



GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES MONTAÑOS TROPICALES

MÓDULO 2

SELECCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ESTRATEGIAS Y PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN

Nina Duarte, Francisco Cuesta, Inty Arcos



GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES MONTAÑOS TROPICALES

MÓDULO 2 SELECCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ESTRATEGIAS Y PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN

@CONDESAN. 2018

ISBN: 978-9942-8662-5-7

Autores del módulo:

Nina Duarte¹, Francisco Cuesta², Inty Arcos^{1,2}

¹Fundación Imaymana, ²CONDESAN

Editores generales de la guía:

Rossana Proaño¹, Nina Duarte², Francisco Cuesta¹, Gabriela Maldonado¹

¹CONDESAN, ²Fundación Imaymana

Corrección de estilo, diseño gráfico, diagramación e impresión de la guía:

Manthra Comunicación

Fotografías:

Nina Duarte, Archivo CONDESAN, Denise Bittencourt, Inty Arcos, Zia Parker, Alejandro Solano, Hugo de la Cruz, Pere Ariza.

Citar este documento de la siguiente forma:

Duarte, N.; Cuesta, F.; Arcos, I. 2018 Selección y establecimiento de estrategias y prácticas de restauración. En: Proaño, R.; Duarte, N.; Cuesta, F. (Eds.). 2018. Guía para la restauración de bosques montaños tropicales. CONDESAN. Quito-Ecuador.

Esta publicación ha sido realizada con el apoyo del Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos ejecutados por CONDESAN. El Proyecto EcoAndes cuenta con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), a través de ONU Medio Ambiente, y es ejecutado en coordinación con los Ministerios de Ambiente en Ecuador y Perú (www.condesan-ecoandes.org). El Programa Bosques Andinos es implementado en consorcio con Helvetas Swiss Intercooperation y financiado por la Cooperación Suiza COSUDE (www.bosquesandinos.org). Para la implementación de actividades de ambos proyectos en el noroccidente de Pichincha -Ecuador, CONDESAN estableció un asociación con la Fundación Imaymana.



Con el apoyo de:

MINISTERIO DEL AMBIENTE



Índice

1. La definición de las estrategias de restauración: un proceso de planificación 8

- 1.1. Estrategias de restauración para los usos de conservación y protección 10
- 1.2. Estrategias de restauración para la producción sostenible 20
- 1.3. Relación entre enfoques, usos y estrategias 23

2. Selección de prácticas de restauración 25

- 2.1. Principios básicos y herramientas para la selección de prácticas de restauración 25
- 2.2. Relación causa y efecto 25

3. Prácticas de restauración para diferentes estrategias 30

- 3.1. Cercado del área 30
- 3.2. Conducción de la regeneración natural 31
- 3.3. Enriquecimiento o incremento de la densidad de plantas 33
- 3.4. Siembra de especies facilitadoras 34
- 3.5. Siembra de árboles y arbustos 36
- 3.6. Translocación de suelo 42
- 3.7. Creación de nichos artificiales para atracción de fauna 44
- 3.8. Zanjas de infiltración 46
- 3.9. Diversificación de especies (árboles y cultivos) 48
- 3.10. Utilización de abonos verdes 50

PRESENTACIÓN

3.11. Cercas vivas	52
3.12. Árboles dispersos en los potreros	53
4. Ejemplos de diseño de áreas de restauración	55
4.1. Diseño de áreas de restauración: de pasturas a bosques montanos	55
4.2. Diseño de áreas de restauración: de pasturas a áreas de producción agroforestal sostenible	57
4.3. Diseño de áreas de restauración: de pasturas a la producción maderable escalonada	58
5. Factores a considerar para el establecimiento de prácticas de restauración con siembra de plantas	62
5.1. Preparación del terreno	62
5.1.1. Manejo de cobertura del suelo	62
5.1.2. Demarcación de la plantación	65
5.1.3. Realización de coronas	66
5.1.4. Protección del área	66
5.2. La siembra	66
5.2.1. Época de siembra	66
5.2.2. Preparación de las plantas	67
5.2.3. Apertura de huecos (hoyado)	67
5.3. Logística de campo	69
5.4. Recomendaciones para ensayos de restauración	70
6. Glosario	72
7. Literatura citada	75

En las últimas décadas, el acelerado proceso de pérdida de bosques montanos y degradación de la tierra en los Andes tropicales ha ocasionado una disminución de biodiversidad y de importantes servicios ecosistémicos de los que dependen los modos de vida de muchas comunidades rurales y urbanas en los países andinos. El estudio de Mulligan (2010) estimó que, para 2009, se perdió 560 499 km² de bosques montanos nublados en la región de los Andes tropicales (Tabla 1).

Tabla 1. Extensión y superficie que cubren los bosques montanos en los países de la región andina (2009).

País	Extensión potencial de bosques montanos (km ²)	Extensión potencial de bosques montanos respecto del territorio nacional (%)	Extensión bosques montanos al 2009 (km ²)	Extensión bosques montanos remanentes respecto del territorio nacional (%)	Bosques montanos deforestados al 2009 (km ²)
Perú	348,898	22.8	158,960	10	200,500
Colombia	300,751	22.6	152,281	11	157,181
Bolivia	151,878	11.4	64,900	5	90,387
Ecuador	108,466	36.4	63,323	21	52,086
Venezuela	219,445	20.4	165,853	16	60,345
Total	1,129,438		605,317		560,499

Fuente: adaptación de Mulligan (2010)

Estos ecosistemas constituyen la matriz predominante de los Andes tropicales y se extienden desde los 500 a los 3 500 msnm (Josse *et al.* 2011). Tienen especial importancia para la conservación de la biodiversidad, la regulación hídrica, la regulación climática regional y la captura y almacenamiento de carbono (Cuesta *et al.* 2009). Actualmente, los paisajes an-

dinos mantienen remanentes fragmentados de estos ecosistemas, sin una conectividad adecuada y rodeados de una matriz productiva en la que priman prácticas de manejo no sostenibles (Armenteras *et al.* 2011, Etter *et al.* 2006, Peralvo *et al.* 2015). Frente a esto, la restauración de los paisajes andinos y sus ecosistemas boscosos, así como el mejoramiento de la conectividad, es una necesidad cada vez más apremiante.

En un contexto internacional que promueve iniciativas de restauración a gran escala para revertir parte de la degradación ambiental que enfrenta el planeta, son necesarios procesos de reflexión y análisis que resulten en lineamientos para la acción concreta a nivel regional, nacional y local. Así, la planificación para la restauración es un ejercicio que idealmente se realiza a distintas escalas que se articulan entre sí. La práctica de la restauración no debe concebirse como una acción aislada que cumple un objetivo único al recuperar un ecosistema degradado, sino más bien como un abanico de oportunidades para revertir el deterioro ambiental, promover el uso sostenible de la tierra y empoderar a las poblaciones humanas para una toma de decisiones consciente, que comprenda y valore las interacciones y necesidades del paisaje.

En la región andina, existe mucho interés y diversas iniciativas para restaurar áreas degradadas, por parte de los tomadores de decisiones y las comunidades. Sin embargo, es necesario reforzar el conocimiento conceptual y técnico para facilitar la práctica de la restauración en campo e incrementar el éxito de las iniciativas en el largo plazo. Esta *Guía para la restauración de los bosques montanos tropicales* surge como una necesidad, evidenciada desde las escalas locales donde se implementa la restauración, y busca proveer de herramientas técnicas prácticas a planificadores y equipos técnicos de los gobiernos locales, así como a otros actores involucrados en los procesos de restauración. Estas herramientas establecen rutas de planificación para encaminar los procesos, facilitan la selección de las técnicas más adecuadas para conseguir los objetivos planteados, reúnen el conocimiento local y los resultados de investigaciones pasadas para dar pautas sobre la selección de especies potenciales, brindan métodos para el seguimiento que pueden ser adaptados a las realidades locales

y conjugan visiones desde las escalas local y del paisaje para una planificación integrada. Así, el objetivo de esta guía es facilitar la planificación, implementación y seguimiento de prácticas de restauración, además de brindar un apoyo conceptual sencillo y oportuno.

Los recursos presentados se basan en información bibliográfica relevante, pero, sobre todo, en experiencias prácticas desarrolladas en el noroccidente de la provincia de Pichincha, en Ecuador, por parte del Consorcio para el Desarrollo de la Ecorregión Andina (CONDESAN) y la Fundación Imaymana, en el marco del Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos. Pensamos que varias de las lecciones aprendidas pueden adaptarse y aplicarse en procesos de restauración de bosques montanos tropicales en otras áreas de Ecuador y la región. Las recomendaciones que presenta esta guía constituyen un insumo para complementar y enriquecer los procesos locales de planificación, en los que se analizan, integran y adaptan las opciones más adecuadas para cumplir los objetivos de restauración específicos de cada territorio; no obstante, no son las únicas alternativas para llevar a cabo la práctica de la restauración.

La serie contempla cinco módulos que se complementan entre sí, aunque también pueden ser consultados de forma individual. Todos contienen un glosario de términos para facilitar la revisión y comprensión de algunos conceptos importantes. Estos términos están resaltados en negrita la primera vez que son mencionados en cada módulo.

Módulo 1.

Planificación para la implementación de prácticas de restauración a escala local

Brinda una visión integral y resumida de todos los aspectos que, idealmente, se debe definir antes de la implementación de prácticas de restauración en campo, como los objetivos de la intervención, el estado de degradación existente, el uso al que se va a destinar al área en el futuro y los ecosistemas de referencia, entre otros. Aporta con revisiones conceptuales básicas y resalta la posibilidad de contribuir a la recuperación de

un área degradada, tanto desde la conservación como desde la producción sostenible. Al final, contiene un ejemplo de planificación basado en todos los aspectos revisados. Este módulo es de utilidad para quien necesite generar un proyecto o plan de actividades de restauración para después coordinarlo, implementarlo o darle seguimiento.

Módulo 2.

Selección y establecimiento de estrategias y prácticas de restauración

Profundiza en la definición de una estrategia de restauración –aspecto fundamental de la planificación–, acorde a los objetivos y a las características específicas del área de intervención. Además, presenta varias alternativas de diseños y prácticas para implementar en campo. La información se complementa con consideraciones a tomar en cuenta durante la siembra de plantas. El módulo, además de contribuir a la planificación, es de utilidad para quien tenga interés en diversificar prácticas de restauración usadas actualmente o para quien necesite modificar las acciones realizadas para lograr mejores resultados.

Módulo 3.

Selección de especies potenciales para la restauración

Enfatiza en la importancia de hacer una selección adecuada de especies, cuando la estrategia de restauración considere la siembra de plantas. Propone un sistema de filtros para apoyar la selección de las especies que mejor se adaptarán al área de intervención, en concordancia con el uso al que será destinada el área y los objetivos de restauración. Como un aporte específico a la restauración de los bosques montanos occidentales del Ecuador, se presenta un listado de 95 especies potenciales adecuadas para estos ecosistemas, y caracterizadas en base a sus funciones ecológicas y usos. Además, se incluyen fichas con información estandarizada de 63 especies. Este módulo es complementario al Módulo 2, pues la selección de especies es un aspecto fundamental en el diseño de las prácticas de restauración.

Módulo 4.

Monitoreo y mantenimiento de áreas en proceso de restauración

Profundiza en un el seguimiento y evaluación de la trayectoria de restauración del área intervenida como aspecto básico y necesario para la sostenibilidad de las prácticas y el manejo adaptativo para obtener aprendizajes y mejorar los resultados. El módulo presenta 12 indicadores de monitoreo, describe las metodologías respectivas y da lineamientos para el análisis. Adicionalmente, recomienda prácticas para el mantenimiento de las áreas intervenidas. Contribuye también a la planificación inicial de un proyecto y es de utilidad, sobre todo, para el personal técnico a cargo de implementar el monitoreo, ya sea mediante la toma de datos en campo o análisis posteriores.

Módulo 5.

El enfoque de paisaje en la planificación a mesoescala de la restauración

Da lineamientos concretos para realizar la planificación de la restauración a una escala más amplia, o de paisaje, recalando la necesidad de una articulación entre los procesos de planificación realizados a distintas escalas. Para esto, describe en qué consiste el enfoque de paisaje y caracteriza las fases de planificación necesarias. También reflexiona sobre los mecanismos más relevantes para promover la sostenibilidad de los procesos de restauración, así como sobre los vínculos necesarios a procesos globales que promuevan la restauración de paisajes. Este módulo es relevante para técnicos, autoridades locales y planificadores en general, involucrados en procesos de ordenamiento territorial y restauración.

Resumen del módulo

La selección de estrategias y prácticas de restauración adecuadas, que respondan a las características específicas del área a intervenir, es una etapa crucial del proceso de planificación de la restauración. En este módulo se dará lineamientos y recomendaciones para llevar a cabo esta etapa y se presentará flujos de acciones útiles para definir el tipo de intervención en campo. También se propone el uso de una matriz de causa y efecto, como una herramienta complementaria de planificación para el diseño de las áreas de restauración y se identifica elementos importantes para que dicho diseño sea funcional.

Las estrategias que este módulo propone son la regeneración natural, la restauración asistida, los sistemas agroforestales y silvopastoriles, la forestería análoga y las plantaciones forestales sucesionales. Estas no se aplican indistintamente, sino que se considera el tipo de disturbio existente, el uso que se dará al área y los objetivos de restauración. Para cada estrategia, se debe seleccionar un conjunto de prácticas, dirigidas a superar las barreras que impiden la sucesión ecológica y a contrarrestar problemas de degradación en el área de intervención.

Por eso, se presenta varias alternativas de prácticas, consideradas de gran potencial para la restauración de bosques montanos tropicales en áreas con niveles moderados de degradación, como la diversificación de cultivos, la siembra de especies facilitadoras o la siembra en bloque sucesional. Algunas de estas prácticas se ilustran con ejemplos de diseño. Finalmente, el módulo cierra con los principales aspectos a considerar en el momento de realizar la siembra de plantas en campo y con recomendaciones para realizar ensayos experimentales de restauración.

1. La definición de las estrategias de restauración: un proceso de planificación

El primer módulo de esta Serie trató sobre las diferentes fases de planificación involucradas en la implementación de un proyecto de restauración, sea grande o pequeño (Figura 1). La selección de la estrategia y las prácticas de restauración es una fase fundamental en este proceso, pues define la forma de intervención en campo. En esta Serie, se define la estrategia de restauración como el conjunto de prácticas que se complementan entre sí para cumplir los objetivos de restauración planteados. A su vez, las prácticas son todas las acciones realizadas en campo con el propósito de fomentar la recuperación del ecosistema (p. ej. cercado del área, siembra adensada de especies facilitadoras, conducción de la regeneración natural, etc.).

La estrategia debe seleccionarse con base en los objetivos de restauración planteados y el uso que se destinará al área a intervenir: conservación, protección o producción sostenible. Como se vio en el Módulo 1, el uso se relaciona con el enfoque de la práctica: la restauración de ecosistemas naturales íntegros o la recuperación de servicios ecosistémicos puntuales.

Área de restauración en bloque. Utilización de especies facilitadoras, El Porvenir, Nanegalito.



Figura 1. Flujo de procesos de planificación de áreas de restauración. Las etapas destacadas se tratarán en este módulo.

De esta manera, la actividad de restauración, que busca promover la conservación y generar servicios ambientales diversos, utiliza estrategias y prácticas distintas a la actividad enfocada en mejorar la provisión de servicios ecosistémicos (p. ej. en sistemas productivos), las cuales se presentan a continuación.

1.1. Estrategias de restauración para los usos de conservación y protección

Para los usos de conservación y protección, se recomiendan tres estrategias de restauración: regeneración natural pasiva, regeneración natural manejada y restauración asistida. Las dos primeras permiten o facilitan el proceso natural de sucesión; es decir, la sucesión ecológica (Caja 1), mientras que la tercera implica una intervención más activa, con la siembra directa de plantas, en casos en los que el proceso de sucesión ecológica no puede darse por sí solo (Tabla 2).

Tabla 2. Estrategias de restauración recomendadas para los usos de protección y conservación de ecosistemas.

Estrategia	Descripción	Cuándo utilizar
Regeneración natural pasiva	Dejar un área en periodo de descanso para que el proceso de sucesión secundaria ocurra naturalmente.	Se utiliza cuando la fuente de presión o disturbio ha finalizado y el área presenta indicios de que puede regenerarse por sí sola. No existen barreras para la regeneración natural .
Regeneración natural manejada	Realizar prácticas puntuales con la finalidad de facilitar y acelerar el desarrollo de la regeneración natural; no incluye siembra de plantas.	Se utiliza cuando en el área existe un claro potencial para el desarrollo de la regeneración natural, pero el proceso se dificulta por algún factor biótico (p. ej. presencia de especie invasiva), o las metas y objetivos del proyecto requieren que se acelere el proceso natural de restauración.
Restauración asistida (activa)	Aplicar un conjunto de prácticas que buscan incidir de forma directa sobre las causas de la degradación y, de esta manera, disminuir o eliminar las barreras que impiden la recuperación del ecosistema gracias a la sucesión ecológica. Generalmente, incluye la siembra de plantas.	Se utiliza cuando no existe potencial para la regeneración natural o existen barreras que la impiden, por lo que es necesario la intervención humana para iniciar el proceso de restauración.

Caja 1. La sucesión ecológica

La sucesión ecológica es la principal estrategia natural de los ecosistemas degradados para recuperarse. Consiste en un proceso natural de recambio en la riqueza y abundancia de especies y comunidades, relacionado con las transformaciones microambientales y **edáficas** que ocurren después de un **disturbio**, y las relaciones de facilitación y competencia con otras especies que permiten o impiden la presencia de una especie en particular. Con el avance de la sucesión, los ecosistemas ganan complejidad y acumulan más materia y energía, hasta alcanzar un estado de autorregulación (Holling 1973, Begon *et al.* 1999).

Mediante la sucesión, se generan etapas de recambio de especies en el área disturbada. Cada una permite una recuperación progresiva de los atributos del área que, con el tiempo, llega eventualmente a conformar un bosque maduro, si no se repiten disturbios importantes posteriormente (Aguilar-Garavito y Ramírez 2015) (Figura 2). Llegar a este estado puede tardar más de 40 años, dependiendo del tipo de ecosistema, la intensidad del uso del suelo anterior y las condiciones del sitio (p. ej. potencial de regeneración, exposición de luz, entre otras) (Aide *et al.* 2000, Guariguata y Ostertag 2001). Sin embargo, en áreas con niveles de degradación bajos y cercanas a fragmentos de bosque, la sucesión toma menos tiempo hasta alcanzar las características generales de un bosque maduro.

No todos los atributos del ecosistema se recuperan al mismo tiempo. Es posible que, por ejemplo, el número de estratos verticales del bosque y el área basal se recuperen antes que la riqueza de especies. Durante el proceso de sustitución de especies a lo largo del tiempo, la etapa de sucesión inicial presenta una predominancia de especies pioneras, que se caracterizan por una alta capacidad reproductiva, dispersión efectiva y crecimiento rápido. Además, crecen estimuladas por la abundancia de luz y algunas están adaptadas a suelos pobres en nutrientes. Como resultado de la hojarasca producida por la caída de hojas y ramas de las especies pioneras y las actividades de descomposición microbiana, los nutrientes del suelo aumentan, así como la sombra generada por los individuos pioneros (Begon *et al.* 2006).

Por otro lado, la etapa tardía sucesional, o estado maduro, se caracteriza por la presencia de especies que tienen caracteres opuestos a los de las pioneras, conocidas como "especies maduras tardías". Esto quiere decir que tienen estra-

Mediante la sucesión, se generan etapas de recambio de especies en el área disturbada. En áreas con niveles de degradación bajos y cercanas a fragmentos de bosque, la sucesión toma menos tiempo.

tegias ecológicas más complejas (p. ej. dispersión de semillas por animales, tolerancia a la sombra, mayor exigencia nutricional) y que su crecimiento es más lento. Entre estos dos estadios, se encuentra una etapa media con especies llamadas "secundarias" que tienen un requerimiento de recursos intermedio entre las pioneras y las maduras tardías (Begon *et al.* 2006). Estas especies entran al proceso de sucesión después de la colonización de las pioneras y generan condiciones ambientales aptas para el desarrollo de las especies maduras tardías.

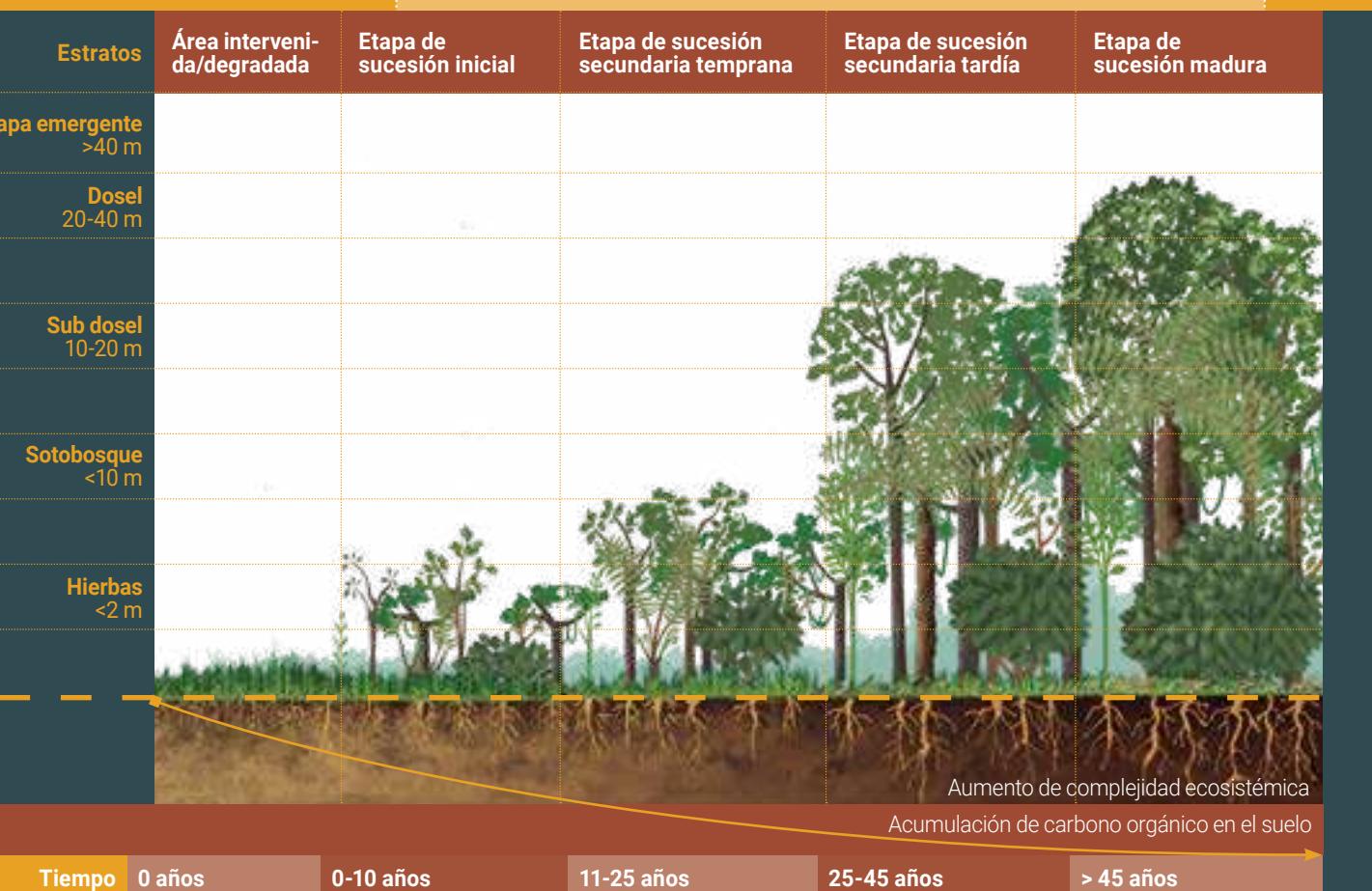


Figura 2. Desarrollo de la sucesión ecológica secundaria en bosques montanos.

De este proceso se deriva la clasificación de las especies en cuatro grupos sucesionales de acuerdo con su rol en el proceso de sucesión ecológica secundaria: pioneras, secundarias tempranas, secundarias tardías y maduras (Tabla 3). Estos grupos son de gran importancia en el momento de elegir las especies que se usarán en las estrategias de restauración. Sin embargo, sobre muchas especies nativas de los bosques montanos, no se cuenta con suficiente información ecológica para realizar una clasificación sucesional precisa, por lo que es fundamental destinar esfuerzos para la caracterización de las dinámicas sucesionales de estos bosques en sus diferentes estadios. Por tanto, es muy recomendable visitar áreas en diferentes estadios de sucesión para entender el funcionamiento de este proceso específicamente en este ecosistema, así como identificar las especies más potenciales en las diferentes etapas. En el Módulo 3, se presenta alternativas de especies para restauración, caracterizadas, entre otros aspectos, según su estadio sucesional.

Tabla 3. Principales características de los grupos sucesionales de acuerdo con su rol en el proceso de sucesión ecológica secundaria.

Característica	Pionera	Secundaria temprana	Secundaria tardía	Maduras
Ciclo de vida (años)	Corto (hasta 15 años)	Corto (16-30)	Medio-largo (30-80)	Largo (más de 80 años)
Necesidad de luz	Pleno sol (heliófila)	Según la especie	Según la especie	Sombra en la fase inicial
Velocidad de crecimiento	Muy rápido (meses)	Rápido (meses/años)	Según la especie	Lento (años)
Densidad de madera	Muy liviana (p. ej. 0,17 g/cm ³)	Leve (p. ej. 0,46 g/cm ³)	Intermedia según la especie (p. ej. 0,75 g/cm ³)	Pesada (p. ej. 0,96 g/cm ³)
Producción de semillas	Pequeñas y en gran cantidad	Pequeñas y en gran cantidad	Indefinida	Grandes y en menor cantidad
Altura final (m)	Hasta 12	De 13 a 20	De 20 a 30	De 30 a 40

Fuente: Adaptación de Botero y Russo, 2016.



La recuperación más efectiva¹ de los ecosistemas ocurre a través de los procesos naturales de sucesión ecológica, ya que las especies que surgen de forma espontánea después de un disturbio, son justamente las mejores adaptadas a las condiciones existentes. Sin embargo, para que la sucesión suceda, es necesario contar con algunos factores habilitantes: que exista una oferta de nutrientes, agua y luz de acuerdo con la necesidad de las especies y la etapa sucesional; que exista una oferta diversa de fuentes de propágulos, y que las especies interactúen entre sí y con el medio (Barrera-Cataño *et al.* 2010) (Figura 3).



Figura 3. Área abandonada que presenta alto potencial de regeneración natural especialmente debido a las condiciones del paisaje. Se observa el desarrollo de la regeneración natural, la cercanía a fuentes de propágulos y la ausencia de barreras para la regeneración natural.

La ausencia de uno de estos factores constituye una barrera para el proceso sucesional y el desarrollo de la regeneración natural, por lo que la práctica de la restauración asistida es necesaria. En este escenario, es fundamental determinar cuáles son los factores que influyen en el bajo potencial de regeneración natural en un área y actuar con prácticas de restauración relacionadas (Vargas 2007, Curry y Carvalho 2011). Algunos de los principales factores que influyen en el bajo potencial de regeneración natural en un área son:

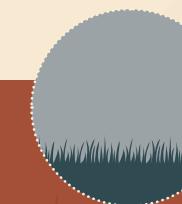
¹ La efectividad de la restauración se entiende como un proceso de bajo costo y con bajas tasas de mortalidad y desarrollo saludable de las especies.

La definición de las estrategias de restauración.



Degradación del suelo

Factores que impiden que las semillas germinen y/o las plántulas persistan en el área (p. ej. compactación y baja fertilidad del suelo, acidez elevada, contaminantes químicos, pérdida de regulación hídrica del suelo, etc.).



Condiciones micro-climáticas adversas

Ausencia o escasa cobertura vegetal que amortigüe los efectos de desecamiento por exposición directa a la radiación solar o el viento.



Fuentes de semillas

Ausencia o llegada insuficiente de semillas al área, lo que ocasiona un banco de semillas pobre en cantidad y diversidad de especies adaptadas a la etapa de la sucesión ecológica en que se encuentra el área.



Presencia de barreras biológicas

Existen especies invasivas vegetales o animales, muchas veces exóticas, que impiden la permanencia de plantas para la regeneración natural (p. ej. pastos africanos invasivos, alta población de insectos defoliadores sin reguladores biológicos, considerados como plagas).

La estrategia de restauración, es decir, el grado de intervención necesario, se definirá de acuerdo con el estado de degradación, el **régimen de disturbio** y la capacidad del ecosistema de recuperarse después del disturbio, propiedad intrínseca definida como “resiliencia”. La selección de la estrategia se apoya también en la información proporcionada por el diagnóstico de sitio (ver Módulo 1), que determina el tipo de barreras que impiden la sucesión ecológica.

Si existe regeneración natural, es decir, se observa plántulas y la llegada de semillas al área, y se infiere que el ecosistema posee una resiliencia adecuada para recobrar sus atributos estructurales y funcionales de forma natural y en el tiempo requerido, es posible utilizar estrategias basadas en la regeneración natural. Si, por otro lado, no se observa indicadores del desarrollo de la regeneración natural en el área y el disturbio es de mayor magnitud, por lo que causó cambios que sobrepasan el umbral de resiliencia del ecosistema, es necesario utilizar estrategias de restauración asistida.

En la Figura 4, se muestra tres ejemplos de respuesta ante un disturbio. En el primer caso (curva de color verde) el ecosistema lo resiste; en el segundo, el ecosistema está alterado (curva amarilla), aunque a un nivel en que su capacidad de **resiliencia** le permitirá recuperarse solo o con intervenciones mínimas (p. ej. prácticas de regeneración natural pasiva o manejada). Finalmente, en el tercero, se evidencia la necesidad de implementar restauración asistida, ya que se ha superado el umbral de resiliencia del ecosistema, por lo que no es factible que se recupere por sí mismo. Idealmente, las prácticas de restauración con fines de conservación y protección buscan recuperar la resiliencia de los ecosistemas, interviniendo hasta alcanzar el punto en que estos tengan la capacidad de seguir su desarrollo de forma autónoma. Esto se evalúa mediante observaciones en campo y los indicadores de monitoreo establecidos.

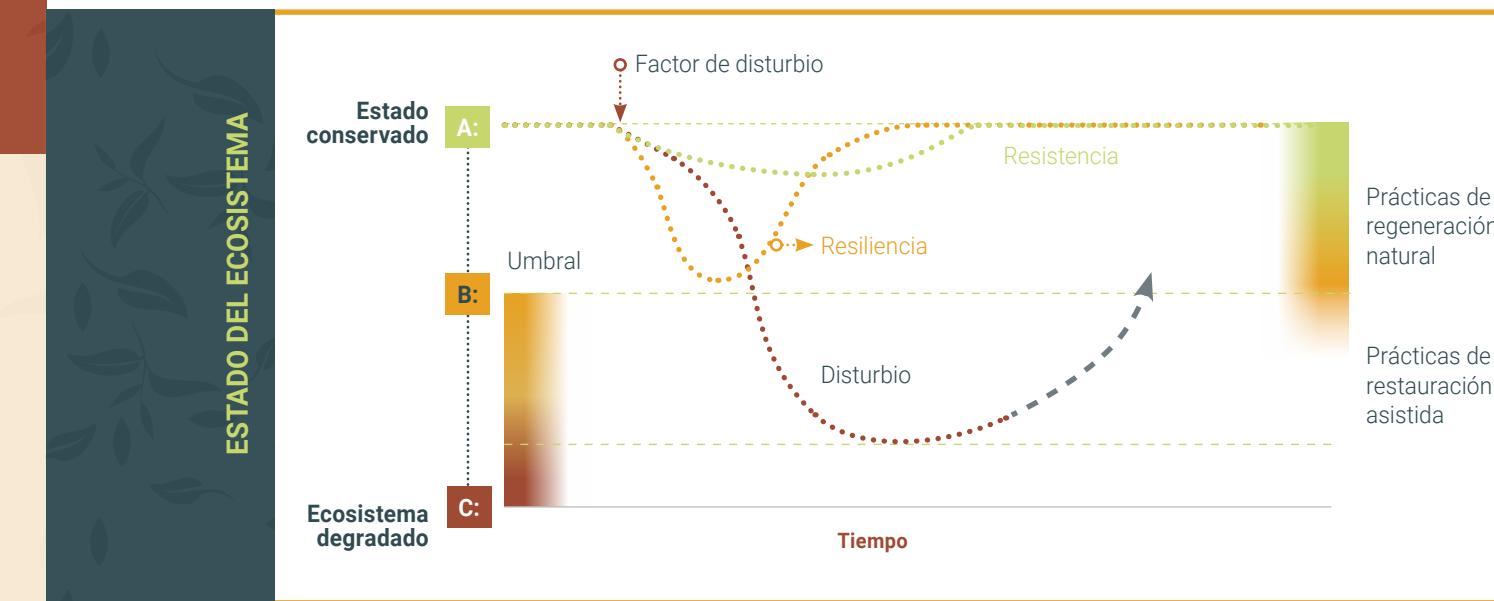


Figura 4. Estrategias de restauración vinculadas al régimen de disturbio y a la capacidad de resiliencia del ecosistema. A = ecosistema conservado y completamente funcional, B = ecosistema con degradación del componente biótico, C = ecosistema con degradación de los componentes biótico y abiótico. Fuente: Adaptación de Van Andel y Aronson, 2012.

Una vez definida las estrategias (regeneración natural o restauración asistida), se seleccionan prácticas concretas que deben atender directamente las barreras a la sucesión ecológica específicas del área de intervención y potencializar los procesos de regeneración natural. Para esto, es de utilidad la matriz de causa y efecto (ver Capítulo 2). Una vez establecida la estrategia y las prácticas asociadas en campo, se desarrollan actividades periódicas de monitoreo y mantenimiento (de ser necesario), que permiten reevaluar la respuesta del área a las prácticas desarrolladas y, de ser el caso, identificar la necesidad de cambios para alcanzar las metas establecidas previamente.

A continuación, se presenta una secuencia de acciones que orientan la toma de decisiones sobre la estrategia de restauración más adecuada en las primeras etapas de la planificación de áreas de restauración con uso de conservación y protección a escala de finca (Figura 5).

Proceso de planificación y selección de estrategias y prácticas de restauración

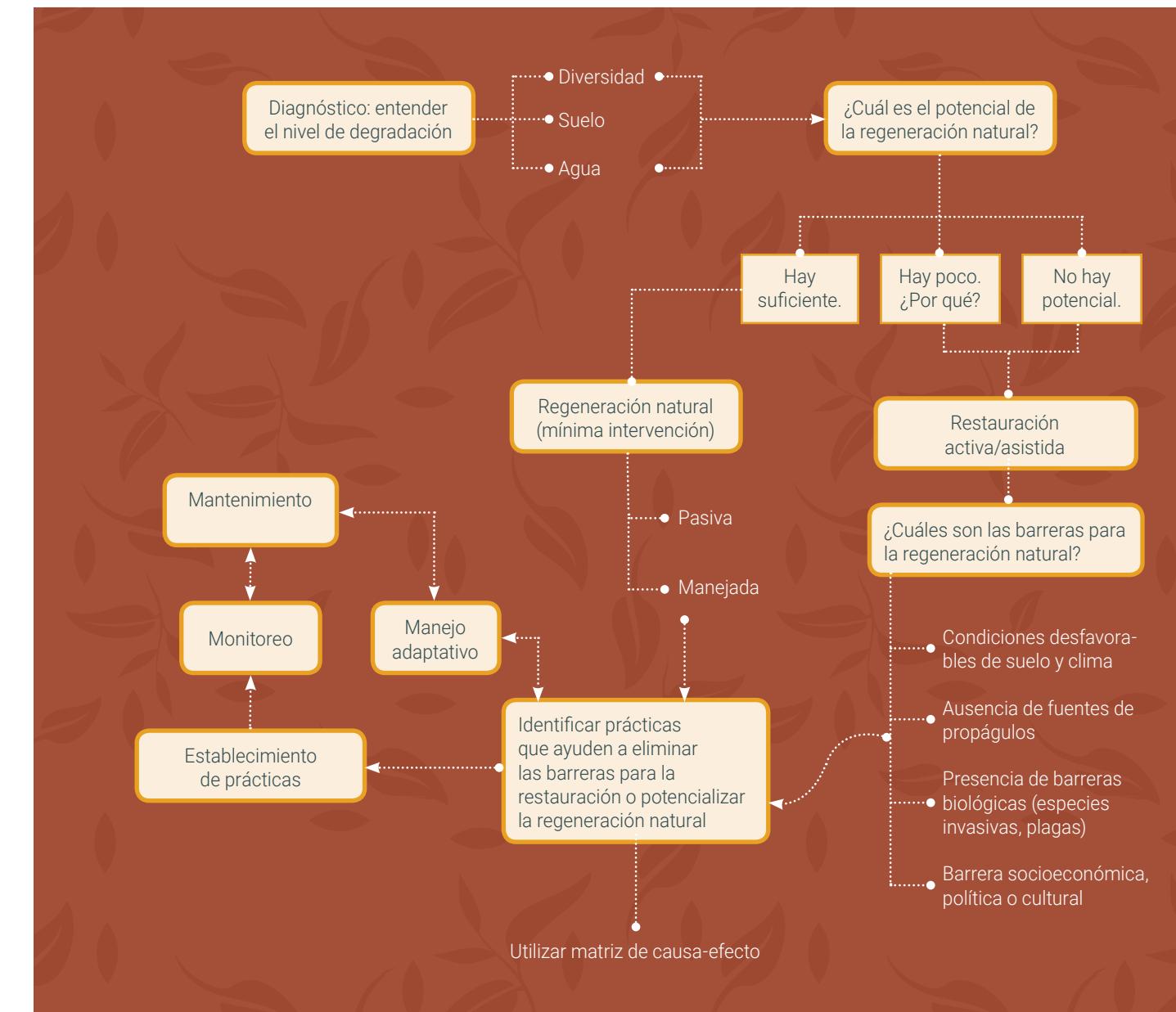


Figura 5. Flujo de procesos para guiar la definición de la estrategia adecuada para la restauración con fines de conservación.

1.2. Estrategias de restauración para la producción sostenible

Como se vio en el Módulo 1, la restauración no solamente busca restablecer ecosistemas naturales o establecer áreas de protección, sino también contribuir significativamente a recuperar áreas agrícolas que ya no producen satisfactoriamente o a fomentar cambios en el uso del suelo a sistemas de producción más sostenibles (p. ej. cambiar áreas ganaderas a sistemas agroforestales de café), para recuperar así servicios ecosistémicos puntuales para las poblaciones humanas. La estrategia en estos casos se define de acuerdo con el uso que se le vaya dar al área y al objetivo de restauración planteado. En esta Serie, se plantea cuatro estrategias diferentes para restaurar áreas degradadas y promover la producción sostenible (Tabla 4).

Sistema agroforestal de café,
Fazenda São Luís, São Paulo, Brasil



Tabla 4. Definición de estrategias de restauración para promover la producción sostenible.

Estrategia	Descripción	Ejemplos de objetivos asociados	Cuándo utilizar
Sistemas agroforestales (SAF)	Son áreas de producción en las que se combina cultivos agrícolas (anuales y perennes) con plantas leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas y otros), al mismo tiempo o en una secuencia temporal (Montagnini 1992).	Diversificar la producción. Aportar al mejoramiento del suelo (infiltración del agua, mejorar el ciclo de nutrientes). Incrementar la oferta para polinizadores. Reducir la contaminación de fuentes hídricas.	
Sistemas silvopastoriles (SSP)	Son áreas de producción en que se combina plantas leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas y otros) con plantas herbáceas (cultivos, pasturas) y animales en la misma área, al mismo tiempo o en una secuencia temporal (Young 1987).	Proveer sombra al ganado para mejorar el bienestar animal. Mejorar la infiltración del agua en el suelo, reducir la compactación y los procesos erosivos del suelo. Diversificar las fuentes de nutrición animal.	Estas estrategias se utilizan de acuerdo con el objetivo y el uso que el propietario quiera dar al área. También influyen las características del terreno que lo hacen apto para una actividad determinada. Generalmente, las áreas más planas y fértils son utilizadas para la producción agrícola y ganadera, y las de mayor pendiente, para la siembra de árboles (agroforestal, forestería análoga y plantaciones forestales).
Forestería análoga (FA)	Sistema que busca establecer ecosistemas análogos, con estructuras arquitectónicas y funciones ecológicas similares a la vegetación original. Es una forma compleja de agroforestería, en la que el ecosistema es dominado por árboles, pero, a su vez, ofrece especies con valor comercial que proveen sustento socioeconómico a las comunidades rurales (IAFN - RIFA 2018).	Diversificar la producción. Crear conectividad boscosa en el paisaje. Crear hábitat para la vida silvestre. Mejorar la infiltración de agua en zonas de recarga hídrica.	
Plantaciones forestales sucesionales	Son plantaciones mixtas de especies maderables, en las que se combina, de forma secuencial, especies con diferentes tiempos de crecimiento y ciclos de corte (PACTO 2009).	Diversificar la producción de madera en el tiempo. Mantener una cobertura boscosa permanente. Incrementar la conectividad de fragmentos boscosos.	

El diagnóstico de sitio realizado previamente ayuda a definir las prácticas más recomendables para lograr los objetivos de restauración propuestos, las cuales están enfocadas en recuperar determinadas funciones de los ecosistemas en los que se estableció los sistemas productivos. Una vez implementadas las prácticas en campo, se desarrollan actividades periódicas de mantenimiento y monitoreo que permiten evaluar si se va en la dirección correcta para alcanzar los objetivos planteados inicialmente o, si, al contrario, es necesario replantear las prácticas, las actividades de mantenimiento o, incluso, los objetivos (Figura 6).

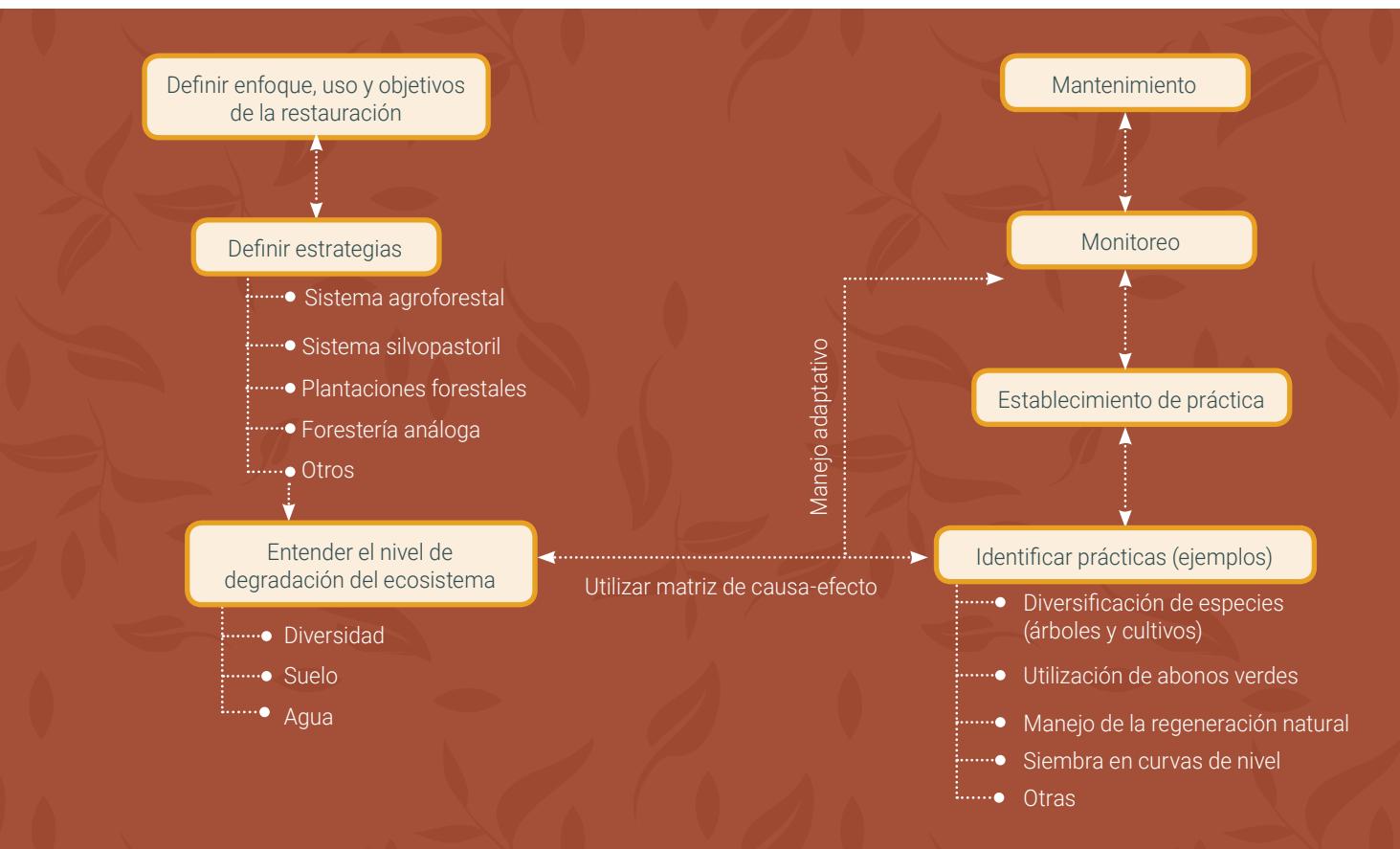


Figura 6. Flujo de procesos para una toma de decisión enfocada en la restauración de áreas de uso productivo



Sistema agroforestal basado en la agricultura sintropica, Fazenda São Luis, São Paulo, Brasil

1.3. Relación entre enfoques, usos y estrategias

La Tabla 5 resume las relaciones entre el enfoque de restauración, el uso destinado del área y las estrategias recomendadas para cada caso. Presenta además ejemplos de prácticas. Aunque normalmente se elige una sola estrategia para la restauración de un área, en algunos casos, puede ser necesario aplicar dos, cuando el área es heterogénea. Esto sucede, por ejemplo, en áreas relativamente grandes o en áreas con efectos de borde diversos (es decir, con diferentes distancias hacia el bosque). En el caso de proyectos de mayor alcance, que integran diferentes áreas de intervención, es necesario un análisis individual para definir la estrategia a aplicar en cada una.

La definición de las estrategias de restauración.

Tabla 5. Relación entre enfoques, usos y estrategias de restauración.

Enfoque	Uso destinado	Estrategias	Ejemplos de prácticas asociadas
Restaurar ecosistemas naturales	Conservación	Regeneración natural pasiva	Cercamiento y/o abandono del área.
		Regeneración natural manejada	Conducción de la regeneración natural, manejo de la cobertura invasiva.
		Restauración asistida	Enriquecimiento de la regeneración natural, siembra de plantas en bloque, nucleación, franjas, erradicación de especies plaga.
Recuperar servicios ecosistémicos puntuales	Producción sostenible	Restauración asistida	Enriquecimiento de la regeneración natural, siembra de plantas en bloque, siembra de árboles en la orilla de cursos de agua, roturación de suelo, zanjas de infiltración, terrazas, barreras vivas .
		Sistemas agroforestales	Diversificación de especies (árboles y cultivos), utilización de abonos verdes, manejo de la regeneración natural, siembra en curvas de nivel, terrazas, fertilización orgánica.
		Sistemas silvopastoriles	Cercas vivas, árboles dispersos en potreros, bancos forrajeros.
		Forestería análoga	Sembrío sucesional, diversificación de especies, manejo de la regeneración natural.
		Plantaciones forestales sucesionales	Manejo de la regeneración natural, siembra en curvas de nivel, enriquecimiento con especies de interés.



2. Selección de prácticas de restauración

2.1. Principios básicos y herramientas para la selección de prácticas de restauración

La selección de prácticas se realiza una vez definida la estrategia de restauración, y se utiliza la información generada durante el diagnóstico de sitio. Para elegirlas, se debe tener en cuenta que:

- Se relacionen con las causas y efectos de los problemas de degradación evidenciados.
- Se relacionen con los objetivos específicos de la restauración del área, del proyecto y de los actores involucrados.
- Estén acordes con los fondos y recursos disponibles (dinero, especies, mano de obra, plantas, semillas, entre otros).
- Se enfoquen en eliminar o reducir las barreras para la sucesión ecológica o los principales factores de degradación del área.
- Busquen un equilibrio entre costo y beneficio.
- Tengan en cuenta el contexto del paisaje y los flujos de materiales, agua y semillas.
- Consideren las leyes, políticas y aspectos culturales.
- Tengan en cuenta los objetivos regionales de desarrollo territorial.

2.2. Relación causa y efecto

Una herramienta para guiar la selección de prácticas es la matriz de causa y efecto, mediante la cual se relaciona los problemas de degradación y/o las barreras para la sucesión identificados con sus causas. Todo este análisis se basa en el objetivo de restauración planteado. A continuación, se presentan algunos ejemplos (tablas 6 y 7).

La definición de las estrategias de restauración.

Tabla 6. Matriz de causa y efecto que vincula los problemas de degradación con prácticas en el marco de una estrategia de restauración asistida en pasturas con *Setaria sphacelata*, para el uso de conservación, Nanegalito, Ecuador.

Objetivo			
Establecer áreas de conservación en una finca ganadera, para mejorar su desempeño integral y la capacidad de infiltración de agua en zonas de importancia para la recarga hídrica.			
Principales causas de degradación	Problema de degradación	Prácticas de restauración asistida propuestas	Otros efectos
Ganadería en pendientes	Mortalidad de plantas por ramoneo y pisoteo del ganado.	Cercamiento del área.	Favorece el desarrollo de la regeneración natural.
	Compactación del suelo. Erosión laminar.	Siembra de especies con raíces pivotantes y que permiten el rápido recubrimiento del suelo.	Contribuye a la infiltración del agua en el suelo.
Dominancia de pastos exóticos invasivos	Baja diversidad de flora y fauna. Barrera para la regeneración.		
	Baja fertilidad del suelo.	Sobrepastoreo y siembra adensada con especies de rápido recubrimiento del suelo, especies que fijan nitrógeno y producen alta biomasa (estacas y plantas).	Controla el crecimiento del pasto. Mejora el desarrollo de la regeneración natural. Genera heterogeneidad en el hábitat.
	Ausencia de plantas nodrizas o microhabitats, exponiendo a las plántulas a condiciones microclimáticas de alto estrés (es decir, disecación) y alta probabilidad de herbivoría.		
Factores externos y del paisaje	Ausencia de fuentes de semillas cercanas, banco semillero con baja diversidad.	Siembra diversa y con diferentes formas de propagación.	Potencializa la regeneración natural y la recuperación de la funcionalidad ecosistémica.

Tabla 7. Matriz de causa y efecto que vincula los problemas de degradación con prácticas para promover la restauración de pasturas degradadas con *Brachiaria* sp, utilizando la estrategia de sistemas agroforestales, Pacto, Ecuador.

Objetivo			
Incrementar la agrobiodiversidad y recuperar la fertilidad del suelo en sistemas productivos.			
Principales causas de la degradación	Problema de degradación	Prácticas de sistemas agroforestales propuestas	Otros efectos
Presencia de pastos exóticos invasivos	Competencia por recursos ambientales con las especies de interés.	Siembra de especies anuales de rápido recubrimiento del suelo en los espacios ocupados por pastos o especies indeseables.	Favorece el desarrollo de la regeneración natural. Diversifica el hábitat.
Mal manejo del suelo en anterior actividad agropecuaria	Compactación del suelo.	Siembra de especies con raíces pivotantes.	Controla procesos erosivos. Aumenta la infiltración de agua en el suelo.
	Fertilidad del suelo insuficiente para la producción agroforestal.	Siembra de especies que fijan nitrógeno y producen alta biomasa (abonos verdes).	Controla el crecimiento del pasto.
	Baja diversidad de cultivos o especies de interés.	Siembra diversa de especies de múltiples propósitos y con diferentes formas de propagación.	Mejora el ciclo de nutrientes.



Caja 2. Otras herramientas que apoyan a la selección de prácticas de restauración

El equipo del Pacto para la Restauración de la Mata Atlántica en Brasil (PACTO 2009) desarrolló una herramienta para guiar la toma de decisiones para la identificación de prácticas de restauración (Tabla 8). Esta es una clave dicotómica, según la que, inicialmente, se evalúa las condiciones del suelo en el área de intervención, de acuerdo con las observaciones del área, se avanza en los diferentes ítems mencionados en la clave (p. ej. si el suelo está degradado, se debe aplicar el ítem 7a, pero si el suelo no está degradado, se pasará al ítem 2). De esta manera, a medida que se analizan las características del área con la información generada en el diagnóstico, se identificarán diferentes recomendaciones para la selección de las prácticas más adecuadas para la restauración del área. Es importante mencionar que la clave a continuación se enfoca en la restauración de los ecosistemas de la Mata Atlántica en Brasil, pero fue adaptada para esta Serie con el objetivo de que funcionara para los ecosistemas montanos. Asimismo, se puede adaptar a otros tipos de ecosistema, razón por la cual es una herramienta valiosa, que facilita la selección de prácticas de restauración.

CAJA 2



Tabla 8. Clave de apoyo para la selección de prácticas de restauración.

		REFERENCIA
1. CONDICIONES DEL SUELO		
1.a.	Suelo degradado	consultar ítem 7a
1.b.	Suelo no degradado	consultar ítem 2
2. USO Y COBERTURA DEL SUELO		
2.a.	Pasturas	consultar ítem 3
2.b.	Áreas agrícolas	consultar ítem 3
2.c.	Plantación forestal	consultar ítem 5
2.d.	Rastrojos	consultar ítem 6
3. ESPECIES EXÓTICAS INVASIVAS		
3.a.	Presencia de especies exóticas invasivas	consultar ítem 7e
3.b.	Ausencia de especies exóticas invasivas	consultar ítem 4
4. ESTADO DE DESARROLLO DE LA REGENERACIÓN NATURAL		
4.a.	Ausencia de regeneración natural	consultar ítem 7f
4.b.	Baja expresión de la regeneración natural	consultar 7g, 7h, 7i
4.c.	Alta expresión de regeneración natural con baja diversidad florística	consultar 7g, 7i
4.d.	Alta expresión de la regeneración natural con alta diversidad florística	consultar 7g
5. PLANTACIONES FORESTALES		
5.a.	Sin regeneración natural de especies nativas en el sotobosque	consultar ítem 7b
5.b.	Con regeneración natural de especies nativas en el sotobosque en área de difícil acceso	consultar ítem 7c
5.c.	Con regeneración natural de especies nativas en el sotobosque en área de fácil acceso	consultar ítem 7d
6. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA VEGETACIÓN NATIVA		
6.a.	Fragmentos de vegetación nativa con alta necesidad de restauración	consultar 7g, 7h, 7i, 7j
6.b.	Fragmentos de vegetación nativa con necesidad de restauración intermedia	consultar 7i, 7j
6.c.	Fragmentos de vegetación nativa conservados	consultar 7k
7. PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN		
7.a.	Recuperación del suelo	consultar ítem 2
7.b.	Cosecha de madera con técnicas tradicionales	consultar ítem 7e
7.c.	Muertes de árboles en pie	consultar ítem 4
7.d.	Cosecha de madera con técnicas de bajo impacto	consultar ítem 4
7.e.	Eliminación de especies exóticas invasoras	consultar ítem 4
7.f.	Introducción de especies nativas en sembrío de plantas (bloque, nucleación, etc.)*	
7.g.	Conducción de la regeneración natural	
7.h.	Incrementar la densidad de plantas	
7.i.	Enriquecimiento de nuevas especies de plantas	
7.j.	Control de procesos erosivos y restauración del entorno	
7.k.	Cercado y abandono del área	

Adaptado de: PACTO, 2009 Nota: * Los ítems 7.f a 7.k corresponden al final del análisis y a la selección de prácticas de restauración.

3. Prácticas de restauración para diferentes estrategias

En este capítulo, se presenta algunas prácticas que se aplican de manera individual o en conjunto en diferentes estrategias de restauración. Para esta Serie, se seleccionó aquellas priorizadas con base en las experiencias desarrolladas en los procesos de restauración de los paisajes de bosques andinos del Ecuador. Es importante tomar en cuenta que no existen fórmulas para la restauración ecológica y de paisajes boscosos y que las ideas y alternativas planteadas en esta Serie no son exhaustivas y pueden ser adaptadas a cada situación en particular.

3.1. Cercado del área

Estrategias que utilizan la práctica

Todas las estrategias, especialmente, en áreas de regeneración natural pasiva.

¿En qué consiste la práctica?

En la delimitación física de un área mediante cercas de alambre, madera o eléctricas, para aislarla de cualquier fuente de disturbios (p. ej. la entrada de ganado vacuno, caprino, porcino).

¿Cuándo se utiliza?

Cuando existe la amenaza de la entrada de animales que causen daño a las plantas de interés para la estrategia de restauración. En el caso de la estrategia de regeneración natural pasiva, es importante que el ecosistema presente indicios claros de que puede recuperarse por sí solo (sin intervención humana) y en el tiempo requerido según los objetivos de restauración del área. Si en el área se observa el desarrollo de plántulas de árboles o arbustos, como resultado de la regeneración natural, y está ubicada cerca de remanentes de bosques, es más probable que se recupere de forma natural, gracias al proceso de sucesión secundaria.

Aspectos a considerar

Aunque se trate de una práctica muy sencilla y obvia, muchas veces no se le da la importancia que merece. Es fundamental no solo que las cercas instaladas sean adecuadas para el aislamiento específico de cada tipo de ganado (vacuno, caprino, ovino o porcino), sino también tomar en cuenta la distancia entre postes, para que el alambre o cable esté tenso, y el número de líneas y la altura de la cerca sean consistentes con el tamaño y comportamiento del animal (p. ej. para las cabras, las cercas deben tener más de cinco líneas).

3.2. Conducción de la regeneración natural

Estrategias que utilizan la práctica

Regeneración natural manejada, restauración asistida, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, forestería análoga, plantación forestal sucesional.

¿En qué consiste la práctica?

En la eliminación de la cobertura vegetal (hierbas, pastos o arbustos invasivos) que impide o limite el desarrollo de las plantas a partir de la regeneración natural (Figura 7). La limpieza de la vegetación ayuda a que las plantas de interés crezcan más rápido, a medida que se reduce la competencia por recursos con las especies invasivas que están alrededor. Asimismo, aporta al desarrollo de nuevas plantas de la regeneración natural, ya que, con la entrada de luz y con la reducción de la competencia por agua y nutrientes, se estimula la germinación de otras especies.

Se realiza periódicamente con motoguadaña y machete. En el caso de los sistemas agroforestales, la conducción de especies de interés de la regeneración natural puede involucrar también actividades de poda con tijera o machete.

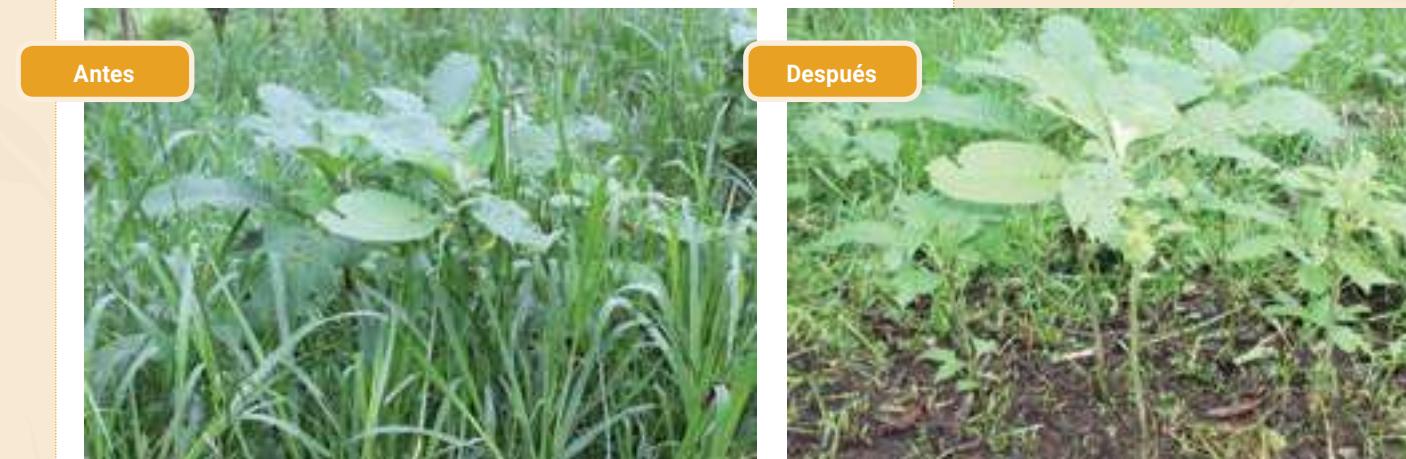


Figura 7. Ejemplo de conducción de la regeneración natural. Se observa la limpieza de una planta invasiva (pasto miel) alrededor de un individuo de regeneración natural que es de interés.

En caso de dominancia de especies arbustivas invasivas en el área, la limpieza de la vegetación se realiza por medio de podas o el corte total de arbustos, dependiendo de si la especie genera algún servicio importante para la restauración del área.

¿Cuándo se utiliza?

Cuando en el área existen individuos de regeneración natural que son de interés, ya sea por su importancia en el desarrollo de la sucesión o porque brindan algún valor económico al área (p. ej. árboles frutales o maderables). También, cuando se estima que el proceso de sucesión ecológica del área tardará más tiempo que el planteado en los objetivos de restauración. Debido al nivel de degradación y la existencia de barreras, el inicio de este proceso demora muchos más años que los esperados.

Además, se aplica cuando se observa el desarrollo natural de especies arbustivas y arbóreas en los espacios libres de la plantación agroforestal o área de forestería análoga. En el caso específico de este tipo de área de producción agrícola, los árboles y arbustos de la regeneración natural generalmente crecen en las áreas no ocupadas por los cultivos, en los espacios disponibles de una plantación. Estas plantas brindan servicios importantes, como la descompactación de suelos, la producción de biomasa y, en algunos casos, el aumento de la fertilidad del suelo. También, pueden ser plantas de interés productivo, como las especies maderables.

Aspectos a considerar

En el caso de la limpieza con machete o motoguadaña, es importante tener cuidado para no dañar las plantas de interés. Para esto, se debe trabajar con un disco de corte redondo o, si es posible, con hilo de corte de nailon. Cuando la limpieza se realiza con machete, se utiliza un garabato que facilite apartar la vegetación que se va eliminar y, cuando se utiliza pala recta, es importante no cavar a profundidad para no dañar las raíces de la planta de interés. En el caso del uso de herbicida, es importante utilizar un protector en la manguera de aplicación que reduzca el ámbito de aspersión y localice la aplicación.

En los sistemas agroforestales, es importante observar si las plantas de la regeneración causan competencia directa con los cultivos (por sombra, nutrientes, agua o espacio), para manejarlas de forma apropiada. Si no hay efecto de competencia, las plantas que crecen de forma espontánea (especialmente, árboles y arbustos, por el tamaño de sus raíces) deben permanecer en el área de producción porque acumulan materia orgánica que luego se transformará en abono para las plantas de interés. Además, sus raíces trabajan constantemente en el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo (p. ej. estructura, reducción de la erosión), química (p. ej. producción de sustancias benéficas) y biológica (p. ej. aumento de la actividad microbiológica).

Área de regeneración natural en donde se podría aplicar la práctica de enriquecimiento con especies de interés.


3.3. Enriquecimiento o incremento de la densidad de plantas**Estrategias que utilizan la práctica**

Restauración asistida, sistemas agroforestales, forestería análoga , plantación forestal sucesional.

¿En qué consiste la práctica?

Es la siembra de nuevas especies en un área de restauración que contiene cobertura forestal, a través de plantas, semillas, estacas u otras formas de reproducción.

¿Cuándo se utiliza?

Cuando se quiere acelerar el proceso de restauración y producir bienes o servicios específicos (p. ej. madera, frutos, atracción de aves para turismo). El enriquecimiento se debe aplicar en áreas que contienen cobertura forestal, pero presentan una diversidad de especies o una densidad de plantas de interés específico bajas. Por tanto, uno de los objetivos de esta práctica es el desarrollo de ecosistemas con características en la composición de especies lo más parecidas a las del ecosistema referencial (McDonald *et al.* 2016) o la creación de bosques análogos para el uso sostenible (Senanayake 2001).

El enriquecimiento también se implementa cuando se busca el rescate de la diversidad genética. En este caso, se introduce individuos similares a los presentes, provenientes de otros fragmentos de bosques y, por lo tanto, con otro contenido genético. Usualmente, esta práctica se utiliza para especies de crecimiento lento y, generalmente, dispersadas por mamíferos, ya que, debido a sus características ecológicas, son propensas a sufrir erosión genética y ver amenazado su estado de conservación.

Aspectos a considerar

La selección de especies para esta práctica debe basarse en las condiciones del estadio sucesional del área (es decir, al nivel de recuperación posterior al disturbio) y en los objetivos de la restauración. Asimismo, el enriquecimiento, muchas veces, implica la eliminación de especies invasivas que dificultan o impiden el desarrollo de las plantas sembradas.

*Nota: Para más información sobre la selección de especies, revisar el Módulo 3.

3.4. Siembra de especies facilitadoras

Estrategias que utilizan la práctica

Restauración asistida, sistemas agroforestales, forestería análoga, plantaciones forestales sucesionales.

¿En qué consiste la práctica?

En la siembra de especies facilitadoras en un área en restauración. Dichas especies sobreviven en condiciones adversas de suelo y clima, y modifican el ambiente de tal manera que reducen el estrés físico de otras especies menos adaptadas (Callaway *et al.* 2002), sea a través de la provisión de sombra, materia orgánica o protección contra el viento, etc. Además, presentan un alto potencial de recubrimiento del suelo y producción local de biomasa. La siembra puede realizarse con semillas, plantas de raíz desnuda de buena calidad, plantas producidas en viveros y, en algunos casos, con estacas.

La siembra de estacas presenta algunas ventajas:

- Reducción del costo de producción de plantas en vivero.
- Facilidad en la obtención y transporte de las estacas al campo.
- Siembra de plantas con altura superior al pasto y, por tanto, mayor capacidad de competencia por luz.
- Especies de rápido crecimiento y alta producción de biomasa, que genera presión sobre los pastos dominantes.
- Capacidad de rebrote después de podas secuenciales (de dos a cuatro veces al año).
- Cumpliendo también el rol de especies fertilizadoras (abono verde en el área).

¿Cuándo se utiliza?

Cuando el área presenta condiciones adversas de suelo (p. ej. baja fertilidad, compactación), cobertura (p. ej. presencia de especies invasivas) y clima (p. ej. alta exposición solar, sequía permanente). Esta práctica incrementa la densidad de plantas nodrizas en el área en restauración, creando diversidad de hábitats y mejorando las condiciones de suelo y clima para el desarrollo y permanencia de otras especies de grupos sucesionales más avanzados, los cuales se verían imposibilitados de crecer en el área sin la creación de estos nichos.

Aspectos a considerar

Es importante que el tamaño de la planta o estaca sea superior al de las especies invasivas que se quiere erradicar (p. ej. pastos) o al de la especie que se quiere facilitar (p. ej. especie secundaria tardía). En el caso de las estacas, el grosor varía según el tipo de especie. Es altamente recomendable que el corte de las extremidades esté bien hecho, sin dañar el tejido y en forma de bisel (Figura 8). Además, es fundamental tener cuidado de sembrarlas en el sentido correcto; es decir, con la parte en la que se desarrollan las raíces en el suelo (Meli y Carrasco Carballido 2011).



Figura 8. Atado de estacas de *Tithonia diversifolia* para facilitar el acarreo al campo y detalle del corte en bisel de una de las extremidades para mejorar el enraizamiento.

3.5. Siembra de árboles y arbustos

Estrategias que utilizan la práctica

Restauración asistida, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, forestería análoga, plantación forestal sucesional.

¿En qué consiste la práctica?

En la siembra de árboles y arbustos en un área de restauración desprovista de cobertura forestal. La siembra varía por disposición (es decir, el orden y la forma de las plantas en campo), por densidad (es decir, el número de individuos por hectárea) y por selección de especies según enfoques específicos (estadio sucesional y función). Esto depende directamente de las metas de restauración en el tiempo, las particularidades del área (tipo de disturbios y barreras) y la disponibilidad de recursos.

Las variaciones por disposición más comunes son la siembra en bloque, franjas o nucleación:

- Bloque. Consiste en sembrar las plantas en líneas homogéneas, que pueden tener distancias de siembra diferentes (p. ej. 2 x 3 m; 2 x 2 m; 3 x 4 m) (Curry y Carvalho 2011, Castro 2012).
- Franjas. Consiste en la siembra de plantas según una disposición linear, siguiendo un trazado específico en el paisaje.
- Nucleación. Las plantas se siembran en islas circulares dispersas, creando núcleos de restauración que, con el tiempo, crecerán y empezarán a cambiar las condiciones edafoclimáticas en los bordes. Esto potencializaría procesos de regeneración natural alrededor, ampliando el núcleo en el tiempo hasta ocupar el total del área (São Paulo - Estado 2011, Castro 2012, Corbin y Holl 2012).

Las variaciones de acuerdo con el enfoque de selección y agrupación de especies más importantes son el ordenamiento por grupo sucesional y por sus funciones específicas:

- Siembra sucesional. Cuando las especies utilizadas en la restauración son agrupadas de acuerdo con su lugar en la sucesión ecológica secundaria (pioneras, secundarias iniciales, secundarias tardías o maduras). Las especies se disponen en el campo de acuerdo con esta lógica, de manera secuencial.
- Siembra por función que cumple en la restauración. Cuando las especies utilizadas en la restauración son agrupadas de acuerdo con su función principal (p. ej. especies facilitadoras que proveen una rápida cobertura del suelo, especies que funcionan como barreras vivas para reducir la erosión o especies que son sembradas para elevar el nivel de biodiversidad del área). Estas son dispuestas en campo de manera específica para optimizar su función (p. ej. en un área de elevada pendiente, se siembra especies cuya función es crear barreras vivas, en líneas homogéneas de acuerdo con las curvas de nivel).

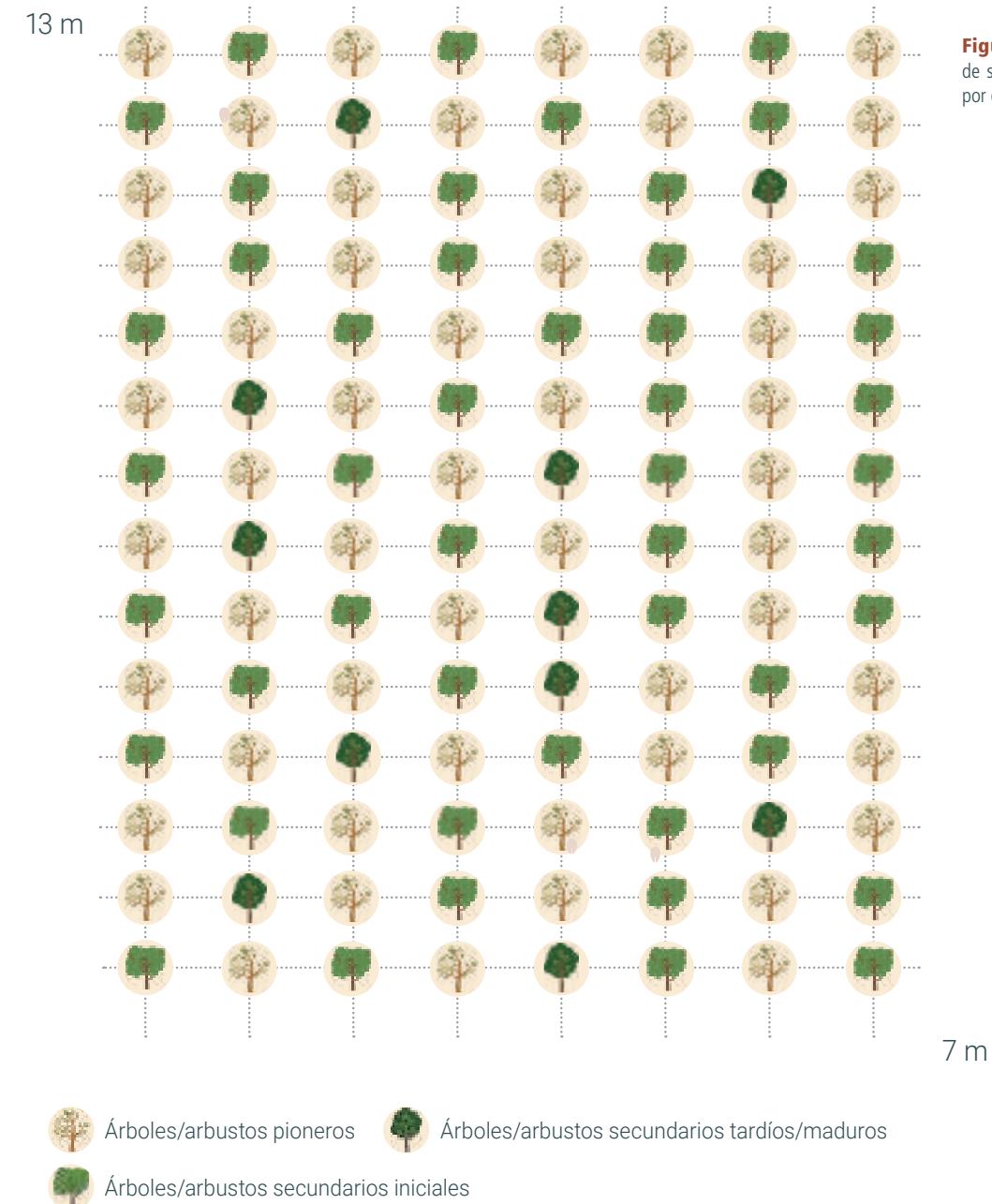
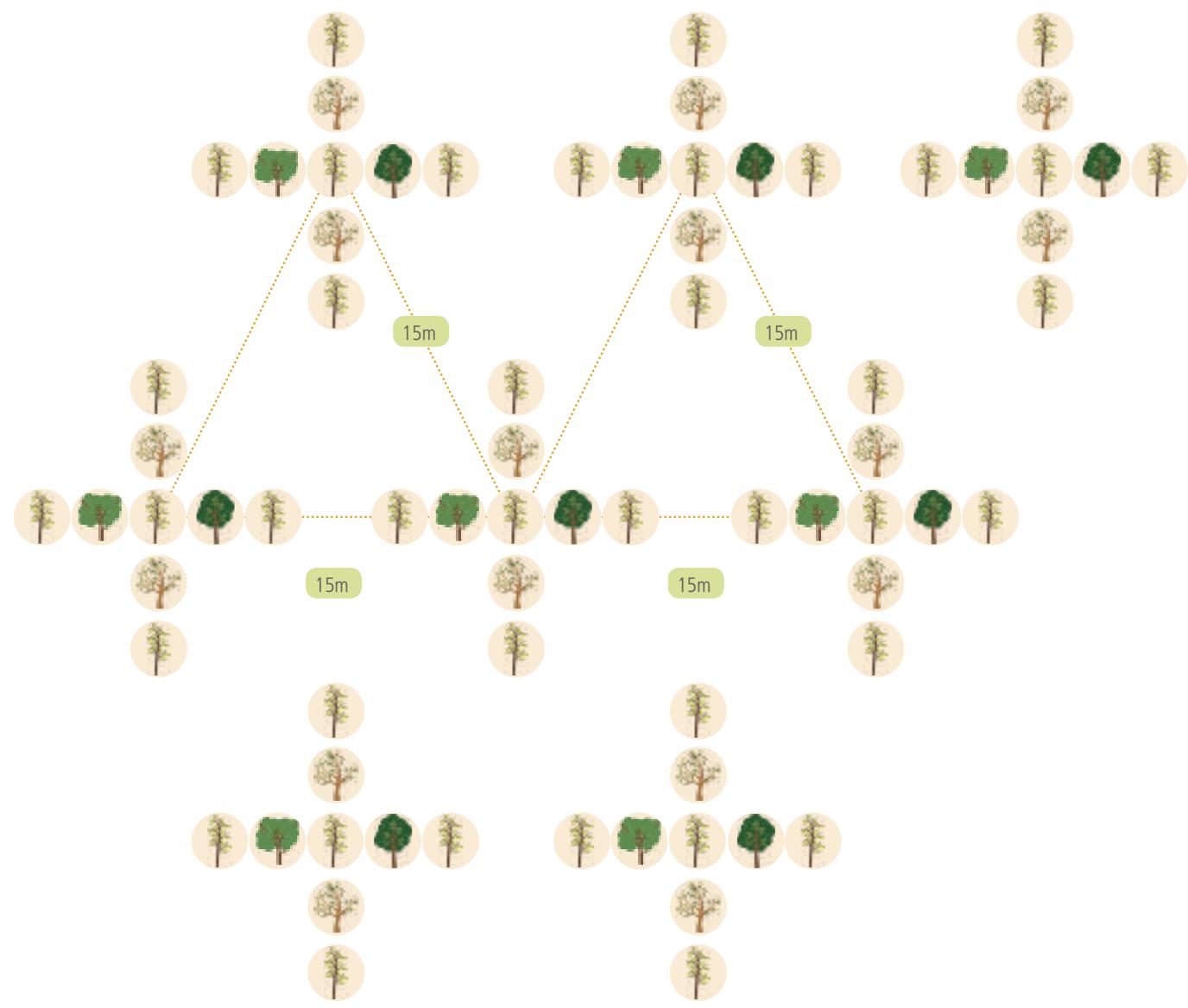


Figura 9. Ejemplo de diseños de la práctica de siembra de plantas arbustivas y arbóreas por disposición de las plantas en el campo.

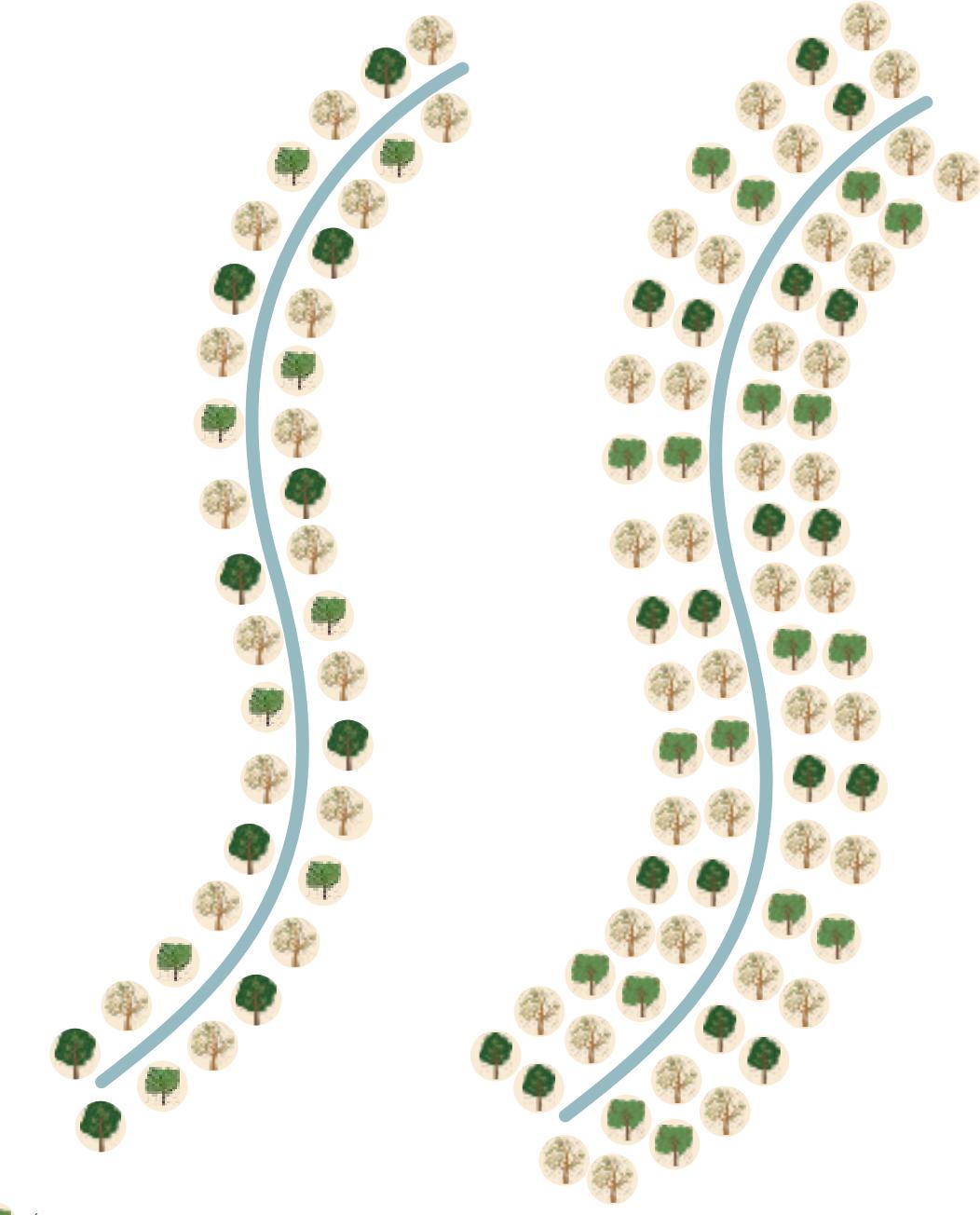
La definición de las estrategias de restauración.



Árboles/arbustos pioneros

Árboles/arbustos secundarios iniciales

Árboles/arbustos secundarios tardíos/maduros



Árboles/arbustos secundarios iniciales

Árboles/arbustos secundarios tardíos/maduros

Árboles/arbustos pioneros

¿Cuándo se utiliza?

La siembra de árboles y arbustos se justifica en áreas con un potencial bajo o inexistente para la regeneración natural, siendo necesario introducir plantas para iniciar el proceso de restauración. Es una práctica utilizada para lograr un rápido recubrimiento del suelo y facilitar la erradicación de plantas invasivas (p. ej. pastos).

• Bloque

Recomendable cuando se cuenta con los recursos suficientes para sembrar y mantener las plantas en toda la extensión del área destinada a la restauración.

• Franjas

Frecuentemente se usa en sistemas silvopastoriles, como una ampliación de cercas vivas, así como para la restauración de márgenes de ríos o corredores transversales que conectan fragmentos de bosques en un paisaje cuya matriz dominante es de pasturas de uso ganadero o agrícola. Funcionan como corredores para la biodiversidad y generan un efecto de nucleación en el paisaje a largo plazo.

• Nucleación

Recomendable para la restauración de áreas de pasturas extensas, especialmente, cuando no existen los recursos necesarios para realizar la siembra en toda el área.

Aspectos a considerar**• Bloque**

Es recomendable que la siembra de las plantas sea realizada respetando las curvas de nivel del terreno, para evitar procesos de erosión del suelo.

• Franjas

Cuanto más ancha la franja, mayor será el efecto de conservación en el paisaje, porque permitirá que un rango más diverso de animales la utilicen.*

• Nucleación

El tamaño del círculo, el número de plantas y especies, así como la distancia entre núcleos varía de acuerdo con diversos factores, entre los que se destacan el estado de degradación del área, la disponibilidad de recursos (semillas, plantas, dinero, entre otros), el tamaño total del área de restauración, las características del borde (en relación con la posibilidad de llegada de semillas al área) y los objetivos y metas de restauración (Figura 10). Por lo general, cuanto más degradada el área, mayor debe ser la cantidad de núcleos a establecer, porque la capacidad del ecosistema de recuperarse por sí solo será menor. Asimismo, las áreas que están más cerca del bosque tienen mayor probabilidad de que en ellas ocurran procesos de dispersión efectiva de semillas y, así, iniciar la regeneración natural. Por tanto, se debe ubicar los núcleos en áreas en las que se requiere una restauración asistida. Por otro lado, se debe evitar sembrar plantas de la misma especie de manera continua; es importante alternar las especies y distribuirlas de manera uniforme en el terreno.

* Para más información sobre cómo ubicar las franjas en el paisaje, se recomienda consultar López *et al.* 2012.

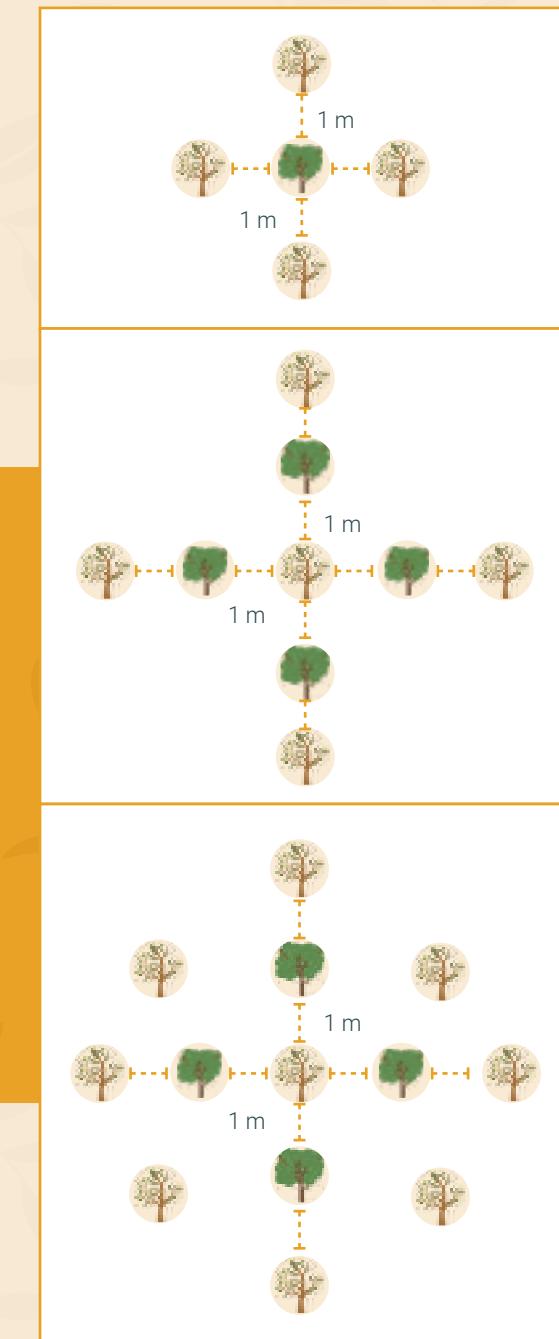


Figura 10. Ejemplos de diseños de nucleación para estrategia de restauración asistida. Fuente: São Paulo - Estado 2011.

3.6. Translocación de suelo

Estrategia que utiliza la práctica

Restauración asistida

¿En qué consiste la práctica?

En llevar una muestra de 1 m² de la capa superficial de suelo (de 5 a 15 cm de profundidad) en buen estado de conservación (incluyendo suelo y hojarasca) a un área degradada. Esta contiene gran cantidad de organismos vivos (p. ej. insectos, bacterias, hongos) que desarrollan funciones esenciales para la autorregulación y mantenimiento de la capacidad productiva del suelo a lo largo del tiempo, participando en el proceso de descomposición de la materia orgánica y en el ciclo de nutrientes, incluyendo la mineralización de la materia orgánica y la respiración del suelo. Esta translocación crea un núcleo de fertilidad que, además, contiene un banco de semillas importante, que permite el desarrollo de islas de vegetación en el área que a su vez funcionan como abrigo para la fauna silvestre dispersora de otras semillas (Figura 11).



Figura 11. Paso a paso para la práctica de translocación de suelo.



¿Cuándo se utiliza?

Cuando el suelo del área en restauración presenta baja actividad biológica (es decir, ausencia de insectos, microorganismos, entre otros organismos responsables del proceso de descomposición de la materia orgánica y ciclo de nutrientes). La práctica también puede ser útil cuando el suelo no contiene un banco de semillas o el área se encuentra lejos de fragmentos de bosques.

Aspectos a considerar

Las islas de suelo deben estar dispersas homogéneamente en el área para una mejor cobertura y con una densidad de 8 núcleos por hectárea (Sanchún *et al.* 2016). Es importante asegurar que los núcleos vengan de áreas de ecosistemas de referencia y, en la medida de lo posible, en el mismo tipo de pendiente.



Capa superficial del suelo conservado que será translocada al área degradada.

3.7. Creación de nichos artificiales para atracción de fauna

Estrategias que utilizan la práctica

Restauración asistida.

¿En qué consiste la práctica?

Los nichos artificiales son estructuras físicas o biológicas que sirven para atraer animales dispersores de semillas al área de restauración. Atraer este tipo de animales a las áreas en proceso de restauración es fundamental para aumentar la oferta y distribución de semillas en el campo. Las aves, murciélagos y mamíferos transportan varios tipos de semillas que dispersan a través de las heces, regurgitación o al derribar frutos, lo que optimiza el desarrollo de la regeneración natural y acelera el proceso de restauración del área (São Paulo - Estado 2011).

Existen varias formas de atraer animales dispersores a un área, y siempre están relacionadas con las necesidades específicas de cada grupo. Por ejemplo, si se quiere atraer aves o murciélagos, es necesario recrear condiciones favorables, asociadas a su comportamiento de perchas, para lo que se utilizan perchas artificiales o vivas; pero si se quiere atraer mamíferos, la estrategia adecuada será la translocación de ramas, para facilitar la creación de madrigueras (São Paulo - Estado 2011).

• Perchas artificiales

Estructuras introducidas en el área de restauración, que sirven como descanso para las aves y especies específicas de murciélagos en un paisaje fragmentado. Son de bambú, palos de madera o incluso de metal y siempre deben tener la estabilidad necesaria para que los animales puedan perchar. Se recomienda también que las perchas tengan ramificaciones y que se elimine periódicamente las especies vegetales competidoras en el piso alrededor de la perchas, de manera que el suelo esté en condiciones para la rápida germinación de las semillas que lleguen por dispersión. La altura de las perchas varía de acuerdo con tipo de dispersor que se quiere atraer, aunque, generalmente, deben ubicarse a por lo menos 3 m de altura. Las perchas tienen un importante rol, ya que crean conectividad en un paisaje fragmentado, permitiendo que las especies crucen de un lado a otro y cuenten con un punto de descanso, por lo que deben estar bien espaciadas en campo (São Paulo - Estado 2011).

• Perchas vivas

En las perchas artificiales, se siembra enredaderas de rápido crecimiento que produzcan frutos atractivos para la fauna que no utiliza dichas perchas artificiales (p. ej. la mayoría de los murciélagos).

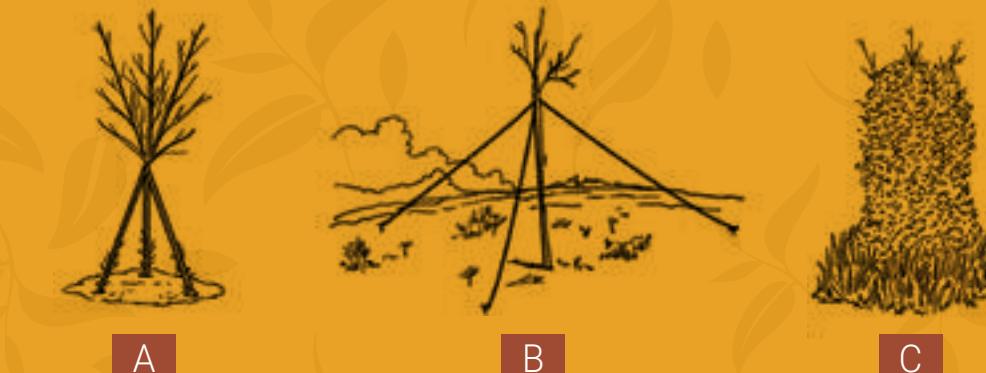


Figura 12. Ejemplos de perchas para atracción de animales dispersores de semillas. A) Percha artificial conduciendo el desarrollo de enredaderas para la conformación de perchas vivas, B) Percha viva, C) Percha artificial. Fuente: Bechara *et al.* 2007.

• Translocación de ramas.

Consiste en acumular ramas, troncos, residuos agroforestales o piedras en montículos dispersos en el campo (São Paulo - Estado 2011), que funcionan como núcleos de protección y nidos para animales (p.ej. guatusas, armadillos), y también crean nichos para la germinación de árboles y arbustos de la regeneración natural. La acumulación de materia orgánica atrae insectos que, a su vez, atraen a otros tipos de animales de la cadena trófica, diversificando la vida y las funciones de los ecosistemas.

¿Cuándo se utiliza?

Cuando existe baja dispersión de semillas en el área que se quiere restaurar o sea necesario incrementar la llegada de diferentes tipos de semillas al área, aumentando la biodiversidad y la diversidad genética. Esta práctica solo se debe utilizar cuando no existan barreras para la germinación y desarrollo de la regeneración natural, ya que, si existen, la práctica no tendrá éxito y se desperdiciará recursos. También, es útil cuando los recursos son escasos para invertir en la compra o siembra de plantas.

Aspectos a considerar

La distancia de los fragmentos de bosques también influye en la selección del tipo de práctica para atraer animales dispersores. Las perchas pueden estar más lejos de los fragmentos porque las aves pueden atravesar las barreras creadas en el paisaje (p. ej. pasturas); sin embargo, en el caso de la translocación de ramas, debe haber mayor conectividad para que los animales logren llegar al área de restauración.

3.8. Zanjas de infiltración

Estrategias que utilizan la práctica

Restauración asistida, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, forestería análoga, plantación forestal sucesional.

¿En qué consiste la práctica?

Las zanjas de infiltración son canales de sección rectangular o trapezoidal, sin desnivel, construidos en laderas para incrementar la infiltración, reducir la **escorrentía** de las lluvias y generar un reservorio de agua para los pastos y cultivos ubicados pendiente abajo de las zanjas (Figura 13) (MINAGRE 2014). Una de las funciones de esta práctica es reducir el tamaño de la pendiente disminuyendo, de esta manera, el riesgo de grandes escorrentías, que causan erosión en las laderas durante la época de lluvias. Asimismo, esta práctica contribuye a detener o depositar el agua de escorrentía en las laderas, favoreciendo su infiltración en el terreno, y a mantener la humedad para el aprovechamiento de las plantas en general (MINAGRE 2014).



Figura 13. Construcción de zanjas de infiltración con maquinaria agrícola. Comunidad de Santa Inés, Distrito de Huancavelica, región Huancavelica. Proyecto Praderas GORE (Gobierno Regional) Huancavelica (Perú), 2013.

Se construyen de forma manual o mecanizada siguiendo las curvas de nivel. El tamaño de las zanjas varía de acuerdo con el clima, la pendiente, el tipo de suelo y la vegetación, siendo en general de 30-50 cm de profundidad y ancho de la base, y 40-70 cm de ancho en el borde superior. El distanciamiento entre zanjas dependerá de la pendiente y la cobertura vegetal del suelo; variando de 4 a 20 m. Cuanto mayor la pendiente y menos cobertura tenga el suelo, menor el distanciamiento entre zanjas.

¿Cuándo se utiliza?

Cuando las zonas presentan una estacionalidad marcada o hay escasez de agua durante períodos determinados del año. También es útil cuando el terreno tiene pendientes de 10 a 60°.

Aspectos a considerar

Las zanjas son obstáculos para el ganado, por lo que hay que establecer accesos de paso cada 100 m. Por otro lado, si no se realiza una limpieza periódica de la zanja, el agua almacenada puede desbordarse y formarse cárcavas laderas abajo. Para evitar la entrada excesiva de tierra, es recomendable poner una barrera de pastos o plantas arbustivas en el borde superior de la zanja, que retenga la tierra arrastrada por el agua.*



Zanjas de infiltración en proyecto de restauración, Vilcabamba, Loja, Ecuador.

* Para información más detallada se recomienda consultar el *Manual de zanjas de infiltración*, MINAGRE (2014).

3.9. Diversificación de especies (árboles y cultivos)

Estrategias que utilizan la práctica

Sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, forestería análoga, plantación forestal sucesional.

¿En qué consiste la práctica?

En incrementar la variedad de especies con diferentes usos y funciones en un sistema de producción. Para los objetivos de restauración, son importantes las funciones de recubrimiento (producción de biomasa aérea) y descompactación de suelos que las especies arbóreas ejercen.

En el caso de plantaciones forestales sucesionales, se combina especies maderables con velocidad de crecimiento y ciclos de corte diferentes (p. ej. especies que se cosechan cada diez años con especies con ciclos de 20-40 años) en una misma área y secuencia temporal.

¿Cuándo se utiliza?

Se utiliza en monocultivos (agrícolas y forestales) o en cultivos de especies perennes (p. ej. café, cacao, cítricos) con baja diversidad (Figura 14).



Figura 14. Diversificación de sistema agroforestal en estadio inicial, con elevada producción de biomasa para poda in situ, Sitio Semiente, Brasilia, Brasil.

Aspectos a considerar

La diversidad de especies ayuda en el control biológico de plagas y enfermedades, potencializa el ciclo de nutrientes y contribuye a la sostenibilidad socioeconómica del productor. Cuanto más alta la diversidad de especies en el área, mayor será el aporte de las funciones ecológicas a la **resistencia y autorregulación** del **agroecosistema**. La diversificación también aplica para especies de ciclo corto (p. ej. maíz, zapallo, frijol), que cumplen un importante rol en el recubrimiento rápido del suelo y generan ingresos a corto plazo para los productores.

En el caso de plantaciones forestales, se parte de una plantación ya establecida, que se enriquece con la siembra de especies nuevas de diferentes grupos sucesionales, o se favorece el desarrollo de plantas de otras especies de la regeneración natural que crecen debajo de la plantación, escogiendo los individuos de más interés (por el tipo de madera, sanidad y forma del fuste) (Capítulo 4.3).



Sistema agroforestal multiestratificado y diverso, Reserva Mashpi Shungo, Pacto, Ecuador.

3.10. Utilización de abonos verdes

Estrategias que utilizan la práctica

Sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y forestería análoga.

¿En qué consiste la práctica?

En la siembra de plantas, conocidas como “abonos verdes”, que tienen la capacidad de recuperar, aportar y mejorar las condiciones biológicas, físicas y nutricionales del suelo. Normalmente, producen gran cantidad de biomasa (materia orgánica) que se incorpora en el suelo y se descompone fácilmente (especialmente, en suelos hidratados y oxigenados); los nutrientes generados son asimilados con facilidad por los cultivos. Varias de estas especies son importantes porque mantienen relaciones con microorganismos que fijan o ciclan nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el suelo (Prager et al. 2012, SAGARPA 2018). Algunas poseen alta tolerancia a la poda (más de tres podas anuales); es decir, son capaces de rebrotar consecutivamente y, por tanto, constituyen un aporte constante de nutrientes en el área de producción. La acumulación de materia orgánica en el suelo no solamente tiene efectos de fertilización y en la química del suelo, sino que también mejora su estructura, ya que aumenta la porosidad (entrada de aire y agua en el suelo) lo que, a su vez, permite un mejor desarrollo de la biología del suelo (insectos, hongos, bacterias, entre otros), creando un suelo vivo y funcional.

¿Cuándo se utiliza?

Se utiliza en sistemas de producción, cuando el suelo presenta baja fertilidad y productividad.

Aspectos a considerar

La biomasa aérea generada por la poda de los abonos verdes puede incorporarse/mezclarse con el suelo o depositarse sobre él mismo de dos maneras:

En la base del tallo de las especies de interés, como abono directo, para reducir el crecimiento espontáneo de plantas competitivas (Figura 15).

1

En líneas perpendiculares a la pendiente para reducir la erosión, creando **trampas de sedimentos** (sitios de acumulación del suelo lavado por las lluvias) (Figura 16).

2



Figura 15. Biomasa originada por la poda de *Gliricidia sepium*. Utilizada para cobertura del suelo y fertilización en un sistema agroforestal de cacao, Pacto, Ecuador.



Figura 16. Poda de *Tithonia diversifolia* para recuperación de suelos degradados, Nanegalito, Ecuador.

3.11. Cercas vivas

Estrategias que utilizan la práctica

Restauración asistida, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles, forestería análoga.

¿En qué consiste la práctica?

Es la siembra de árboles o arbustos en línea para delimitar una propiedad o potrero. Estas especies también ofrecen diversos productos, como forraje, leña, madera, flores para apicultura, frutos, postes, entre otros (Figura 17).

¿Cuándo se utiliza?

En potreros con cercas desprovistas de árboles, especialmente, cuando están en grandes extensiones que generan fragmentación en el paisaje. Para más información de cómo ubicar estas cercas en el paisaje, se recomienda consultar López *et al.* 2012.

Aspectos a considerar

Algunas especies utilizadas ampliamente como cercas vivas en el noroccidente de Pichincha, especialmente por su capacidad de reproducción por estacas, son el nacedero (*Trichantera gigantea*), lechero (*Euphorbia laurifolia*), mata ratón (*Gliricidia sepium*) y porotón (*Erythrina sp.*). Se puede enriquecer las cercas vivas con otras especies que no se reproducen por estacas pero que son de interés para otros usos (p. ej. producción de madera o frutas). En este caso, es necesario proteger la línea de plantas con cercas eléctricas o protecciones individuales (de madera, bambú, hierro). Para la utilización de especies de carácter forrajero, es importante la instalación de cercas de protección hasta que la planta tenga 50% de su biomasa aérea a una altura superior al alcance del ganado.

Figura 17. Establecimiento de cerca viva con especies maderables, Nanegal, Ecuador.



3.12. Árboles dispersos en los potreros

Estrategias que utilizan la práctica

Sistemas silvopastoriles

¿En qué consiste la práctica?

En la siembra de árboles en los potreros para generar beneficios ambientales y productivos, tales como protección para el ganado del sol y lluvia, fijación de nitrógeno para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la proteína del pasto, descompactación del suelo y generación de productos (p. ej. madera, frutos, leña y forraje). La densidad y la selección de los árboles puede variar, pero se recomienda un máximo de 200 árboles por hectárea (Figura 18).



Figura 18. Árboles de alisos (*Alnus nepalensis*) dispersos en el potrero de *Setaria sphacelata*, Nanegalito, Ecuador.

¿Cuándo se utiliza?

En potreros desprovistos de árboles, especialmente en zonas de pendientes y en grandes extensiones de pasturas que generan fragmentación en el paisaje.

**Aspectos a considerar**

Para el establecimiento de estos sistemas, que tienen presencia de ganado, hay tres opciones para asegurar la supervivencia de las especies sembradas:

1. Construcción de cercas protectoras (eléctricas o de otro material, como madera, guadua, malla u otros) para cada árbol sembrado. Cada lado de la cerca debe medir por lo menos 1,5 metros, para evitar que el ganado se coma al individuo plantado al introducir su cabeza por la cerca. Estas deben ser estables y se recomienda que se construyan de forma cuadrada para evitar su caída con el paso del ganado y del tiempo. Otra alternativa, desarrollada y probada con éxito por campesinos del noroccidente de Pichincha, es la siembra de estacas de mora (*Rubus glaucus*) alrededor de la planta de interés, ya que la presencia de espinos impide el acercamiento del ganado, y la siembra de especies facilitadoras en la cerca protectora, lo que genera doble protección para el árbol de interés (sombra y protección del ganado) (Figura 19).
2. Liberación del potrero por lo menos durante un año. Hasta que las plantas alcancen el tamaño suficiente para que el ganado no las dañe. Se recomienda plantar individuos con un tamaño superior a 1 m de alto, para reducir el tiempo de liberación del potrero, así como la competencia con el pasto.
3. Liberación del potrero por más de un año con uso del terreno para otro tipo de cultivo (p. ej. hortalizas o granos anuales). De esta manera, se aprovecha el área para generar ingresos económicos hasta que los árboles puedan sobrevivir en presencia de ganado. Una vez que alcancen el tamaño esperado, se puede volver a sembrar pasto y dejar ingresar a los animales al sistema.

Figura 19. Establecimiento de árboles dispersos en el potrero. Se observa la siembra de árbol maderable protegido por cerca de guadua con alambre y estacas de *Piper aduncum* como especie facilitadora. Método desarrollado por Lorenzo Cunalata, Gualea, Ecuador. Para más información y detalles sobre técnicas de sistemas silvopastoriles, se recomienda la lectura del *Manual de Sistemas silvopastoriles en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas* (Botero y Russo 2016).

4. Ejemplos de diseño de áreas de restauración

En los ecosistemas montanos de Ecuador, es muy común encontrar amplias áreas de pasturas exóticas de carácter invasivo, ubicadas muchas veces en zonas no aptas para la ganadería (p. ej. altas pendientes), con un mal manejo del hato ganadero y las pasturas, lo que provoca un proceso de degradación del sistema, en general, y del suelo, en particular.

Por eso, en este capítulo se presenta ejemplos de diseños de restauración enfocados en la restauración de pasturas degradadas. Estos consisten en la disposición de las plantas y la combinación de todas las prácticas utilizadas en el campo. Es importante tener en cuenta que, en la práctica de restauración ecológica, los diseños solamente sirven como referencia para adaptarlos a otras situaciones, y que existen diferentes tipos de pastos que presentan diversos comportamientos por sus características intrínsecas y su interacción con el medio.

4.1. Diseño de áreas de restauración: de pasturas a bosques montanos

Una de las prácticas utilizadas en el noroccidente de Pichincha para restaurar pasturas abandonadas con *Setaria sphacelata* en la reserva Intillacta, Nanegalito, fue la siembra en bloque de árboles nativos, con enfoque sucesional. Las plantas se sembraron mediante la técnica de raíz desnuda y de manera adensada (10 000 plantas/ha). En la misma línea, se combinó especies de rápido crecimiento (facilitadoras y pioneras) con especies de más lento desarrollo y que se benefician de la sombra generada por las facilitadoras y pioneras. En los espacios vacíos, para evitar el rebrote extensivo del pasto, se sembró estacas de *Tithonia diversifolia* y semillas de especies nativas al voleo (Figura 20). La siembra de estacas y semillas es una práctica más barata que la siembra de plantas. La utilización de estas formas de propágulos puede reducir la cantidad de plantas y, al mismo tiempo, ocupar más espacio con especies que compitan con el pasto.

La definición de las estrategias de restauración.



Figura 20. Diseño de práctica de siembra en bloque con enfoque sucesional adensado bajo estrategia de restauración asistida en pasturas de Nanegalito, Ecuador.

4.2. Diseño de áreas de restauración: de pasturas a áreas de producción agroforestal sostenible

Los diseños de restauración con objetivos de producción sostenible varían de acuerdo con las particularidades de cada situación y, especialmente, con los intereses de producción de los propietarios de la tierra. Sin embargo, existen otros aspectos importantes que se debe considerar para el diseño:

- 1 Planear una óptima ocupación del suelo con diferentes plantas, para posibilitar la rápida eliminación del pasto y, por tanto, reducir las acciones de mantenimiento. Para esto, se puede combinar especies con diferentes requerimientos de luz, nutrientes, tamaños y ciclos de vida.
- 2 Incluir especies anuales o semiperennes (p. ej. Yuca, zapallo, maíz, papaya, entre otras), que cumplen funciones ecológicas y amortizan la inversión económica durante los primeros años del establecimiento de la estrategia.
- 3 Mantener la fertilidad del suelo en el tiempo, mediante la siembra de especies aboneras (o abonos verdes) entre las líneas de los cultivos de interés económico y su manejo periódico para la generación de biomasa y nutrientes en el área (Figura 21).



Figura 21. Diseños de restauración según la estrategia de sistemas agroforestales multiestratificados, Mashpi, Ecuador.

4.3. Diseño de áreas de restauración: de pasturas a la producción maderable escalonada

Si se quiere cambiar el uso de una pastura, que ya no genera suficientes ingresos, a plantaciones forestales, se implementa una estrategia escalonada que permite una producción de madera distribuida en el tiempo. El diseño de esta estrategia fue desarrollado por el Pacto para la Restauración de la Mata Atlántica, en Brasil (PACTO 2009), por lo que debe ser adaptada a la situación específica de los bosques montanos tropicales del Ecuador.

El diseño de la plantación y selección de especies de árboles debe tomar en cuenta el aprovechamiento económico a lo largo del tiempo, respetando el principio de la sucesión ecológica. Para esto, las especies pueden agruparse en cuatro categorías (Tabla 9).

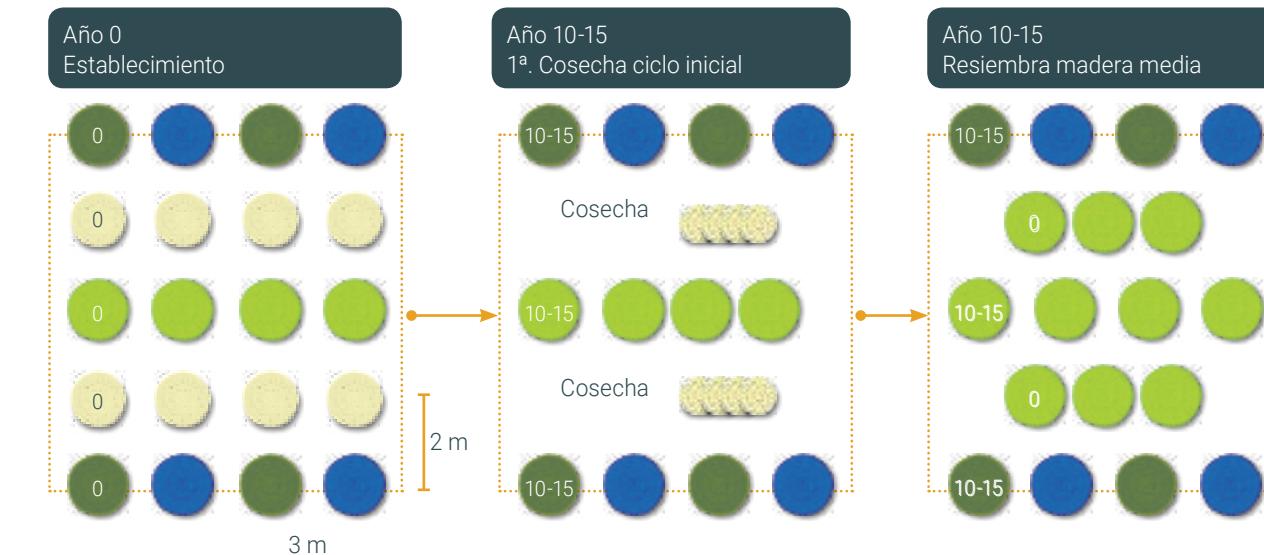
Tabla 9. Categoría de especies de árboles para combinar en una plantación forestal escalonada.

Categoría	Grupo sucesional	Funciones y características ecológicas	Ciclo de corte	Densidad de la madera (g/cm ³)*	Usos comerciales
Madera inicial	Pionera	Rápida ocupación del área, reduce el mantenimiento, mejora la fertilidad y estructura del suelo, y crea sombra para otras especies.	De 7 a 15 años, con alto volumen de aprovechamiento	0,10- 0,45	Leña, carbón y madera para encofrado
Madera media	Secundaria	Medio crecimiento, se desarrolla bajo media sombra y mejora las condiciones del suelo y el clima para las especies de madera final.	De 15 a 25 años	0,45-0,6	Madera para carpintería y encofrado
Madera final	Madura	Lento crecimiento, tolerancia a la sombra y atracción de fauna dispersora.	A partir de los 40 años	≥ 0,6	Madera para construcción y carpintería
Madera complementaria	Pionera	Especies de rápido crecimiento y copas anchas que proveen sombra inicial a las especies de madera final.	No se cosecha, tiene muerte natural	No aplica	Enriquecimiento del suelo

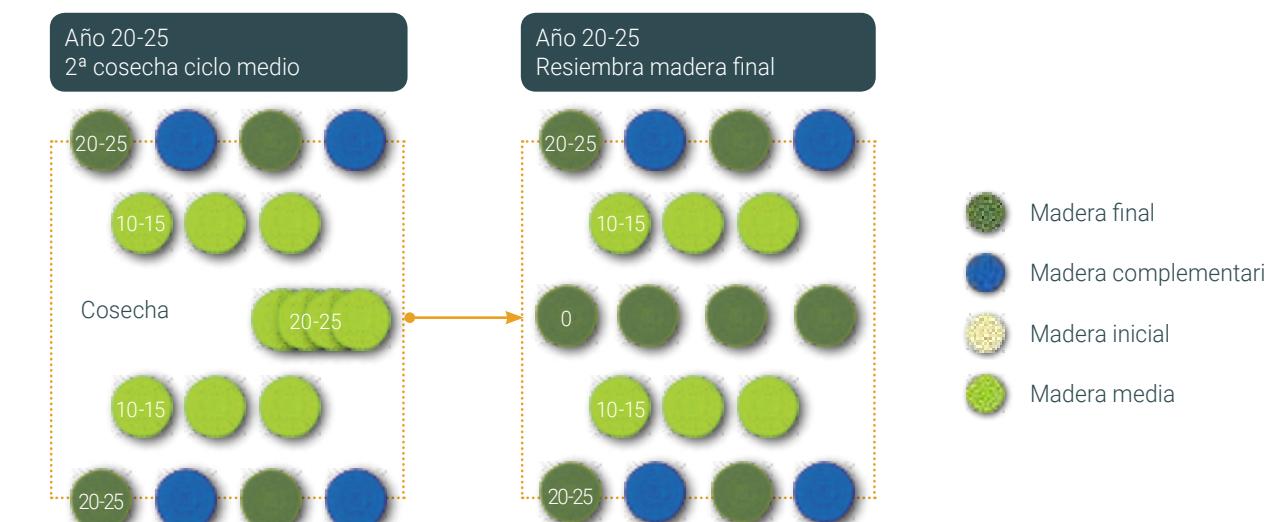
Adaptado: PACTO 2009 y Chave 2009

Los árboles se siembran a una distancia de 3 x 2m y con una densidad de 1 660 árboles/ha, de acuerdo con la siguiente combinación temporal (Figura 22).

a. Establecimiento de plantación y primera cosecha a los 10-15 años



b. Segunda cosecha a los 20-25 años y resiembra

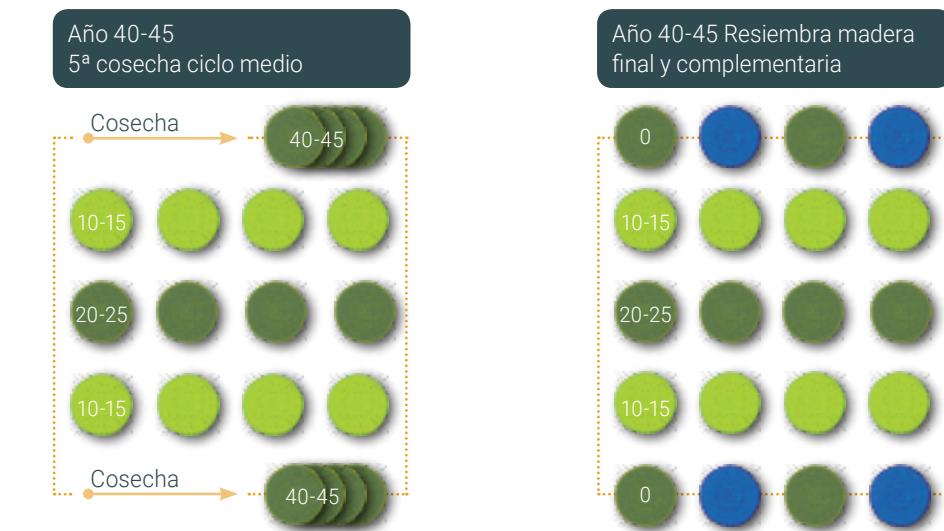


- Madera final
- Madera complementaria
- Madera inicial
- Madera media

c. Cosecha y resiembra a los 30-35 años



e. Cosecha y resiembra a los 40-45 años



d. Cosecha y resiembra a los 35-40 años



f. Cosecha y resiembra a los 50-55 años

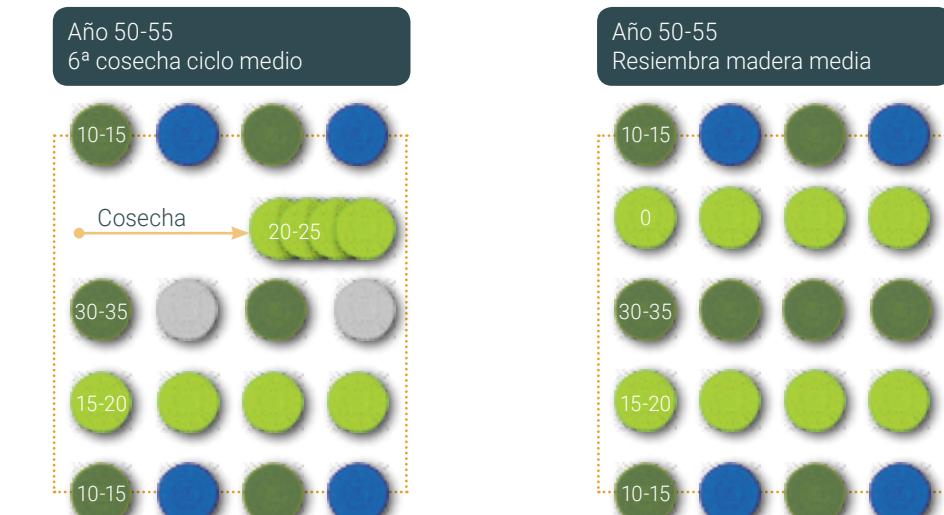


Figura 22. Descripción detallada de la metodología de siembra de madera escalonada, con distinción de tiempos de cosecha y resiembra. Fuente: PACTO 2009.

De esta manera el aprovechamiento con fines económicos entra en un ciclo indefinido de producción de madera, ya que el área mantiene siempre la cobertura arbórea. Sin embargo, este ciclo puede ser interrumpido en cualquier momento, si los propietarios cambian de parecer sobre el uso de la tierra, y la convierten en un sistema agroforestal o le den cualquier otro uso.

5. Factores a considerar para el establecimiento de prácticas de restauración con siembra de plantas

El establecimiento de actividades de restauración en campo requiere una planificación y organización previas para prevenir problemas potenciales. A continuación, se presenta los principales aspectos que se debe considerar en el momento de establecer prácticas que involucran la siembra de plantas en campo.

5.1. Preparación del terreno

Esta actividad representa una parte importante de los costos de implementación. El tipo de preparación y la anticipación con que se debe realizar varía de acuerdo con el tipo de cobertura del suelo, el objetivo y las estrategias a implementar. Por ejemplo, si se empieza una actividad de restauración en un área cubierta por especies indeseables o invasivas, es necesario reducir o controlar estas especies antes de realizar la siembra.

5.1.1. Manejo de cobertura del suelo

En el caso de pasturas, si el pasto está alto, se realiza un pastoreo intensivo (con ganado vacuno, porcino o caprino) o corte manual o mecánico. Desde el punto de vista económico, es mejor el sobrepastoreo para reducir la biomasa del pasto, ya que el corte manual o mecánico tiene un rendimiento bastante bajo (alrededor de 40 horas de trabajo por persona/ha),



elevando significativamente el costo del establecimiento de la estrategia de restauración. Cuando el pasto está bajo, se hace directamente el coronamiento (si es necesario) o se aplica herbicida (20-30 días después del corte del pasto).²

Si bien la utilización de herbicidas, parecería efectiva para erradicar los pastos invasivos, hay que considerar el impacto de los químicos que contienen en la salud del ecosistema (suelo, agua y biodiversidad) y, por tanto, el retroceso en el proceso de restauración del ecosistema. Son innumerables los estudios que comprueban los impactos del glifosato en el ambiente y en

Área cubierta de pasto miel (*Setaria sphacelata*) antes del establecimiento de prácticas de restauración, El Porvenir, Nanegalito.

² La acción del herbicida es más efectiva cuando la planta está en crecimiento activo, ya que el componente químico circula mejor en el sistema vascular hasta llegar a las raíces y causar mortalidad.

la salud humana. Muchos se presentan en el informe de Greenpeace en el que se justifica por qué el mundo debería dejar de usar este agroquímico (Riley *et al.* 2011). Se ha identificado varias interacciones negativas entre el glifosato y los organismos del suelo, que afectan el desarrollo y funcionamiento de las plantas; por ejemplo: la reducción del crecimiento de las plantas (Kuklinsky-Sobral *et al.* 2005, Zobiole *et al.* 2010), la reducción de la capacidad de asociación simbiótica con organismos fijadores de nitrógeno (Kremer y Means 2009), la vulnerabilidad a plagas y enfermedades del suelo (Powell y Swanton 2008, Johal y Huber 2009, Kremer y Means 2009), efectos adversos en las comunidades de lombrices (Springett y Gray 1992, Yasmin y D'Souza 2007), entre otras consecuencias. En ninguna circunstancia, se justifica utilizar herbicidas en áreas cercanas a fuentes de agua o de producción de alimentos. Si en el área existen plantas de la regeneración natural de interés, se debe realizar una limpieza alrededor de estas plantas antes del manejo de los pastos (sea manual o químico), para evitar la mortalidad accidental de las plantas de interés.



Por otro lado, en el caso de especies arbustivas, dependiendo del tipo de arbusto y de su capacidad de rebrote, se trabaja con podas en hileras, retirando o no las raíces del arbusto. Asimismo, según la densidad y el tipo de arbustos, se puede realizar el anillado del tronco, práctica que consiste en retirar la corteza y el cámbium alrededor de toda la circunferencia del tronco (como anillo). Esta técnica funciona siempre, cuando la especie no puede rebrotar abajo del corte.

5.1.2. Demarcación de la plantación

Consiste en marcar las líneas de siembra y las distancias entre plantas en el campo. Es recomendable que las líneas sigan las curvas de nivel de manera perpendicular a la pendiente, para reducir los efectos de erosión del suelo. Si la inclinación del área es superior a 45° y las condiciones de recursos y diseño son las adecuadas, se podría establecer terrazas que reducirían aún más los efectos negativos de la erosión y crearían zonas de captación y acumulación de materia orgánica. Se pueden utilizar la técnica de línea clave para la organización del diseño de restauración en campo, para más información sobre esta técnica se recomienda consultar www.lineaclave.org/web.

5.1.3. Realización de coronas

Luego de la preparación de la cobertura general del área y la delimitación de las líneas de siembra, se recomienda realizar el coronamiento del área de siembra, que consiste en retirar cualquier vegetación que exista en un radio mínimo de 50 cm alrededor de la planta que será sembrada o de la regeneración natural, para evitar la competencia por agua, luz y nutrientes. El coronamiento también marca el punto de siembra de las plantas en el campo, orientando el diseño correctamente.

5.1.4. Protección del área

Si existe alguna amenaza que pueda dañar o afectar el proceso de restauración, es importante tratar de controlarla. Por ejemplo, si hay ganado cerca del área o en el área vecina, o si en verano se prende fuego en el terreno, es importante crear barreras físicas que eviten posibles daños antes del establecimiento de la estrategia de restauración.



5.2. La siembra

5.2.1. Época de siembra

Es recomendable planificar todo el proyecto o actividades de restauración con anticipación, para que la siembra o la implementación de la estrategia coincida con la llegada de las lluvias o el periodo más húmedo. Además, es importante verificar que se cuente con todos los recursos necesarios para el establecimiento (p. ej. plantas de buena calidad y del tamaño adecuado, cantidad correcta de plantas, estacas, etc.).

5.2.2. Preparación de las plantas

En la fase de preparación de las plantas en vivero, se recomienda separar las de rápido crecimiento de las de lento crecimiento, para facilitar el transporte y reducir la creación de sombra entre especies con diferentes requerimientos. También, es importante que las especies de rápido crecimiento tengan suficiente espacio entre ellas para que se desarrollen sin competir por luz; una alta densidad de estas plantas en el vivero puede causar un rápido desarrollo en altura, pero debilitar la formación del tronco y la producción de biomasa, generando plantas poco resistentes al acarreo.

Las plantas deben sufrir un cambio de luminosidad gradual antes de llegar a áreas totalmente abiertas. Esto se logra con diferentes tipos de malla sarán o por medio de la ubicación en diferentes niveles de sombra natural. Para la reproducción de plantas por raíz desnuda, es muy importante que las plantas se recolecten en horas de la mañana o al final de la tarde y en suelos con suficiente humedad, para facilitar la extracción y que las plántulas salgan con bastantes raíces.

5.2.3. Apertura de huecos (hoyado)

La forma de apertura de huecos para la siembra de plantas varía de acuerdo con el tipo de suelo, el tamaño y el tipo de planta. Generalmente, estos se hacen con azadón o cavadora, con una dimensión de 30 x 40 cm. Sin embargo, en suelos compactados, es necesario abrir huecos más grandes (45 x 60 cm) para la descompactación del suelo o para añadir algún tipo de compost o fertilizante. Para la siembra de estacas o plantas en tubetes, los huecos pueden ser menores (10 x 15 cm), dependiendo del grosor de la estaca y el tipo de suelo. En el caso de siembra con semillas, se hace huecos más pequeños, de 5 a 10 cm aproximadamente.

Durante la siembra, se debe cuidar que las raíces no sufran daños o queden expuestas en la superficie. Asimismo, si la raíz de la planta está doblada, es importante podarla o cortar los últimos 2 cm de la base de la funda para

evitar el enrollamiento de las raíces y, por tanto, un desarrollo inadecuado en campo (Curry y Carvalho 2011). Se recomienda que la base de la planta (es decir, donde empieza el tallo) quede por debajo del nivel del suelo, en forma convexa, para permitir la acumulación de agua cerca de la planta. También, siempre que sea posible, es bueno mantener el área de la corona con cobertura muerta u hojarasca para reducir la pérdida del agua del suelo por evaporación, así como el crecimiento espontáneo de especies competitivas cerca de la planta de interés (Figura 23).



Figura 23. Plántula sembrada con protección de cobertura muerta.

5.3. Logística de campo

En el proceso de establecimiento de un área de restauración, la logística para desarrollar el trabajo influye significativamente en los resultados finales del proyecto. El acceso (distancia y situación de la vía) al área de restauración se relaciona en gran medida con los costos de establecimiento, la mano de obra para el acarreo de insumos y el flete. Estos valores deben ser estimados adecuadamente en la fase de planificación del trabajo.

La utilización de plantas grandes (1 metro de altura aproximadamente) es una buena estrategia para la rápida ocupación de pasturas; sin embargo, el transporte de plantas grandes demanda mayor cuidado, pues el viento puede dañarlas durante el acarreo, lo que afecta directamente la estrategia de recubrimiento rápido del suelo.

Para el transporte de las plantas, es recomendable separar los individuos de los diferentes grupos sucesionales y/o funcionales en cajas distintas. La clasificación previa en vivero permite reducir errores de siembra de las especies de acuerdo con el diseño definido. Se sugiere que, primero, se realice la siembra escalonada de las especies de rápido crecimiento y, luego, de los demás grupos (dejando los huecos abiertos), ya que esto facilita la ubicación de plantas en el campo para los trabajadores.

La dificultad de acceso a un área de restauración influye significativamente en los costos y organización de la logística en campo.

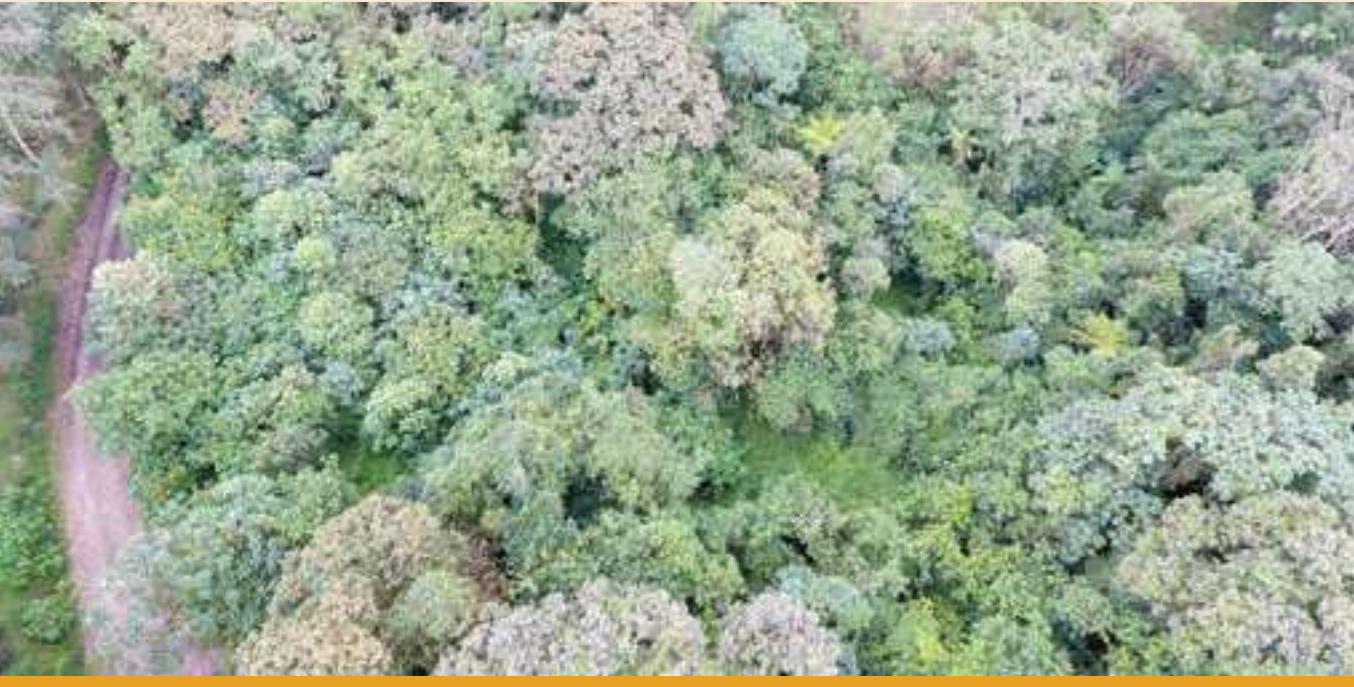


5.4. Recomendaciones para ensayos de restauración

Es frecuente la implementación de ensayos de restauración en áreas pequeñas, para evaluar el efecto de diferentes prácticas en campo, antes de realizar la restauración a escalas más amplias. No obstante, cuando el área tiene un enfoque de investigación, se recomienda:

Separar las plantas antes de empezar la siembra o realizar un conteo de individuos por grupo sucesional o especie, para garantizar que el número y la calidad de plantas requeridas para cada tratamiento sea el adecuado.

Capacitar previamente a los trabajadores o beneficiarios involucrados sobre la estrategia de restauración, el diseño del área y la metodología empleada. El empoderamiento de los actores que intervienen no solo reduce errores en el establecimiento de las áreas, sino que también fortalece la sostenibilidad del mantenimiento y monitoreo.



Vista aérea de restauración asistida con 3 años de desarrollo, Reserva Intillacta, Nanegalito.



6. Glosario

Agroecosistema: ecosistema alterado por el hombre para el desarrollo de una explotación agropecuaria.

Autorregulación: consiste en un conjunto de mecanismos (relaciones, interacciones, retroalimentaciones, selección natural y otros fenómenos ecológicos), que mantienen al ecosistema estable, en un equilibrio dinámico.

Barreras para la regeneración natural: factores que impiden o limitan el desarrollo de la regeneración natural (germinación de semillas, crecimiento y permanencia de plantas) en áreas alteradas por disturbios.

Barreras vivas: especies de plantas que se establecen entre los cultivos de forma perpendicular a la pendiente, ya sea en curvas de nivel o en hileras, cuya función es reducir la velocidad de escorrentía, provocar la sedimentación y la infiltración y, así, disminuir la degradación del suelo y prolongar el uso de la tierra.

Biomasa: cantidad total de materia viva acumulada en un individuo, un nivel trófico, una población o un ecosistema, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

Disturbio: evento destructivo de origen natural o antrópico, que rompe la estructura y la función de un sistema, cambiando la disponibilidad de recursos y las condiciones microclimáticas en el espacio y el tiempo.

Edáfico: que pertenece o es influenciado por el suelo.

Escorrentía: referencia a la lámina de agua que circula libremente sobre la superficie de un terreno, causando erosión. Suele ser particularmente dañina en suelos poco permeables, como los arcillosos, y en zonas con una cubierta vegetal escasa.

Especie invasiva: especie que no es propia del ecosistema de origen y que se desarrolla con altas tasas de crecimiento, reproducción y dispersión. Su introducción amenaza el ecosistema, hábitat o a las especies locales, generando impactos ambientales, económicos y socioculturales negativos.

Propágulo: cualquier unidad reproductiva que origine un nuevo individuo (fruto, semilla, espora, estaca, bulbo).

Plantas nodrizas: especies con capacidad de establecerse en condiciones físicas, biológicas y climáticas adversas, que generan las condiciones de sombra, humedad y materia orgánica necesarias para el establecimiento adecuado de otras plantas, dándoles así protección.

Perenne: especie de planta que vive por más de dos años.





Régimen de disturbio: patrones espacio temporales y de magnitud de un disturbio o de un conjunto de disturbios que han ocurrido históricamente en un sistema biológico; se refiere a las características de todos los disturbios que afectan un sistema.

Resiliencia: capacidad de un ecosistema que se ha visto alterado, de recuperar sus atributos estructurales y funcionales, volviendo a su punto de equilibrio. Mientras más corto sea el tiempo de recuperación, más resiliente es el ecosistema.

Resistencia: capacidad de un ecosistema de soportar un disturbio sin verse alterado, permaneciendo en su estado de equilibrio.

Trampas de sedimentos: sitios de acumulación del suelo y materia orgánica lavados por las lluvias.

7. Literatura citada

Aguilar-Garavito, M. y W. Ramírez. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

Aide, M., J. Zimmerman, J. Pascarella, L. Rivera, y H. Marcano-Vega. 2000. Forest Regeneration in a Chronosequence of Tropical Abandoned Pastures: Implications for Restoration Ecology. *Restoration Ecology* 8: 328-338.

Barrera-Cataño, J. I., S. M. Contreras, N. V. Garzón y A. C. Moreno. 2010. Manual para la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados del Distrito Capital. Pontificia Univ. Javeriana.

Bechara, F., E. Campos Filho, K. Barreto, V. Araújo, A. Antunes y A. Reis. 2007. Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras de Biodiversidade. *Revista Brasileira de Biociências* 5: 9-11.

Begon, M., J. Harper y C. Townsend. 1999. Ecología: individuos, poblaciones, y comunidades. Omega. Barcelona, España.

Begon, M., C. R. Townsend y J. L. Harper. 2006. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4ta Edición. Blackwell Publishing, Reino Unido.

Botero, R. y R. Russo. 2016. Sistemas silvo-pastoriles en Mesoamérica para la restauración de áreas degradadas. Page 434 *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. UICN, San José, Costa Rica.

Callaway, R. M., R. W. Brooker, P. Choler, Z. Kikvidze, C. J. Lortie, R. Michalet, L. Paolini, F. I. Pugnaire, B. Newingham, E. T. Aschehoug, C. Armas, D. Kikodze y B. J. Cook. 2002. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417: 844.

Castro, D. 2012. Práticas para restauração da mata ciliar. Catarse – Coletivo de Comunicação.

Chave, J. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology letters* v. 12:351–366.

Corbin, J. D. y K. D. Holl. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265: 37-46.

Curry, R. y O. Carvalho. 2011. Manual para a restauração florestal, florestas de transição. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Belém.

Guariguata, M. R. y R. Ostertag. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* 148: 185-206.

Holl, K. D. y T. M. Aide. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management* 261: 1558-1563.

Holling, C. S. 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. Annual Review of Ecology and Systematics 4: 1-23.

IAFN - RIFA. 2018. Forestería Análoga: Una guía práctica.

Johal, G. S. y D. M. Huber. 2009. Glyphosate effects on diseases of plants. European Journal of Agronomy 31: 144-152.

Kremer, R. J. y N. E. Means. 2009. Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. European Journal of Agronomy 31: 153-161.

Kuklinsky-Sobral, J., W. L. Araújo, R. Mendes, A. A. Pizzirani-Kleiner y J. L. Azevedo. 2005. Isolation and characterization of endophytic bacteria from soybean (*Glycine max*) grown in soil treated with glyphosate herbicide. Plant and Soil 273: 91-99.

López, A., R. Espinosa, G. Lentijo y J. Botero. 2012. Herramientas de manejo del Paisaje para la conservación de la biodiversidad. Cenicafe.

McDonald, T., G. Gann, J. Jonson y K. Dixon. 2016. International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration.

Meli, P. y V. Carrasco Carballido. 2011. Restauración ecológica de riberas. Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en

arroyos de la Selva Lacandona. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Tlalpan, México, D.F.

MINAGRE. 2014. Zanjas de infiltración. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima, Perú.

Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. Segunda edición.

PACTO. 2009. Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. LERF/ESALQ.

Powell, J. R. y C. J. Swanton. 2008. A critique of studies evaluating glyphosate effects on diseases associated with *Fusarium* spp. Weed Research 48: 307-318.

Prager, M., O. Sanclemente, M. Sánchez, J. Miller e I. Angel. 2012. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. Agroecología 7: 53-62.

Riley, P., J. Cotter, M. Contiero y M. Watts. 2011. Tolerancia a herbicidas y cultivos transgénicos: por qué el mundo debería estar preparado para abandonar el glifosato. GreenPeace.

SAGRAPA. 2018. Abonos verdes. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Sanchún, A., R. Botero, A. Morera, G. Obando, R. Russo, C. Scholz y M. Spinola. 2016. Res-

tauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas. UICN, San José, Costa Rica.

São Paulo - Estado. 2011. Restauração Ecológica: Sistemas de nucleação. Page (D. Kuntschik, M. Eduarte, and R. Armelin, Eds.). Primeira edição. Secretaria do Meio Ambiente., São Paulo, Brasil.

Senanayake, R. 2001. Manual práctico de Forestería Análoga. Fundación Rescate del Bosque Tropical, Quito, Ecuador.

Springett, J. A. y R. A. J. Gray. 1992. Effect of repeated low doses of biocides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* in laboratory culture. Soil Biology and Biochemistry 24: 1739-1744.

Van Andel, J. y J. Aronson J. Editores. 2012. Restoration Ecology. The New Frontier. Wiley-Blackwell, Oxford, Reino Unido.

Vargas, O., Editor. 2007. Guía Metodológica para la restauración Ecológica del Bosque Alto Andino. Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Yasmin, S. y D. D'Souza. 2007. Effect of Pesticides on the Reproductive Output of Eisenia fetida. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 79: 529-532.

Young, A. 1987. Soil productivity, soil conservation and land evaluation. Agroforestry Systems 5: 277-291.

Zobole, L. H. S., R. J. Kremer, R. S. Oliveira y J. Constantin. 2010. Glyphosate affects micro-organisms in rhizospheres of glyphosate-resistant soybeans. Journal of Applied Microbiology 110: 118-127.

Índice de Figuras

Figura 1. Flujo de procesos de planificación de áreas de restauración.	13
Figura 2. Desarrollo de la sucesión ecológica secundaria en bosques montanos.	16
Figura 3. Área abandonada que presenta alto potencial de regeneración natural especialmente debido a las condiciones del paisaje.	19
Figura 4. Estrategias de restauración vinculadas al régimen de disturbio y a la capacidad de resiliencia del ecosistema.	21
Figura 5. Flujo de procesos para guiar la definición de la estrategia adecuada para la restauración con fines de conservación.	23
Figura 6. Flujo de procesos para una toma de decisión enfocada en la restauración de áreas de uso productivo.	26
Figura 7. Ejemplo de conducción de la regeneración natural.	35
Figura 8. Atado de estacas de <i>Tithonia diversifolia</i> para facilitar el acarreo al campo y detalle del corte en bisel de una de las extremidades para mejorar el enraizamiento.	39
Figura 9. Ejemplo de diseños de la práctica de siembra de plantas arbustivas y arbóreas por disposición de las plantas en el campo.	41
Figura 10. Ejemplos de diseños de nucleación para estrategia de restauración asistida.	45
Figura 11. Paso a paso para la práctica de translocación de suelo.	46
Figura 12. Ejemplos de perchas para atracción de animales dispersores de semillas.	49
Figura 13. Construcción de zanjas de infiltración con maquinaria agrícola.	50
Figura 14. Diversificación de sistema agroforestal en estadio inicial, con elevada producción de biomasa para poda in situ.	52

Figura 15. Biomasa originada por la poda de <i>Gliricidia sepium</i> .	55
Figura 16. Poda de <i>Tithonia diversifolia</i> para recuperación de suelos degradados, Nanegalito, Ecuador.	55
Figura 17. Establecimiento de cerca viva con especies maderables, Nanegal, Ecuador.	56
Figura 18. Árboles de alisos (<i>Alnus nepalensis</i>) dispersos en el potrero de <i>Setaria sphacelata</i> , Nanegalito, Ecuador.	57
Figura 19. Establecimiento de árboles dispersos en el potrero.	58
Figura 20. Diseño de práctica de siembra en bloque con enfoque sucesional adensado bajo estrategia de restauración asistida en pasturas de Nanegalito, Ecuador.	60
Figura 21. Diseños de restauración según la estrategia de sistemas agroforestales multiestratificados.	61
Figura 22. Descripción detallada de la metodología de siembra de madera escalonada, con distinción de tiempos de cosecha y resiembra.	65
Figura 23. Plántula sembrada con protección de cobertura muerta.	72

Índice de Tablas

Tabla 1. Extensión y superficie que cubren los bosques montanos en los países de la región andina (2009).	5
Tabla 2. Estrategias de restauración recomendadas para los usos de protección y conservación de ecosistemas.	14
Tabla 3. Principales características de los grupos sucesionales de acuerdo con su rol en el proceso de sucesión ecológica secundaria.	17
Tabla 4. Definición de estrategias de restauración para promover la producción sostenible.	25

Tabla 5. Relación entre enfoques, usos y estrategias de restauración.	28
Tabla 6. Matriz de causa y efecto que vincula los problemas de degradación con prácticas de restauración asistida para el uso de conservación.	30
Tabla 7. Matriz de causa y efecto que vincula los problemas de degradación con prácticas para promover la restauración de pasturas degradadas con sistemas agroforestales.	31
Tabla 8. Clave de apoyo para la selección de prácticas de restauración.	33
Tabla 9. Categoría de especies de árboles para combinar en una plantación forestal escalonada.	62

Índice de Cajas

Caja 1. La sucesión ecológica	15
Caja 2. Otras herramientas que apoyan a la selección de prácticas de restauración	32



CONDESAN
Centro de Desarrollo Sustentable



Fundación
IMAYMANA

ECOANDES



Con el apoyo de:

MINISTERIO DEL AMBIENTE



PERÚ Ministerio del Ambiente

ONU @
medio ambiente
organización de las naciones unidas para el desarrollo sostenible



Ministerio de Ambiente
Gobierno Regional
Comunidad
Proyecto Bosques Andinos



HELVETAS
Sociedad Suiza para el Desarrollo