciones para la restauración activa de ecosistemas de manglar (Adaptado de Lewis 2005).

## Literatura citada

- Cardona, P. & L. Botero. 1998. Soil Characteristics and Vegetation Structure in a Heavily Deteriorated Mangrove Forest in the Caribbean Coast of Colombia. *Biotropica* 30(1): 24-34.
- Elster, C. & J. Polanía. 2000. Posibilidades de recuperación del manglar en la ciénaga grande de Santa Marta (Colombia). *Actual Biol* 22(72): 29-36.
- Lema-Vélez, L. F. & J. Polanía. 2005. Regeneración natural y producción del manglar del delta del Río Ranchería, Caribe Colombiano. *Actual Biol* 27 (82): 25-33.
- Lewis, R. R. 2005. Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forest. *Ecological Engineering* 24: 403-418.
- Saenger, P. 2002. *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Kluwer Academic Press. Netherlands.
- Sánchez-Paez, H. Los Manglares de Colombia. En: Universidad de Miami. 1994. El ecosistema de Manglar en América Latina y la cuenca del Caribe: su manejo y conservación. Editorial Universidad de Miami.
- Sánchez, H. 2009. Experiencias de zonificación y restauración de los manglares en la costa Caribe de Colombia. XII congreso forestal mundial. Buenos Aires, Argentina. [http://www.cfm2009.org/es/programapost/trabajos/Experiencias\\_de\\_zonificacion\\_y\\_restauracion\\_FD.pdf](http://www.cfm2009.org/es/programapost/trabajos/Experiencias_de_zonificacion_y_restauracion_FD.pdf)
- Ulloa, G. A., H. Sánchez-Páez & H. A. Tavera. 2004. Restauración de Manglares Caribe de Colombia. Proyecto Manejo Sostenible y Restauración de los Manglares por Comunidades Locales del Caribe de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – CONIF – OIMT. Bogotá.

### 3. ECOSISTEMAS CORALINOS

#### Determinantes

Los ecosistemas coralinos son formaciones de coral (Figura 31) que van desde simples coberturas discontinuas (comunidades y alfombras de coral) hasta inmensos complejos arrecifales (Márquez 1996, López-Victoria & Díaz 2000). Un arrecife es una estructura construida por organismos vivos que modifica sustancialmente la topografía del lecho marino y cuya dimensión es tal que influencia las propiedades físicas y por ende ecológicas del medio circundante; su consistencia es lo suficientemente compacta para resistir las fuerzas hidrodinámicas y por lo tanto, está en la capacidad de conformar un hábitat duradero, estable y característicamente estructurado para albergar organismos especialmente adaptados (Shuhmacher 1982).

Los factores físicos que determinan el asentamiento y desarrollo de una comunidad coralina y en especial la producción primaria y biomasa de un arrecife son (algunos enunciados por Alongi 1998):

- La profundidad y luz es determinante para los corales porque requieren de aguas claras con suficiente penetración de luz como condición para que las zooxantelas realicen fotosíntesis. Su profundidad límite de crecimiento activo es de 45 a 75 m.
- La temperatura determina el desarrollo óptimo de los corales en el rango entre los 23 y 25°C.
- La salinidad es un factor crítico, los corales presentan tolerancia a salinidades de 27 a 40 ppm.
- La sedimentación y turbidez son factores que afectan los corales en altas concentraciones de sedimentos produciendo bloqueo de la luz y taponamientos.



**Figura 31.** Formación coralina en la Bahía de Chengue, PNN Tayrona (Foto: Sven Zea).

- La complejidad estructural y estabilidad física del sustrato son importantes para la formación de grandes comunidades de corales en sustratos duros de tipo rocoso.
- Las concentraciones y disponibilidad de nitrógeno y fósforo.
- La hidrodinámica local determina el suministro de nutrientes y alimento para corales y zooxantelas de acuerdo a la circulación del agua.

## Disturbios

Los disturbios más importantes en este ecosistema son (Garzón-Ferreira & Díaz 2003):

- Sedimentación.
- Contaminación.
- Sobreexplotación de recursos biológicos.
- Desarrollo de obras, espacios urbanos e infraestructura.
- Huracanes.
- Invasiones biológicas.
- Pesca con dinamita.

## Objetivos de la restauración

Se proponen los siguientes objetivos generales para la restauración ecológica de los ecosistemas de corales en Colombia:

- Restaurar arrecifes coralinos y alfombras de coral destruidas por embarcaciones.
- Restaurar formaciones coralinas con alta incidencia de sedimentación.
- Restaurar formaciones coralinas con episodios de blanqueamiento, proliferación de algas y enfermedades epidémicas.
- Promover la conectividad de las áreas coralinas con los demás ecosistemas costeros.
- Estudiar los métodos de cría y propagación de especies de esponjas, corales y otros organismos claves para la restauración.

## Acciones para la restauración ecológica

De acuerdo con Pretch (2006) la restauración ecológica de los ecosistemas de coral debe comenzar por evaluar y tener presentes los siguientes puntos con la finalidad de establecer en un sitio específico los beneficios de la restauración según la capacidad de los recursos y servicios del área para recuperarse naturalmente:

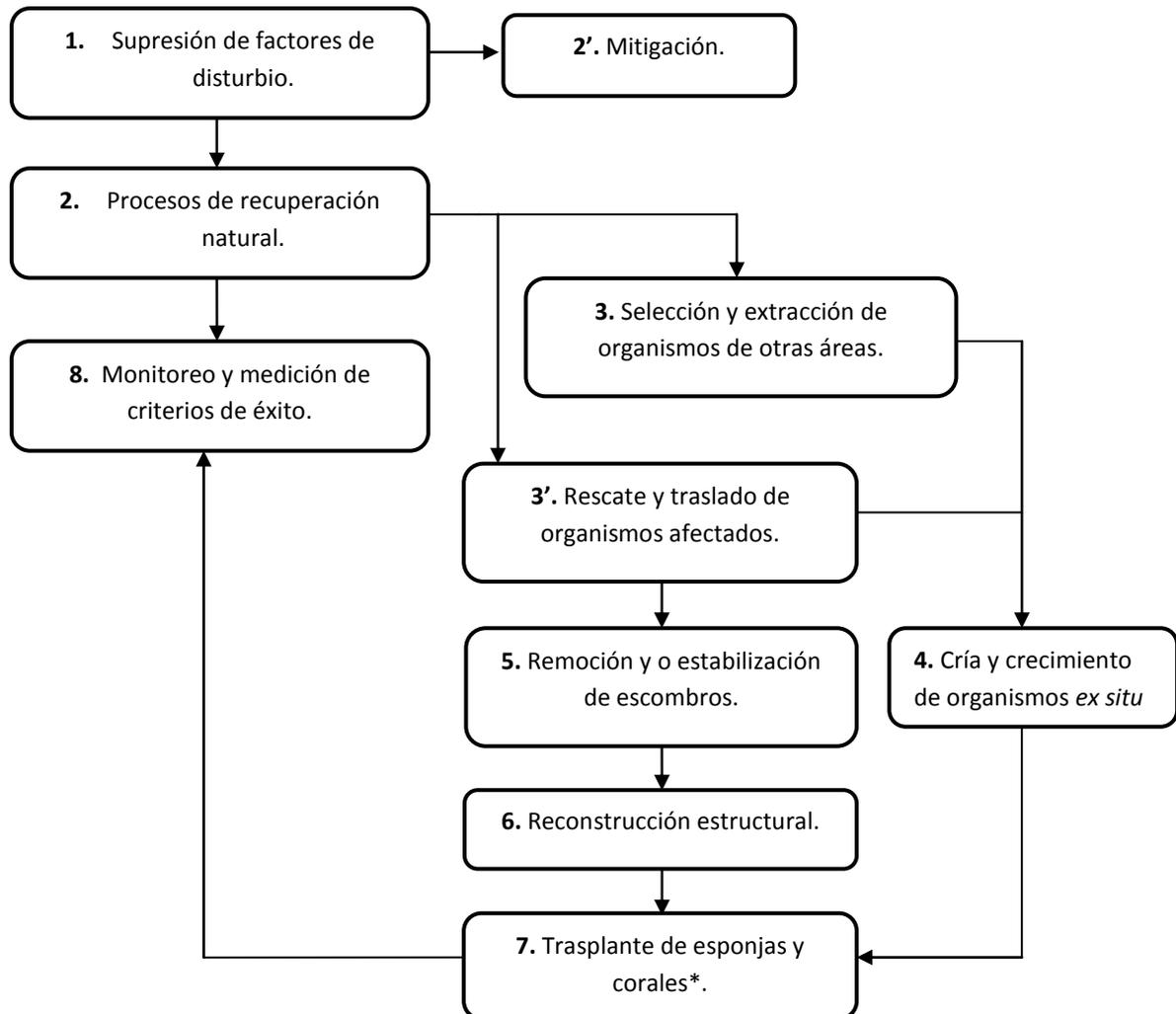
- La sensibilidad y vulnerabilidad de recursos y/o servicios afectados.
- El potencial reproductivo y de reclutamiento de las especies.
- La resistencia y resiliencia (estabilidad) del ambiente afectado.

De acuerdo con lo anterior y a pesar de la vulnerabilidad de los ecosistemas de coral y situaciones de riesgo extremas es necesario un examen minucioso sobre:

- Costos de las alternativas a emplear.

- Alcances esperados de acuerdo a alternativas planteadas y metas y objetivos propuestos para retornar los recursos y servicios naturales afectados.
- Probabilidades de éxito de las alternativas.
- Alcance de las alternativas para prevenir degradaciones como resultado de incidentes futuros.
- Prevención de degradaciones colaterales como resultado de la implementación de las alternativas.

La Figura 32 muestra las acciones generales para la restauración de los ecosistemas de coral. Todo proceso de restauración de ecosistemas de corales debe comenzar por la supresión de los disturbios independientemente de la elección de alternativas pasivas o activas. De inmediato, si las condiciones son óptimas los arrecifes y otras formaciones se regeneran por sí solos. Cuando esto ocurre la mejor serie de alternativas son de carácter pasivo y corresponden básicamente al aislamiento y mantenimiento del área degradada, su monitoreo y todas las acciones necesarias para lograrlo.



**Figura 32.** Acciones generales para la restauración ecológica de ecosistemas de corales (Adaptado de Jaap 2000).

Cuando la regeneración natural no resulta por condiciones adversas del medio y/o bajo reclutamiento de organismos, debe recurrirse a la restauración activa. Esto comprende acciones diferentes dependiendo del tipo de alteración ocurrida en el ecosistema. De forma general, debe recurrirse a poblaciones o comunidades donantes de las cuales se obtienen organismos como esponjas y corales para su cría, propagación y posterior trasplante en los sitios afectados.

En el caso específico de derribamiento de formaciones coralinas por embarcaciones las acciones de restauración que deben emprenderse se enumeran a continuación (Jaap 2000):

1. Rescatar los recursos afectados tan rápido como es posible y movilizarlos a un lugar seguro hasta tener la posibilidad de trasplantarlos en el arrecife implicado (Es la acción más importante de todas).
2. Realizar la investigación preliminar del daño y proveer un estado de priorización (en emergencia) de los recursos bentónicos afectados.
3. Enderezar los corales derribados y recuperar los fragmentos de coral para almacenarlos en un lugar seguro temporalmente.
4. Trasladar formaciones grandes con la ayuda de tornos portátiles y bolsas especiales de levantamiento. Las cajas plásticas son útiles para trasladar y almacenar fragmentos pequeños de coral entre dos buzos.
5. Permanecer en labor intensiva por dos mil o tres mil horas para evaluar todo el campo afectado.
6. En áreas con fuertes corrientes y oleaje trasladar el material de inmediato a un lugar fuera de peligro (aguas más profundas o tierra).

En casos especiales en los cuales no es viable llevar acciones de restauración ecológica por dificultades de acceso al sitio por condiciones de oleaje y profundidad, la alternativa real es la implementación de acciones de mitigación. Esto incluye programas de educación ambiental, mejora de ayudas o guías para navegación, compensación en sitios adyacentes degradados (sin acciones de restauración implementadas por los responsables del daño o disturbio) e investigación en restauración y monitoreo.

El monitoreo de la restauración puede hacerse a través de observaciones directas, registro fotográfico o de video y experimentos a través de la medición de criterios de éxito como (ver Jaap 2000):

- Estabilidad: los elementos reconstruidos deben ser lo suficientemente resistentes a olas y corrientes.
- Toxicidad: si hay zonas alrededor de las estructuras restauradas donde plantas y animales mueren o muestran signos de estrés.
- Estética: si es factible las características del ecosistema restaurado deben ser lo más semejantes posibles al hábitat natural sin emplear materiales de residuo (barcos y aviones hundidos).
- Transplante de organismos: inspección del estado de organismos a través de observación visual, fotografía y video. Evaluación de color, blanqueamiento, competencia con algas bentónicas, enfermedades y porcentaje de cobertura de grupos funcionales.

- Reclutamiento de corales: observaciones visuales, fotografía, video y experimentos para evaluar la colonización y ocupación espacial de áreas degradadas por parte de organismos bentónicos sésiles.

## Literatura citada

- Alongi, D. M. 1998. Coastal ecosystem processes. CRC Press. USA.
- Garzón-Ferreira, J. & J. M. Díaz. The Caribbean coral reefs of Colombia. En: Cortés, J. (ed.). 2003. Latin American Coral Reefs. Elsevier Science.
- Japp, W. C. 2000. Coral Reef Restoration. Ecological Engineering 15: 345-364.
- López-Victoria, M. & J. M. Díaz. 2000. Formaciones coralinas del archipiélago de San Bernardo, Caribe Colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24 (91): 219-230.
- Márquez, G. 1996. Biodiversidad marina: aproximación con referencia al Caribe. 67.102 pp. En: Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN Colombia. Bogotá.
- Schuhmacher, H. 1982. Korallenriffe, ihre Verbreitung, Tierwelt und Ökologie. BLV Verlagsgesellschaft, München, 274 p.
- Precht, W. F. 2006. Coral reef restoration handbook. Taylor & Francis Group. Boca Ratón-Florida, USA.

## 4. PRADERAS DE PASTOS MARINOS

### Determinantes

Las praderas de pastos marinos (praderas de fanerógamas) son ecosistemas muy similares a las praderas terrestres que se desarrollan sobre fondos arenosos y fangosos costeros (Márquez 1996). Están compuestas por plantas monocotiledóneas típicamente de hojas largas con forma de tira (*strap*), pero no son verdaderos pastos. Los pastos marinos dominan el hábitat y estabilizan el sustrato en el cual crecen, las praderas que forman (Figura 33) crean un ambiente físico y proveen una fuente de producción primaria de la cual depende otra comunidad de organismos (Hogard 2007).

Los requerimientos ambientales de los pastos marinos se mencionan a continuación (Díaz *et al.* 2003):

- La luz controla la supervivencia y distribución batimétrica de los pastos marinos (Morris y Tomasko 1993).
- La temperatura preferida por las especies de pastos marinos está entre los 20 y 30°C.
- La salinidad es un factor que la mayoría de especies tolera en amplio rango, sin embargo, el óptimo se encuentra en el ámbito entre 24 a 35 ppm.
- Los sedimentos sobre los cuales se establecen los pastos marinos deben tener suficiente profundidad, en general las plantas deben contar con buena estabilidad física del sustrato.
- Los nutrientes requeridos por los pastos (CO<sub>2</sub>, nitrógeno y fósforo) se obtienen disueltos de los sedimentos a través de las raíces y rizomas y de la columna de agua a través de las hojas (Mc Roy 1983).



**Figura 33.** Pradera de pastos marinos cubierta por sedimentos (Long Shoal - San Andrés, Foto: Sven Zea).

## Disturbios

En Colombia las praderas de pastos marinos están continuamente sometidas a los siguientes disturbios:

- Huracanes.
- Terremotos y maremotos.
- Sedimentación.
- Contaminación.
- Pesca con dinamita y/o red de arrastre.
- Sobreexplotación de recursos biológicos.

## Objetivos de la restauración

Se proponen los siguientes objetivos generales para la restauración ecológica de las praderas de pastos marinos en Colombia:

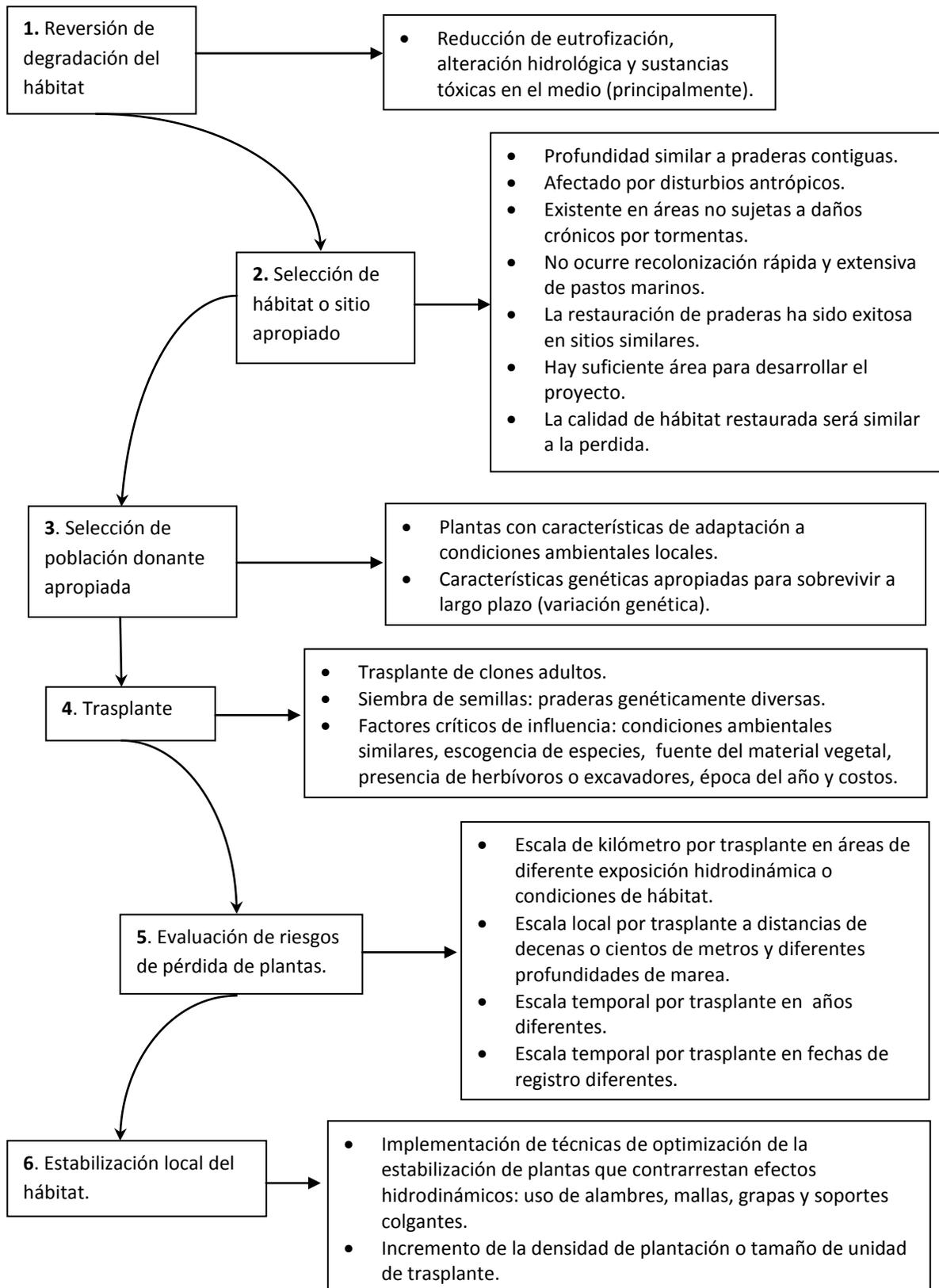
- Restaurar praderas de pastos marinos degradadas o destruidas por sedimentación, dragado o remoción de sedimentos marinos y contaminación térmica.
- Crear nuevas praderas de pastos marinos en áreas adecuadas para su crecimiento con el fin de compensar su pérdida en otras áreas (mitigación).
- Difundir la importancia de las praderas de pastos marinos como ecosistemas costeros a través de la participación comunitaria y la educación ambiental
- Propiciar la conectividad entre praderas de pastos marinos de diferentes áreas.

## Lineamientos para la restauración ecológica

Antes de iniciar cualquier plan de restauración de praderas de pastos marinos es fundamental impedir la disminución de estas. Los planes de conservación deben identificar y resolver problemas a escalas que permitan la interconectividad entre los ecosistemas costeros y los mecanismos que afectan a las praderas y producen su disminución. Una vez cumplido esto se evaluará la capacidad de recuperación natural de las praderas (Orth *et al.* 2006). Es importante mantener sitios de referencia prístinos para estudio científico a través de acciones como el cierre de áreas al tránsito de embarcaciones motorizadas, lo cual también permitirá el éxito de programas de restauración sin riesgos de impacto adicionales.

Antes de emprender cualquier acción de restauración deben determinarse al menos los siguientes parámetros del sitio a ser restaurado: historia de la pradera (composición de especies, causas de pérdida), exposición al aire, olas y corrientes; tipo de sustrato y alta presencia sedimentos orgánicos; tasa de sedimentación, presencia de disturbios por animales; requerimientos de personal y cronogramas con presupuestos.

Las acciones para la restauración de las praderas de pastos marinos se exponen y resumen en la Figura 34. Los métodos de plantación clasificados por Fonseca *et al.* (2005) comprenden: métodos libres de sedimentos, métodos de pastos marinos con sedimentos, siembra de semillas y estirpes cultivadas en laboratorio. La implementación de estos métodos depende de factores como la extensión del área en proceso de restauración y su distancia con respecto a praderas donantes, naturaleza del sustrato, dificultades de transporte, costos e impactos.



**Figura 34.** Pasos para la restauración de de pastos marinos en la fase experimental (van Katwijk *et al.* 2009).  
**Técnicas**

En los métodos libres de sedimento las plantas son extraídas con pala, el sedimento es sacudido de los tallos y rizomas, y se mantienen en tanques con agua de mar o jaulas flotantes. Es recomendable usar al menos un retoño apical por unidad de trasplante. Las plantas se colectan y trasplantan el mismo día, por lo cual deben mantenidas en las mismas condiciones de temperatura y salinidad mientras se trasplantan. El trasplante puede ser directo o a través del uso de dispositivos como anillos, varas y clavos.

En los métodos con sedimentos el método de césped (*sod, turf*) consiste en trasplantar una pala llena de pasto marino con sedimentos y rizomas intactos y aunque es el más fácil representa la mayor inhibición de la recuperación en la pradera donante. El método de taco (*plug*) utiliza tubos como dispositivos para extraer las plantas con el sedimento y rizomas intactos. Los tacos o bloques son colocados directamente luego de la apertura de un hoyo para recibir el contenido del tubo.

La siembra de semillas es un método aplicado en zonas de baja energía donde las semillas pueden establecerse y germinar y prosperar con pocos predadores. Con este método se desarrollan experimentos para facilitar el hundimiento e incrustación de semillas en mallas de material biodegradable para incrementar su densidad en un área.

El desarrollo de estirpes en laboratorio involucra la cría y crecimiento de pastos marinos partiendo de fragmentos de plantas. Es aplicable cuando se requieren grandes cantidades de unidades en áreas extensas y además puede proveer plantas genéticamente variables y resistentes a enfermedades. Es favorable en cuanto que evita mayor daño, eliminación o reducción de pastos en las praderas donantes.

### **Monitoreo y evaluación**

La toma de datos para el monitoreo debe realizarse por cuatro años después del trasplante. Fonseca *et al.* (2005) sugieren un calendario como el siguiente señalando que los trasplantes originales deben monitorearse por 3 años y las plantaciones potenciales de reparación (desde el año 2) por 3 años:

Año 1: días 60, 180, 365.  
Año 2 a 4: días 180 y 365.

Los atributos o parámetros de medición en el caso de las praderas de pastos marinos son los siguientes:

- Número de ápices
- Supervivencia de unidades trasplantadas
- Densidad del tallo
- Cobertura areal

Es importante tomar registros de video en transectos de 100 m a lo largo de porciones de praderas seleccionadas al azar para documentar de forma visual la progresión de la cobertura a través del tiempo. Del monitoreo dependerá la toma de decisiones para optimizar la eficiencia de los recursos y la reducción de costos en futuros proyectos de restauración.

## Literatura citada

- Díaz, J. M., L. M. Barrios & D. I. Gómez. 2003. Las praderas de pastos marinos en Colombia: Estructura y distribución de un ecosistema estratégico. INVERMAR – Serie Publicaciones Especiales No. 10. Santa Marta.
- Fonseca, M. S., W. J. Kenworthy, B. E. Julius, S. Shutler & S. Fluke. Seagrasses. pp. 149-170. En: M. R. Perrow y J. Davy (Eds.). 2002. Handbook of Ecological Restoration, Vol. 2. Cambridge University Press, New York.
- Lewis III, R. R. The Restoration and Creation of Seagrass Meadows in the Southeast United States. En: Durako, J. M., R. C. Phillips & R. R. Lewis III. (Eds.). 1987. Florida Marine Research Publications Number 42. Proceedings of the Symposium on Subtropical-Tropical Seagrasses of the Southeastern United States. Florida Department of Natural Resources Bureau of Marine Research. St. Petersburg, Florida, USA.
- Hemminga, M. A. & C. M. Duarte. 2000. Seagrass Ecology. Cambridge University Press. UK.
- Hogart, P. J. 2007. The Biology of Mangroves and Seagrasses. Oxford University Press. New York.
- Mc Roy, C. P. 1983. Nutrients Cycles in Caribbean Seagrass Ecosystem. UNESCO Reports in Marine Science 23: 69-79.
- Marquez, G. 1996. Biodiversidad marina: aproximación con referencia al Caribe. pp. 67-102. En: Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN Colombia. Bogotá.
- Morris, L. J. & D. A. Tomasko (Eds.) 1993. Proceedings and conclusions of workshops of submerged aquatic vegetation and photosynthetically active radiation.. Especial publication SJ93-SP13 St. Jones River Water Management District, Palatka Florida.
- Orth, R. J., M. C. Harwell & G. J. Inglis. Cap. 5. Ecology of Seagrass Seeds and Dispersal Strategies. En: Larkum, A. W. D., R. J. Orth y C. M. Duarte. 2006. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer. Netherlands.
- South Florida Natural Resources Center. 2008. Patterns of Propeller Scarring of Seagrass in Florida Bay: Associations with Physical and Visitor Use Factors and Implications for Natural Resource Management. Resource Evaluation Report. SFNRC Technical Series 2008:1.
- van Katwijk, M. M., A. R. Bos, V. N. de Jonge, L. S. A. M. Hanssen, D. C. R. Hermus & D. J. de Jong. 2009. Guidelines for seagrass restoration: importance of hábitat selection and donor population, spreading of risks, and ecosystem engineering effects. Marine Pollution Bulletin 58: 179-188. <http://www.seagrassrestorationnow.com/publications.html>.