



## GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES MONTAÑOS TROPICALES

# MÓDULO 4

## PRACTICANDO LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: EL MONITOREO Y MANTENIMIENTO DE ÁREAS

Andrea Terán-Valdez, Nina Duarte, Francisco Cuesta, Esteban Pinto



## GUÍA PARA LA RESTAURACIÓN DE BOSQUES MONTAÑOS TROPICALES

### MÓDULO 4

#### PRACTICANDO LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA: EL MONITOREO Y MANTENIMIENTO DE ÁREAS

@CONDESAN. 2018

ISBN: 978-9942-8662-7-1

##### Autores del módulo:

Andrea Terán-Valdez<sup>1</sup>, Nina Duarte<sup>2</sup>, Francisco Cuesta<sup>1</sup>, Esteban Pinto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CONDESAN, <sup>2</sup>Fundación Imanyama

##### Editores generales de la guía:

Rossana Proaño<sup>1</sup>, Nina Duarte<sup>2</sup>, Francisco Cuesta<sup>1</sup>, Gabriela Maldonado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CONDESAN, <sup>2</sup>Fundación Imanyama

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

Manthra Comunicación

##### Fotografías:

Andrea Terán, Esteban Pinto, Nina Duarte, Ricardo Jaramillo.

##### Citar este documento de la siguiente forma:

Terán-Valdez, A., Duarte, N., Cuesta, F., Pinto, E. 2018. Practicando la restauración ecológica: el monitoreo y mantenimiento de áreas. En: Proaño, R.; Duarte, N.; Cuesta, F.; Maldonado, G. (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](http://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](http://www.bosquesandinos.org)). Para la implementación de actividades de ambos proyectos en el noroccidente de Pichincha -Ecuador, CONDESAN estableció un asocio con la Fundación Imanyama.



Con el apoyo de:

MINISTERIO DEL AMBIENTE



# Índice

## PRESENTACIÓN

### 1. Qué es el monitoreo y cuál es su importancia

### 2. Cómo llevar a cabo el monitoreo de un proyecto de restauración

#### 2.1. Establecer objetivos del monitoreo

#### 2.2. Establecer la duración del monitoreo

#### 2.3. Definir indicadores

##### 2.3.1. Criterios para seleccionar indicadores

#### 2.4. Definir metas: ecosistema de referencia

#### 2.5. Desarrollar un diseño de muestreo

##### 2.5.1. Registro fotográfico

##### 2.5.2. Unidades de muestreo ¿Cómo se mide?

##### 2.5.3. Tamaño de muestra ¿Cuántos transectos debemos instalar?

#### 2.6. Recolección de datos en campo

#### 2.7. Analizar e interpretar los datos recolectados en campo

#### 2.8. Evaluación general de resultados

#### 2.9. Descripción de indicadores

### 3. Actividades de mantenimiento de áreas intervenidas

5

12

13

14

14

16

18

21

23

24

24

26

26

35

39

40

42

60

3.1. Erradicación de especies invasivas	61
3.2. Abonado	63
3.3. Corte selectivo de especies - raleo y podas	65
<b>3.3.1. RALEO</b>	65
<b>3.3.2. PODAS</b>	67
3.4. Replante de individuos	69
<b>4. Glosario</b>	71
<b>5. Referencias bibliográficas</b>	75

# PRESENTACIÓN

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

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.

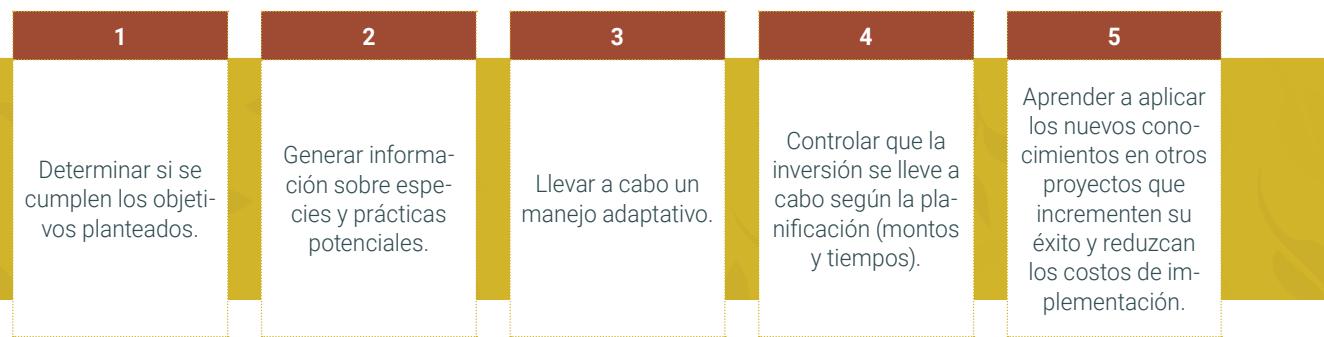
## Resumen del módulo

En este módulo se destaca, por un lado, al monitoreo como una actividad imprescindible que debe formar parte de la planificación inicial de todo proyecto de restauración, para lo cual se provee una metodología de monitoreo simplificada, con respecto a la propuesta realizada por Duarte *et al.* (2007). Se espera que esta sea aplicada por el personal técnico involucrado en procesos de restauración a escala local. Por otro lado, se resalta la importancia del mantenimiento de áreas intervenidas bajo diferentes prácticas de restauración, con el fin de favorecer el establecimiento y supervivencia de las plantas sembradas, y para acelerar el proceso de restauración mediante el manejo de barreras de la regeneración natural.

Asimismo, se proporciona una guía técnica para realizar mantenimiento en áreas bajo procesos de restauración considerando algunos escenarios de degradación comunes en el noroccidente de Pichincha, Ecuador, pero que también se observan en otras zonas de los paisajes andinos. Finalmente, se conjuga en una visión integral al monitoreo y al mantenimiento de áreas intervenidas, en el marco del manejo adaptativo de la restauración. Así, a través del monitoreo, se define si existe la necesidad de implementar medidas correctivas en la intervención realizada, en cuyo caso estas se aplicarían junto con las actividades de mantenimiento.

## 1. Qué es el monitoreo y cuál es su importancia

El monitoreo consiste en la toma repetida de datos de una misma **variable** o **índicador** para establecer si hay cambios o tendencias al cambio (Block *et al.* 2001), como consecuencia de las actividades de restauración implementadas. Debe planificarse desde el inicio de un proyecto de restauración, pues a través de esta herramienta se puede saber si la intervención es exitosa o no. Además, provee varios elementos para la toma de decisiones ya que permite (Murcia *et al.* 2015):



Un programa de monitoreo bien diseñado es una herramienta fundamental para lograr la restauración de un área degradada.

Un programa de monitoreo bien diseñado es una herramienta fundamental para lograr la restauración de un área degradada, pues permite la adaptación del proyecto a cambios observados en el ecosistema a lo largo del tiempo de implementación, lo que posibilita alcanzar de forma más eficaz los objetivos planteados (Vargas 2007). Este módulo provee las herramientas para diseñar y llevar a cabo un monitoreo que facilite implementar este tipo de manejo, conocido como “manejo adaptativo” de los proyectos o actividades de restauración. Por este motivo, se sugiere una metodología de muestreo e indicadores que contribuyen a conocer si la trayectoria de restauración que sigue el área es la adecuada o no<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Si también se desea obtener información más detallada sobre los **procesos ecológicos** o **atributos ecosistémicos** que se recuperan con las actividades de restauración, se sugiere el uso del *Protocolo de Monitoreo de Áreas de Restauración Ecológica en los Bosques Montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador* (Duarte *et al.* 2017).

## 2. Cómo llevar a cabo el monitoreo de un proyecto de restauración

Se propone nueve pasos para realizar el monitoreo de un proyecto de restauración (Block *et al.* 2001):





## 2.1. Establecer objetivos del monitoreo

Este paso permite determinar de manera clara y concreta qué es lo que se quiere alcanzar a través del monitoreo. Se debe plantear objetivos realistas, cuyo cumplimiento sea posible. Los objetivos del monitoreo están relacionados con los objetivos del proyecto de restauración, pero apuntan a aspectos más específicos, de acuerdo con los parámetros/variables que se mida. Por ejemplo, en un área altamente degradada por presencia de pasto para ganado, el objetivo del proyecto de restauración sería “recuperar la vegetación nativa del área”. De esta manera, el objetivo de monitoreo consistiría en “determinar la riqueza de especies vegetales del área de intervención al inicio de las acciones de restauración y medir su variación a lo largo del tiempo”.

## 2.2. Establecer la duración del monitoreo

El monitoreo se debe planificar a mediano y largo plazo (si existen los recursos), porque los procesos de restauración suelen ser lentos y observar cambios o tendencias de cambio requiere la periodicidad de las mediciones. Además, hay algunos elementos del ecosistema (p. ej. el suelo) que

cambian muy lentamente, por lo que detectar respuestas a las prácticas de restauración requiere por lo menos dos años. Por otro lado, el tiempo que tome la recuperación de ciertos atributos depende del nivel de degradación del que se parta y de las estrategias y prácticas implementadas. Dada la incertidumbre sobre las respuestas de los ecosistemas a las prácticas de restauración, es difícil definir con certeza por cuánto tiempo el monitoreo será necesario.

Siguiendo con el ejemplo del apartado anterior, se esperaría observar cambios en la diversidad de flora a partir de los primeros meses de intervención; sin embargo, para que el monitoreo evidencie el cumplimiento del objetivo de las prácticas (recuperar la cobertura vegetal nativa), pasarán muchos años. Generalmente, la duración de un proyecto es de dos o tres años y, difícilmente, el monitoreo se puede extender a un plazo mayor. En el marco de un manejo adaptativo, sería ideal realizarlo hasta cumplir alguno de los siguientes puntos:

1

Para las estrategias de regeneración natural pasiva y manejada, y de restauración asistida (Tabla 2), se realizará hasta que se haya eliminado las barreras de la regeneración natural y el proceso de sucesión de la vegetación haya empezado. Esto ocurre cuando el ecosistema ya no necesita la intervención humana para continuar su desarrollo; es decir, ya no son necesarias actividades de mantenimiento, como control de especies invasivas, podas, replante de individuos, entre otras (ver Capítulo 4). Además, este hecho se evidencia cuando hay un incremento continuo de la riqueza y abundancia de especies leñosas nativas, y hay especies secundarias tempranas y tardías (ver Módulo 3, Capítulo 3.3).

2

Para las estrategias relacionadas con la producción sostenible, como agroforestería, silvopasturas, forestería análoga y plantaciones forestales sucesionales (Tabla 2), el monitoreo se realiza hasta que se cumpla el objetivo propuesto, si este es concreto (p. ej. obtener cierto tipo de cobertura arbórea). Si no, el monitoreo debe realizarse hasta que se observe una tendencia de cambio de los indicadores hacia la dirección esperada (p. ej. recuperar la fertilidad o estructura del suelo). También se puede definir el plazo del monitoreo hasta que los árboles sembrados estén establecidos y la probabilidad de mortalidad sea baja.

**Tabla 2.** Enfoques abordados en la guía de restauración

Enfoque	Uso destinado	Estrategias
Restaurar ecosistemas naturales	Conservación	Regeneración natural pasiva
		Regeneración natural manejada
		Restauración asistida
Recuperar servicios ecosistémicos puntuales	Protección	Restauración asistida
		Sistemas agroforestales
	Producción sostenible	Sistemas silvopastoriles
		Forestería análoga
		Plantaciones forestales sucesionales

Nota: Para más detalle sobre los enfoques, usos y estrategias, revisar los módulos 1 y 2.

### 2.3. Definir indicadores

Los indicadores son los parámetros cuantificables que determinan si se cumplen los objetivos de la restauración. Estos deben estar directamente vinculados a los objetivos del monitoreo y deben cumplir con ciertas características (Murcia *et al.* 2015):

- Ser sensibles para detectar cambios.
- Brindar información continua durante todo el proceso de restauración y monitoreo.
- No redundar en los indicadores o variables usadas.
- Ser fáciles de medir y no muy costosos en su medición y análisis.
- Tener **relevancia biofísica** y social.

A continuación, se presenta algunos indicadores ambientales (vegetación, suelo y agua) y socioeconómicos (costos y beneficios sociales y económicos), que dan información sobre el impacto de las actividades de restauración sobre el área intervenida. Existe una gran cantidad de indicadores aplicables en un proyecto de restauración; sin embargo, se ha priorizado 12 indicadores de acuerdo con la facilidad para medir las variables que permiten su cálculo y la información que proveen sobre el proceso de restauración, la cual es útil para la toma de decisiones. Estos se agrupan en cuatro categorías: vegetación, suelos, agua, aspectos socioeconómicos.



En el Capítulo 2.9, se presenta fichas para cada indicador, en las que se encuentra la descripción de cada uno, la forma de medición, las variables relacionadas, la frecuencia de muestreo, y sugerencias para el análisis e interpretación de datos obtenidos en campo. En la Tabla 3, por otro lado, se resume las características de los indicadores priorizados, vinculándolos a las estrategias de restauración en las que son más útiles, a su grado de sensibilidad y a los costos asociados a su implementación/aplicación.

### 2.3.1. Criterios para seleccionar indicadores

Se debe seleccionar los indicadores más adecuados para cada proyecto de restauración, de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Estrategia de restauración.** De acuerdo con la estrategia, algunos indicadores son más útiles que otros, por el tipo de información que arrojan. Por ejemplo, los indicadores de suelo son muy útiles en estrategias que involucran producción sostenible (p. ej. agroforestería, silvopasturas, forestería análoga y plantaciones forestales sucesionales), en las que las características del suelo son fundamentales para una producción rentable.
- **Información requerida de acuerdo con el objetivo.** Si el objetivo del proyecto apunta a aspectos muy específicos, por ejemplo, evitar la erosión del suelo mediante la recuperación de cobertura vegetal, se priorizará el indicador de cobertura de suelo.
- **Sensibilidad del indicador.** Se refiere a la capacidad de detectar cambios en las áreas intervenidas. Está determinada por el tiempo que toma obtener información relevante y por la información que se re-



gistre en cuanto a los valores de respuesta esperados. Hay tres categorías de acuerdo con el grado de sensibilidad: alta, media y baja. Idealmente, se debe priorizar aquellos indicadores de sensibilidad alta (Tabla 3) porque brindan información robusta en el corto plazo, y se conoce con más certeza qué tipo de resultados se puede esperar en el tiempo. Sin embargo, si existen los recursos para que el monitoreo se extienda por al menos dos años, los indicadores con sensibilidad media y baja pueden ser muy valiosos para proveer información sobre el impacto de las prácticas de restauración en el tiempo.

- 1. Grado de sensibilidad alta: el indicador es capaz de evidenciar cambios como resultado de la intervención realizada en un periodo corto de tiempo (< 1 año), y su efectividad ha sido probada en investigación de campo, por lo que hay certeza acerca del funcionamiento del indicador.
- 2. Grado de sensibilidad media: el indicador detecta cambios en un plazo de tiempo mayor (entre 1 a 3 años) y su efectividad ha sido comprobada en investigación de campo.
- 3. Grado de sensibilidad baja: el tiempo de respuesta puede ser más lento (> 2 años), y únicamente se cuenta con los resultados preliminares de estudios de campo. Por eso el tipo y tiempo de respuesta todavía deben ser validados; sin embargo, se incluyen por su importancia al brindar información sobre el proceso de restauración o recuperación de servicios ecosistémicos.
- **Costos de cuantificación del indicador.** Se refiere a la cantidad de recursos económicos (costo de materiales y equipos, y/o cantidad de personal requerido) que se debe invertir para medir las variables que permiten calcular los indicadores. De acuerdo con el presupuesto disponible, generalmente se selecciona aquellos con costos bajos y medios; sin embargo, cuando se cuenta con un mayor presupuesto, se recomienda aplicar también los indicadores con costos de medición altos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Indicadores priorizados con sus respectivas variables de medición en campo

Indicador	Estrategias asociadas	Frecuencia de medición	Sensibilidad de indicador	Costos de medición
Mortalidad de especies plantadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restauración asistida</li> <li>• Agroforestería</li> <li>• Silvopasturas</li> <li>• Forestería análoga</li> <li>• Plantaciones forestales sucesionales</li> </ul>	Cada 3 meses durante el primer año. Cada 6 meses a partir del segundo año.	Alta	Bajos
Diversidad de especies arbóreas y arbustivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regeneración natural pasiva</li> <li>• Regeneración natural manejada</li> <li>• Restauración asistida</li> </ul>	Cada 6 meses	Media	Medios
Desarrollo de individuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restauración asistida</li> <li>• Agroforestería</li> <li>• Silvopasturas</li> <li>• Forestería análoga</li> <li>• Plantaciones forestales sucesionales</li> </ul>	Cada 6 meses	Alta	Medios
Número de estratos arbóreos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas las estrategias</li> </ul>	Cada 6 meses	Media	Bajos
Cobertura de suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regeneración natural pasiva</li> <li>• Regeneración natural manejada</li> <li>• Restauración asistida</li> </ul>	Cada 3 meses durante el primer año. Cada 6 meses desde el segundo año.	Alta	Bajos
Densidad aparente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agroforestería</li> <li>• Silvopasturas</li> <li>• Forestería análoga</li> <li>• Plantaciones forestales sucesionales</li> </ul>	Cada año	Baja	Altos
Fertilidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agroforestería</li> <li>• Silvopasturas</li> <li>• Forestería análoga</li> <li>• Plantaciones forestales sucesionales.</li> </ul>	Cada año	Baja	Altos
Calidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regeneración natural pasiva.</li> <li>• Restauración asistida</li> <li>• En áreas riparias o asociadas a fuentes de agua</li> </ul>	Mensual, excepto coliformes que es cada 2 meses.	Alta	Medios

	Cantidad de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regeneración natural pasiva</li> <li>• Restauración asistida</li> </ul>	Mensual	Alta	Bajos
	Costos del mantenimiento de las prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regeneración natural manejada.</li> <li>• Restauración asistida.</li> <li>• Agroforestería.</li> <li>• Silvopasturas.</li> <li>• Forestería análoga.</li> <li>• Plantaciones forestales sucesionales.</li> </ul>	Cada evento de mantenimiento	Alta	Bajos
	Beneficios económicos de la restauración	Todas las estrategias	Cada año	Medio	Bajos
	Diversificación de productos en la finca	Todas las estrategias	Cada año	Baja	Bajos

Nota: Todos los indicadores deben ser medidos en la línea base y, luego, de acuerdo con la frecuencia establecida en la tabla. Cabe recalcar que la frecuencia de medición del indicador es diferente al tiempo en que se detecta cambios. Además, se incluye la sensibilidad de los indicadores de acuerdo con el tiempo de respuesta de las variables de medición y a la información que se tiene sobre ellas. La priorización de indicadores se realiza de acuerdo con cuatro criterios: estrategia de restauración, objetivo específico del proyecto, grado de sensibilidad y costos de medición.

## 2.4. Definir metas: ecosistema de referencia

Las metas de un proyecto de restauración son los valores referenciales, tendencias (p. ej. incremento o disminución) o límites mínimos y máximos que se espera obtener de los indicadores seleccionados. Estos reflejarán cuando se ha alcanzado el objetivo del monitoreo. Sin embargo, dado que los procesos de restauración en ocasiones toman un largo tiempo, es ideal establecer metas al corto, mediano y largo plazo. Las metas a corto y mediano plazo indicarán si el ecosistema se desarrolla según lo esperado, por lo que permiten corregir acciones, de ser necesario, en el marco de un manejo adaptativo. Es probable que las metas a largo plazo sean más difíciles de medir, por el tiempo y recursos requeridos. Por tanto, es importante hacer un monitoreo, por lo menos, hasta que el ecosistema entre en un proceso autónomo de sucesión ecológica, libre de barreras, y ya no necesite la intervención humana para seguir su trayectoria (ver Capítulo 2.2).



Los valores referenciales de los indicadores se obtienen de los sitios o ecosistemas de referencia (ver Módulo 1). Los indicadores seleccionados para monitorear el proceso de restauración de un área primero deben medirse en estos sitios, de modo que se cuente con valores referenciales a partir de los que se pueda dirigir las prácticas. En dichos sitios o ecosistemas, los indicadores se miden únicamente una vez, con la misma metodología utilizada para el monitoreo del área de restauración (excepto aquellos relacionados con el agua que, por la metodología de medición, deben registrarse en diferentes épocas del año, ver Tabla 3).

Idealmente, los valores referenciales se obtienen del sitio referencial; sin embargo, en la sección de interpretación de datos de cada indicador (Capítulo 2.9), se muestra valores que también sirven de referencia para conocer el estado del área de interés, y las tendencias en los valores de los indicadores a las que se debe apuntar con las prácticas.

## 2.5. Desarrollar un diseño de muestreo

El monitoreo se realiza a través de un censo o muestreo. El primero es el estudio de todos los individuos de una **población** vegetal o animal de toda el área en restauración (p. ej. conteo de supervivencia de todas las plantas sembradas en un área). El segundo, y más común, consiste en la medición de una parte del área intervenida o de la población vegetal o animal. Aun en áreas pequeñas, es muy difícil monitorear toda el área, por lo que se trabaja a través de muestreo, a partir de cuyos resultados, se infiere sobre las características de la población o área total. Para **inferir** y **extrapolar** resultados al área total a partir de una muestra, es necesario que esta sea representativa; es decir, que incorpore todas las características de la población, de manera que los resultados sean confiables y las conclusiones no estén sesgadas.

El propósito de un muestreo es obtener la información necesaria sobre el proceso de restauración, sin tener que medir o evaluar la totalidad del área. Este aspecto es fundamental para no incrementar costos, al medir más de lo necesario, y para contar con información confiable, al no medir menos de lo necesario. Un diseño de muestreo bien elaborado permitirá evaluar si existe un cambio como resultado de las prácticas de restauración implementadas, así como detectar cuándo los cambios producidos no son consecuencia de las actividades de restauración, sino de factores externos no planificados (p. ej. eventos climáticos, cambios en las actividades agrícolas u otras presiones antrópicas en el área). De manera general, el diseño de muestreo consiste en determinar cómo se realizará (unidades de muestreo y dónde se ubicarán) y el tamaño de la muestra (cuántas se tomará).

A continuación, se presenta un método sencillo de muestreo que puede ser aplicado por un público amplio, sin necesidad de que sea un experto en Biología o ramas afines.

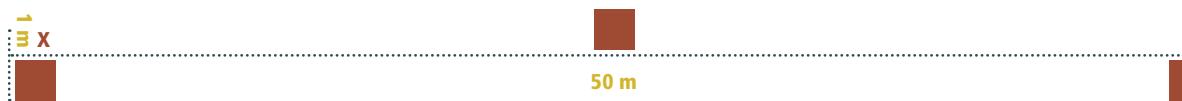
### 2.5.1. Registro fotográfico

Si bien este es un paso opcional, es útil contar con un registro fotográfico para documentar el cambio en el paisaje o la estructura del ecosistema a lo largo del tiempo. Las fotografías se deben tomar desde el mismo punto y hacia la misma dirección para compararlas en el tiempo.

### 2.5.2. Unidades de muestreo ¿Cómo se mide?

Una unidad de muestreo es el área en que se medirán las diferentes variables, específicamente las ambientales, de vegetación y suelo, porque las de agua y las socioeconómicas tienen su propia metodología (ver Capítulo 2.9). Es posible utilizar varios tipos de unidades de muestreo; sin embargo, se recomienda seguir el método de **transecto de doble banda**, porque su instalación es relativamente sencilla y rápida, y abarca más heterogeneidad ambiental debido a su extensión. Cada transecto es una unidad de muestreo.

Estos transectos consisten en líneas longitudinales en las que se mide todas las variables de los indicadores ambientales a lo largo de la línea y a una distancia preestablecida a cada lado de la misma; se recomienda realizar transectos de 50 x 2 m (1 m a cada lado) (Figura 1). Los extremos de la línea longitudinal deben ser marcados con estacas para facilitar las mediciones siguientes, durante el tiempo del monitoreo (Figura 2). Los transectos instalados en la línea base serán los mismos que se midan en los subsecuentes muestreos, hasta finalizar con el monitoreo. Cuando se monitoreen áreas silvopastoriles, los transectos deben medir 50 x 10 m para abarcar más individuos plantados, ya que en esta intervención el distanciamiento de siembra es mucho mayor que el de cualquier otra.



**Figura 1.** Transecto de doble banda de 50 x 2 m. Los tres cuadrados rojos representan los cuadrantes de 1 m<sup>2</sup>, que sirven para medir el indicador de cobertura de suelo. Las x indican los sitios de toma de muestras de suelo, para los indicadores de densidad aparente y de fertilidad del suelo. El resto de variables de vegetación se toma en todo el transecto.



**Figura 2.** Transecto instalado en un sistema silvopastoril. Se observa un tubo de PVC pintado de rojo como estaca para marcar el inicio del transecto. Foto Ricardo Jaramillo.

Se debe realizar varios transectos, que se ubican al azar dentro del área de intervención, para evitar sesgos o errores en el muestreo, que se producen, por ejemplo, al ubicar todos los transectos cerca de los caminos debido al fácil acceso o en áreas cuyas características de vegetación facilitan la medición. Esto se puede hacer antes de ir a campo, con el uso de un mapa del área: se divide el mapa en una cuadrícula y se asigna números a cada cuadrado (Figura 3). Luego, con ayuda del programa Excel, o a partir de un sorteo sencillo, se saca **números aleatorios** (correspondientes a la cantidad de transectos que se vaya a instalar) y, de esta manera, se determina los cuadrados en que se ubicarán los transectos. Posteriormente, se ubica esos puntos en campo con un GPS o gracias a referencias visuales (p. ej. distancia a ríos, quebradas, casas, caminos, etc.), en caso de no contar con herramientas geográficas digitales.

Los transectos dentro de un mismo predio deben distanciarse entre sí a mínimo 50 m, hacia cualquier dirección. Además, es recomendable que sigan la misma dirección; por ejemplo, si se instala el primer transecto en dirección norte-sur, se procura instalar todos los demás hacia la misma dirección. En ocasiones, esto no es posible debido a la geografía irregular de los terrenos. En estos casos, es posible cambiar la dirección, considerando siempre el distanciamiento entre transectos.



**Figura 3.** Ejemplo de ubicación de transectos al azar con el uso de cuadricula y números al azar. Los círculos rojos representan los cuadrantes en que se ubicará los transectos.

### 2.5.3. Tamaño de muestra ¿Cuántos transectos debemos instalar?

En este capítulo, el cálculo del tamaño de muestra aplica principalmente para los indicadores de vegetación y suelo. Los indicadores de agua (Caja 1) y socioeconómicos tienen una metodología diferente (ver Capítulo 2.9, indicadores 8 a 12). Estos no se miden en los transectos de doble banda, por lo que el cálculo de tamaño de muestra no aplica.

### Caja 1. Metodologías para medición de variables de calidad y cantidad de agua

Los procedimientos para medición de las diferentes variables son propuestos por Calles (2016).

#### 1. Medición de pH, temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales.

Las mediciones se realizan con un **equipo multiparamétrico** en el sitio del río designado para el muestreo, siguiendo estos pasos:

1. Verificar que el equipo muestre el valor del parámetro que se desea medir en la pantalla, pH, conductividad- $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o sólidos disueltos totales-ppm (Figura 4). La temperatura siempre será medida por el aparato y se mostrará en la pantalla.
2. Sumergir el equipo multiparamétrico en el agua durante tres minutos.
3. Esperar que la lectura se estabilice; es decir, cuando el número de la pantalla se mantenga en el mismo valor durante varios segundos.
4. Registrar el valor obtenido en un formulario de campo.



**Figura 4.** Pantalla del equipo multiparamétrico. El círculo rojo señala el parámetro que mide el equipo: pH,  $\mu\text{S}$  (conductividad) y ppm (sólidos disueltos totales).

## 2. Estimación de coliformes fecales y totales

Para el análisis de coliformes, se realiza una toma de muestras que luego son llevadas a un laboratorio. Para el muestreo, se utiliza un recipiente plástico esterilizado de mínimo 250 ml y es importante usar guantes de látex para no contaminar la muestra ni tener contacto con agua posiblemente contaminada; los pasos son los siguientes:

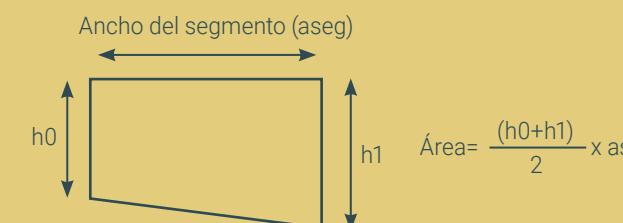
1. Introducir el recipiente tapado en un área del río o cuerpo de agua que sea homogénea y donde el flujo de agua sea constante; es decir, no se toma la muestra en lugares con corriente muy fuerte ni en áreas de agua estancada.
2. Abrir la tapa y llenar. Sin sacar el recipiente del agua, cerrarlo con la tapa. La apertura y cierre dentro del agua

- sirve para evitar posibles contaminaciones (Molina-Bolívar *et al.* 2017).
3. Guardar la muestra en un lugar refrigerado o en un *cooler*, hasta enviarla al laboratorio. El tiempo entre la toma de muestra y su análisis en laboratorio debe ser menor a 12 horas (Romeu-Álvarez *et al.* 2012).

## 3. Cantidad de agua: método del flotador

Para realizar esta medición, se sigue el procedimiento adaptado de Calles (2016) y del MINAGRI (2015)

1. Buscar una sección del río o canal recta y con un ancho relativamente uniforme.
2. Marcar una sección de 6 o 10 m dependiendo del largo de la sección del río. Si es suficientemente larga, trazar una sección de 10 m, si no, una de 6 m (Figura 5).
3. Liberar un flotador (una naranja o un frasco plástico con un poco de agua), en el inicio de la sección y, con un cronómetro, tomar el tiempo que el flotador tarda en llegar al final de la sección. Repetir tres veces y promediar los valores.
4. Medir el ancho del río en tramos iguales, cada 10 o 40 cm, de acuerdo con el ancho del río y la heterogeneidad de la profundidad (Figura 5A).
5. Medir la profundidad del río en cada tramo (Figura 5B).
6. Calcular el área de cada uno de los segmentos formados. Con las divisiones del río en tramos, y la medición de la profundidad, se generan áreas equivalentes a trapecios rectos, de los cuales se calcula el área mediante la siguiente fórmula:



7. Sumar todas las áreas de todas las secciones.

8. A partir de los datos tomados, calcular el **caudal** del río con la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal} = \frac{A \times L \times C}{T}$$

**A** = área del ancho del río, en  $\text{m}^2$ .

**L** = largo del segmento de río medido (usualmente 6 m).

**C** = factor de corrección o coeficiente de rugosidad.

0,8 para ríos de base rocosa.

0,9 para ríos sedimentados o lodosos o canales de riego sin revestimiento.

1 para canales de riego revestidos de cemento.

**T** = tiempo, en segundos, que el flotador tarda en recorrer el segmento del río.

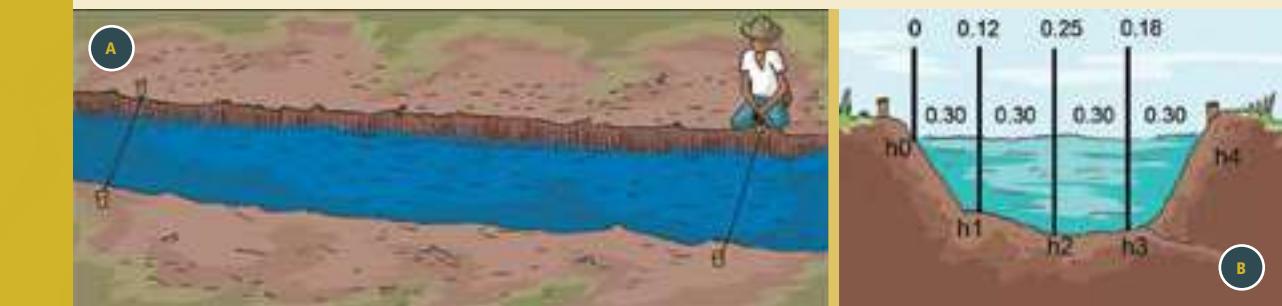


Figura 5. Sección longitudinal (A) y sección transversal (B) de un río. Adaptado de Minagri (2015).

## 4. Cantidad de agua: método volumétrico

Este método sirve para calcular el caudal de volúmenes pequeños de agua, como la de un grifo o una fuente de captación. Consiste en:

1. En un balde con capacidad mínima de 10 litros, realizar una marca visible a la altura en que el agua alcance los 10 litros.
2. Desde el grifo o la fuente de captación, llenar el balde y cronometrar el tiempo que el tarda en llegar hasta la marca.
3. Repetir el procedimiento dos o tres veces, para más exactitud.
4. Promediar los resultados.
5. Dividir el volumen de agua (10 litros) para el promedio de tiempo (segundos) obtenido.
6. Registrar el caudal en litros/segundo.

El porcentaje del área intervenida que se determine como muestra depende de su extensión total. Algunos autores sugieren el muestreo de 10% del área (Duarte *et al.* 2017); para áreas pequeñas ( $\leq 1$  ha), es posible aplicar este valor, pero en áreas más grandes no resulta práctico y es poco probable abarcar tal porcentaje. Si, por ejemplo, el área de restauración tiene una extensión de 50 ha, será muy difícil realizar el muestreo de 5 ha (equivalente a 100 transectos de 50 x 2 m), que representan 10%. Por eso, en superficies mayores a 1 ha, se debe reducir el porcentaje de muestreo hasta que los datos sean representativos. Independientemente del porcentaje de muestreo, en la planificación e instalación de transectos se debe considerar la variabilidad físico-ambiental del área intervenida, abarcando toda variación (Figura 6). Áreas con características físicas y ambientales más homogéneas, en las que no hay diferentes condiciones de pendiente, tipo de vegetación (bosque en montaña o bosque en río) ni tipo de suelo, necesitan menos muestras.



**Figura 6.** Ejemplo de un área con diferentes grados y exposición de la pendiente. Esta heterogeneidad del área debe ser tomada en cuenta al instalar los transectos. Los círculos amarillos señalan las áreas donde se recomienda la ubicación de dos transectos por sus diferencias en relación con la pendiente y cercanía a la vegetación circundante. Foto: Manuel Peralvo.

A continuación, se plantea dos métodos para estimar un tamaño de muestra representativo: el de promedio corrido y el de la curva de acumulación de especies. El primero se aplica en todos los indicadores de suelo y vegetación, excepto en el de diversidad de especies, para el que se aplica el segundo método. Esta estimación no se puede realizar antes del trabajo en campo, si no que se realiza con base en la información que se obtiene una vez iniciado el muestreo.

- **Método de promedio corrido** (Mostacedo y Fredericksen 2000). Consiste en calcular el promedio de la variable medida por cada transecto adicional instalado. Este procedimiento se realiza para todas las variables de los indicadores de suelo y vegetación que se mida en los transectos (Tabla 3). Con pocas muestras, los promedios de la variable medida serán distintos, pero mientras se añada más transectos, estos se estabilizan (Figura 7). En este punto, finaliza la instalación de transectos, porque se cuenta con un muestreo representativo.

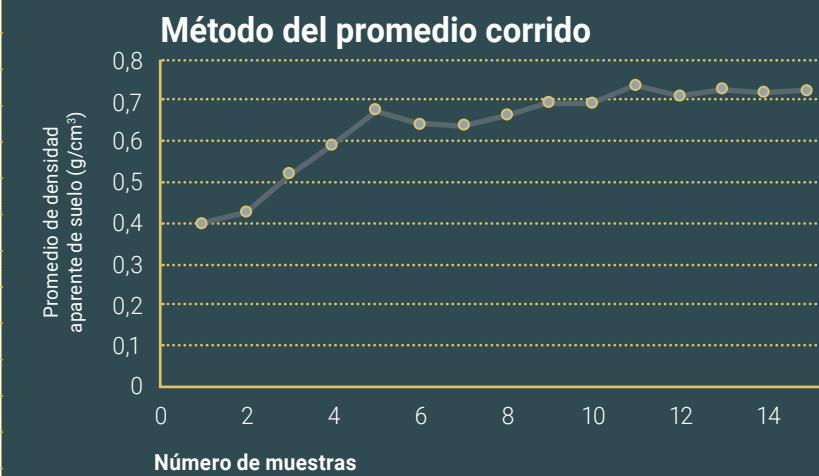
La Tabla 4 muestra los valores hipotéticos de densidad aparente del suelo, obtenidos en un área intervenida con prácticas de restauración (ver metodología para toma de muestras de suelo en la Caja 2). La columna de la derecha muestra el promedio de los valores acumulados al añadir una muestra; así, la segunda fila representa el promedio de las dos primeras filas, mientras que la tercera, el promedio de las tres primeras y así sucesivamente. A partir de los promedios obtenidos, se concluye que el número ideal de muestras a ser recolectadas es 12, cantidad en la que el promedio se estabiliza. Los datos de promedio se grafican (Figura 7) para reflejar la estabilización de la curva a partir de la muestra 12.



Si se usa más indicadores para el monitoreo, se debe aplicar este procedimiento para todas las variables de cada indicador y seleccionar el número de transectos que cubra el número de muestras suficientes para todos los indicadores. Es decir, si para el indicador de densidad aparente de suelo, se determina que son necesarios seis transectos, pero, al evaluar los valores de diámetro, se establece que el número mínimo de transectos es ocho, entonces se debe instalar los ocho. Si los recursos económicos son limitados, el número de transectos podría ser diferenciado de acuerdo con el indicador. Retomando el ejemplo anterior, se podría medir el diámetro en ocho transectos y tomar muestras de densidad aparente de suelo solo en 6. Si, por otro lado, existen recursos, es mejor medir todas las variables en todos los transectos, para facilitar el análisis de datos.

**Tabla 4.** Datos de muestras de densidad aparente de suelo

Número de muestras	Densidad aparente	Promedio
1	0,40	0,40
2	0,45	0,43
3	0,70	0,52
4	0,80	0,59
5	1,0	0,67
6	0,50	0,64
7	0,60	0,64
8	0,85	0,66
9	0,90	0,69
10	0,73	0,69
11	1,10	0,73
12	0,50	0,71
13	0,80	0,72
14	0,70	0,72
15	0,80	0,72



**Figura 7.** Método de promedio corrido. Se evidencia una estabilización del promedio al realizar 12 muestras, equivalentes a seis transectos. En este punto, el muestreo se detiene, pues se ha obtenido una muestra representativa.

## Caja 2. Metodología para muestreo de suelo, densidad aparente y análisis químico

El cálculo de densidad aparente se realiza siguiendo el método del cilindro de volumen conocido. Por otro lado, las muestras para realizar el análisis químico y de materia orgánica se toman con un barreno cilíndrico tipo Riverside, una pala o una cavadora, dependiendo de la disponibilidad de recursos.

A pesar de que son dos técnicas diferentes, comparten algunos pasos que se describe continuación:

1. Retirar toda la hojarasca y capa de raíces hasta que la superficie quede limpia.
2. Para el análisis de densidad aparente: introducir el cilindro, de 50 a 80 mm de diámetro, aplicando presión (en suelos suaves). Cuando el suelo es duro, es necesario utilizar un combo de goma. Colocar una tabla de madera sobre el cilindro y golpearla suavemente hasta que el cilindro entre completamente y su interior quede totalmente lleno de suelo. Se debe tener cuidado de no compactar la muestra cuando se introduzca el cilindro, ya que la intención es obtener una muestra de suelo inalterado.  
Retirar el suelo que rodea al cilindro y excavar hasta sacarlo, evitando derramar el contenido. Una vez que se ha extraído el cilindro, retirar los excedentes de suelo que sobresalen por los bordes (hacerlo cuidadosamente, con una navaja bien afilada, para no retirar más de lo necesario).  
Para el análisis químico: introducir el barreno y girar hasta que entre 20 cm en el suelo. Si se trabaja con una pala o cavadora, tomar una muestra de suelo de 20 cm de profundidad por 15 cm de lado, procurando formar un cilindro cúbico.
3. El cilindro para la estimación de densidad aparente se debe envolver con papel film para protegerla y mantener el suelo en su interior.
4. El suelo obtenido con el barreno se coloca en una funda hermética. Un combo de goma es útil para sacar la muestra de suelo del interior del barreno.
5. Etiquetar con la fecha de toma de muestra, nombre del área, número de transecto y número de muestra dentro del transecto.
6. Conservar la muestra en un ambiente fresco y llevarla al laboratorio lo más pronto posible. Es importante evitar la caída de las muestras al piso o manipularlas de manera que las deformen o alteren.

- **Curva de acumulación de especies** (Mostacedo y Fredericksen 2000, McCune y Grace 2002). Como ya se mencionó, este método se aplica para el indicador de diversidad de especies arbóreas y arbustivas. Consiste en graficar el número de especies que se van encontrando en los transectos, de forma acumulada. Cuando la curva se estabiliza y se mantiene horizontal significa que el tamaño de muestra es el requerido y que la probabilidad de encontrar nuevas especies en los siguientes transectos es baja.

En la Tabla 5, se muestra el número de especies registradas y acumuladas a medida que se incrementan los transectos. Las especies acumuladas quiere decir que en la fila 2, el número de especies (30) son las especies encontradas en los transectos 1 y 2. La tercera fila contiene las especies encontradas en los tres transectos ( $300\text{ m}^2$ ) muestreados. Estos datos se representan en un gráfico (Figura 8) para evidenciar la estabilización de la curva de especies. Según el ejemplo, la curva se estabiliza a partir de los  $900\text{ m}^2$ ; es decir que, si se instala transectos de  $50 \times 2\text{ m}$ , la muestra representativa se obtiene con nueve transectos.

**Tabla 5.** Datos de número de especies acumuladas a medida que aumentan los transectos

Número de transecto	Área ( $\text{m}^2$ )	Especies acumuladas
1	100	21
2	200	30
3	300	43
4	400	48
5	500	52
6	600	55
7	700	59
8	800	60
9	900	61
0	1 000	61
11	1 100	61
12	1 200	61

**Método del promedio corrido**

Especies acumuladas

Área muestreada ( $\text{m}^2$ )

**Figura 8.** Ejemplo de curva de acumulación de especies. La estabilización de la curva indica el área necesaria para alcanzar una muestra representativa.



## 2.6. Recolección de datos en campo

Todo monitoreo comienza con un levantamiento de línea base, que representa la primera medición de todos los indicadores que se seleccionen (ver Capítulo 2.9). Esta medición se realiza junto con la implementación de las prácticas de restauración (p. ej. siembra de plantas o cercado). Es muy importante porque es la referencia del punto de partida del ecosistema y permite observar cómo este va cambiando gracias a las prácticas implementadas. Las mediciones siguientes, llamadas “recensos”, se realizarán de acuerdo con la frecuencia de medición de los indicadores seleccionados (mensuales, trimestrales, semestrales o anuales).

Se recomienda que personas capacitadas para este propósito realicen la toma de datos en campo y que sean las mismas las que realicen todas las mediciones a lo largo del tiempo. De esta manera, se evita, en la medida de lo posible, errores en el muestreo por falta de capacitación, experiencia o por subjetividad en la interpretación de algunos datos. Además, es importante asegurar que se siga las mismas técnicas de medición en todos los recensos (cajas 1 y 3).



**Figura 9.** Medición del diámetro de una plántula en cruz (frontal y lateral)  
Fotos: Nina Duarte

### Caja 3. Medición de diámetro y altura de plantas

La manera de medir el diámetro y la altura depende del tamaño del individuo.

#### DIÁMETRO:

##### Medición de individuos pequeños con un diámetro a la altura del pecho (DAP) < 2,5 cm:

La medición se realiza en cruz (frontal y lateral) con un calímetro, a 10 cm sobre el suelo (Figura 9). Si hay algún impedimento para realizar la medición a esa altura (p. ej. cicatrices, huecos, nudos u otro), se debe cambiar el punto de medición y subir los centímetros que sean necesarios (1-5 cm) para medir sin interferencias. El punto de medición debe ser marcado con pintura para medir el diámetro en el mismo lugar, en los siguientes eventos de medición.

$$\text{Cálculo del diámetro: } D = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{Donde: } d_1: \text{primer diámetro medido con calímetro}$$

$d_2: \text{segundo diámetro medido con calímetro}$

##### Medición de individuos grandes con DAP $\geq 2,5$ cm

La medición se realiza a 1,3 m del suelo, con una cinta diamétrica o métrica. Si a esta altura, hay huecos, cicatrices, nudos, canales, etc., se debe mover el punto de medición a un lugar en que no hay deformación ni impedimento (Figura 10B). Se debe marcar el punto de medición con pintura, para medir el mismo punto en los censos posteriores.

Si se utiliza la cinta diamétrica, se obtiene el valor del diámetro del árbol directamente; pero, si se usa una cinta métrica, se debe aplicar la siguiente fórmula para convertir el valor de circunferencia a diámetro.

$$D = \frac{C}{\pi} \quad \text{Donde: } D = \text{diámetro}$$

$C = \text{circunferencia del árbol}$

La Figura 10 muestra la manera de medir el diámetro en diferentes situaciones, como pendiente, individuos con múltiples tallos (multifustales), tallos inclinados u obstáculos en el punto de medición del diámetro.



**Figura 10.** Medición de individuos con DAP  $\geq 5$  cm. A) Medición normal del diámetro a 1,30 m. B) Cambio de punto de medición del diámetro por interferencia de nudo a 1,3 m. C) Cuando un árbol se encuentra inclinado, se debe medir el 1,3 m por la cara interna que enfrenta el suelo. D) En individuos multifustales se considerará todos los tallos con por lo menos 5 cm de diámetro de fuste, en caso de que sea medido a 1,30 m desde la base. E) En pendiente, se mide 1,3 m desde la parte baja de la pendiente. Fuente: Adaptación de Osinaga-Acosta *et al.* 2014

#### ALTURA

##### Medición de individuos pequeños ( $\leq 2$ m)

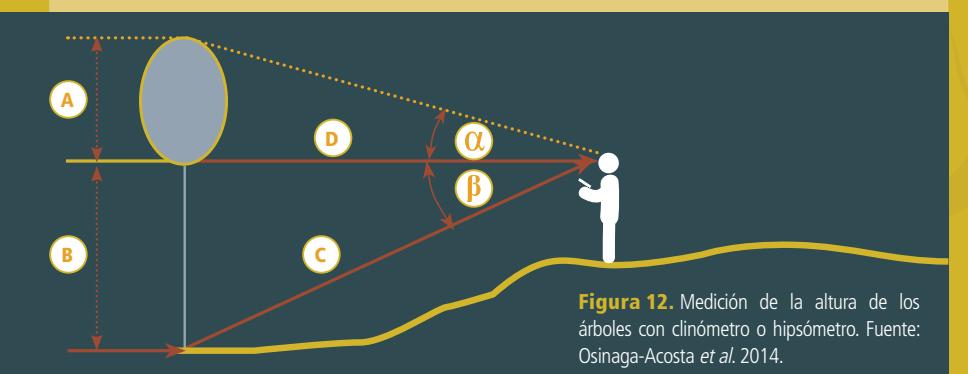
Con la cinta métrica, se mide desde el suelo hasta el último ápice en crecimiento (Figura 11).

##### Individuos medianos y grandes ( $> 2$ m)

Estimación visual o con varas métricas, **clinómetro** o **hipsómetro**, de la altura de la planta. Como se observa en la Figura 12, primero se mide la distancia entre el observador y el árbol (D). Luego se registra, con un hipsómetro o clinómetro, el ángulo de la base del tallo ( $\beta$ ) y, al final, el de la copa del árbol ( $\alpha$ ).

Los hipsómetros dan la medida de altura directamente, pero, cuando se usa un clinómetro, solo se obtiene el valor de los ángulos, por lo que se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Altura del árbol} = D \cos \beta (\tan \alpha + \tan \beta)$$



**Figura 12.** Medición de la altura de los árboles con clinómetro o hipsómetro. Fuente: Osinaga-Acosta *et al.* 2014.



**Figura 11.** Medición de altura de individuos juveniles plantados en un área en proceso de restauración. La medición se realiza con una cinta métrica, desde la base de la planta (suelo) hasta la última rama en crecimiento (yema apical). Fotos: Esteban Pinto

Un procesamiento ordenado de datos es importante para analizarlos de manera correcta. La Tabla 6 muestra un ejemplo de plantilla para el levantamiento de información en campo para el indicador de diversidad de especies arbóreas y arbustivas. Este mismo formato se puede usar para una sistematización digital posterior. Asimismo, la Tabla 7 muestra un ejemplo de formulario de campo para obtener el indicador de calidad de agua. Es fundamental registrar la información de manera ordenada, para evitar errores posteriores en su análisis y sistematización.

**Tabla 6.** Ejemplo de formulario para sistematizar los datos de las variables "diversidad de especies arbóreas y arbustivas" recogidas en campo.

Nº censo	Transec-tos	Nº indivi-duo	Especie/morfoespe-cie	RG*	P**	PMD***	Diáme-tro 1 (cm)	Diáme-tro 2 (cm)	Prome-dio diá-metro (cm)	Altura (m)
Nº de me-diciones planifica-das como parte del monitoreo	Nº de transectos instalados dentro de una mis-sma área/ finca	Nº asig-nado de manera consecuti-va a cada planta, a medida que se miden	Identificación taxonómica del individuo o morfotipo	Reg. natu-ral	Planta-do	Punto de medición del diá-metro (a la base o DAP±)	Primera medida frontal (calíme-tro)	Segunda medida lateral (calíme-tro)	Promedio del D1 y D2	Altura de la planta
LB (línea base)	1	1	<i>Miconia clathranta</i> /Colca	x		Base	0,5	0,6	0,55	0,3
LB	1	2	Morfotipo 1	x		DAP	13	-	-	7
LB	1	3	<i>Triplaris cumin-giana</i> /Fernán Sánchez		x	Base	0,7	0,5	0,6	0,4
LB	2	4	Morfotipo 2	x		Diámetro	-	-	10	7

Notas: \*RG: plantas de regeneración natural, \*\*P: individuos plantados, \*\*\*PMD: punto de medición del diámetro, ±DAP: diámetro a la altura del pecho (1,3 m). El PMD puede ser a la base de la planta o a la altura del pecho, según el tamaño de la planta; sin embargo, estos valores no siempre serán 10 cm o 1,3 m (estándar establecido para estos dos sitios de medición), ya que en caso de que exista algún obstáculo en el punto de medición, este se debe mover la distancia necesaria para evitarlo.

**Tabla 7.** Ejemplo de formulario de campo para datos de parámetros de agua para monitorear la calidad de un cuerpo de agua.

Formulario de campo / Parámetros físico-químicos del agua		
Fecha	Hora	Coordenadas
Latitud (Y)	Longitud (X)	Altitud
Nombre responsable*	Observaciones	
Parámetro	Valor	Unidad
pH		
Conductividad		µS/cm
Sólidos disueltos totales		ppm

\*Nombre responsable se refiere a la persona que toma los datos y es responsable por la toma de muestra de agua. Unidades: µS/cm = micro Siemens por centímetro, ppm = parte por millón. Las coordenadas sirven para tomar las muestras siempre en el mismo punto, en todos los censos que se realicen.

## 2.7. Analizar e interpretar los datos recolectados en campo

La manera en que se analizará los datos levantados en campo debe ser parte de la planificación del muestreo, es decir, se debe saber qué análisis aplicar antes de recoger la información en campo. Además, la interpretación de datos se debe basar en los valores referenciales de los sitios de referencia, en los valores de línea base y su variación en el tiempo, y/o en los valores referenciales provistos para cada indicador (Capítulo 2.9).



## 2.8. Evaluación general de resultados

En esta sección, se explica cómo aplicar la información obtenida y los datos analizados al proyecto de restauración/recuperación de servicios ecosistémicos. Se estableció algunas preguntas que se debe responder una vez que se cuente con el análisis de los datos. Las respuestas a estas preguntas son “sí”, “parcialmente” o “no”. En caso de que la respuesta sea afirmativa, las actividades planificadas están cumpliendo con su objetivo y se debe continuar con el diseño inicial; para los resultados parciales, se espera un poco más de tiempo para evaluar si el resultado es positivo o negativo, y para las respuestas negativas, se plantea otro tipo de preguntas que permitan identificar la causa de los resultados obtenidos no esperados.

### Preguntas guía:

#### ¿Ha habido un cambio desde la línea base hasta el monitoreo actual?

En caso de que la respuesta sea negativa, es necesario preguntarse cuáles son las posibles causas de que no hayan cambios, evaluar y corregir. Sin embargo, es importante considerar que, para los indicadores de mortalidad,

desarrollo de individuos y cobertura de suelo, se esperaría observar cambios en los primeros meses de implementación de las prácticas. Asimismo, en el caso de los indicadores de diversidad y número de estratos verticales, los cambios serán ligeramente más lentos y, puede ser que, durante la primera medición después de la línea base, no se observe algún cambio sustancial y se deba esperar hasta la tercera medición. Por otro lado, en los indicadores de suelo, tanto de densidad aparente como de fertilidad, se espera observar cambios en un mediano o largo plazo, por lo que su ausencia en las primeras mediciones no indica que se deba realizar un cambio en el manejo del proyecto. Se debe esperar por lo menos uno o dos años para observar una tendencia.

#### ¿Estos cambios se dirigen hacia los objetivos planificados?

Si los cambios observados van hacia una dirección opuesta o no deseada, se debe evaluar las causas de la desviación de la trayectoria y corregir las actividades/prácticas necesarias. Se debe replantear si los objetivos establecidos pueden ser alcanzados o si se deben ajustar también. Por ejemplo, uno de los objetivos de restauración es la recuperación de la fertilidad del suelo para producción agrícola y, para cumplirlos, se siembra determinadas especies. Sin embargo, durante la medición de pH, se observa cambios de la línea base, ya que se produce una acidificación del suelo, por lo que es evidente que no se sigue la trayectoria deseada. En este caso, se debe estudiar qué especies sembradas son las que generan el cambio en el pH y se las debe reemplazar por otras que regulen el pH del suelo y lo lleven hacia los valores deseados.

#### ¿Están cambiando en el tiempo planificado?

Si la respuesta es negativa, y el tiempo es mayor al planificado, se debe evaluar cuánto más costoso será el proyecto, dada la demora. Si es posible cubrir los costos extras, no hay inconveniente; sin embargo, si no se puede, se debe hacer un análisis de costo-beneficio y evaluar si es más caro alargar el tiempo de intervención o incrementar una práctica que acelere el proceso.

## 2.9. Descripción de indicadores

### INDICADOR 1: MORTALIDAD DE ESPECIES PLANTADAS

**DESCRIPCIÓN:** número de individuos muertos por especie o morfoespecie. Únicamente se consideran los individuos que fueron plantados y no los de regeneración natural. Es un indicador clave en la fase inicial de implementación, ya que permite tomar decisiones sobre cambiar las especies no resistentes a las condiciones

**OBJETIVOS:** • Determinar si las especies sembradas están adaptadas a las condiciones ambientales del área de intervención.

**MEDICIÓN:** se realiza un conteo de todas las plantas sembradas en cada transecto (ver Capítulo 2.5) y se anota la especie a la que corresponden y el número de individuos muertos. Durante la medición de línea base, se

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** • Número de individuos sembrados de cada especie en el transecto.  
• Número de individuos muertos de cada especie en el transecto.

**FRECUENCIA:** cada 3 meses durante el primer año; cada 6 meses a partir del segundo año.

**ANÁLISIS:** se calcula el porcentaje de mortalidad total en cada transecto medido y el porcentaje de mortalidad de cada especie plantada. Luego, se calcula el promedio de mortalidad, total y por especie, para toda el área muestreada. Para hacerlo, se promedia los porcentajes obtenidos para cada transecto. Por ejemplo, si se instala tres transectos, y los porcentajes de mortalidad totales obtenidos para cada uno son 30, 25 y 35%, respectivamente, el porcentaje de mortalidad total promedio para el área muestreada será 30% [(30+25+35)/3]. Se hace lo mismo, para obtener el porcentaje de mortalidad por especie, de toda el área.

Las fórmulas que se aplican son:

$$\text{Porcentaje de mortalidad total } \%Mt = \frac{Ntm}{Nt} \times 100$$

### VEGETACIÓN

ambientales o las prácticas de restauración o de manejo en las áreas intervenidas. También posibilita obtener información sobre la resistencia y tolerancia de las especies a diferentes condiciones ambientales y de manejo, para poder usarlas en otras áreas similares.

- Determinar si las prácticas de restauración y manejo adoptadas son las más adecuadas para las condiciones ambientales presentes.

debe registrar las especies de todas las plantas sembradas y su ubicación, lo que permitirá saber a qué especie corresponden los individuos muertos y seguir el rastro de los demás recensos posteriores.

- Número total de individuos sembrados en el transecto.
- Número total de individuos muertos en el transecto

Donde:  $Ntm$  = número total de individuos muertos en el transecto medido.

$Nt$  = número total de individuos sembrados en el transecto medido.

$$\text{Porcentaje de mortalidad por especie } \%Mt_{spi} = \frac{Nm_{spi}}{Nt_{spi}} \times 100$$

Donde:  $Spi$  = cada una de las especies encontradas.

$Nm_{spi}$  = número total de individuos muertos de cada especie sembrada en el transecto medido.

$Nt_{spi}$  = número total de individuos sembrados de la especie  $spi$  en el transecto medido.

**INTERPRETACIÓN:** % de mortalidad baja: < 15% | % de mortalidad media o aceptable: 15-30% | % de mortalidad alta: > 30%

Si se obtiene un porcentaje de mortalidad total alto en toda el área, se debe evaluar cuáles son los factores que influyen, para corregir las acciones o prácticas que dieron lugar a estos resultados. Uno de estos factores es la calidad de los individuos sembrados: para aumentar su probabilidad de supervivencia, se debe tomar en cuenta que la raíz de los individuos que se siembre debe estar en buen estado (completa, sin daños por estar mucho tiempo en fundas de vivero, sin hongos o algún parásito que comprometa su desarrollo) y que el tamaño de la planta debe ser apropiado (entre 30 cm y 1 m de altura). Este último aspecto variará según la especie: algunas se siembran más pequeñas y otras toleran el trasplante cuando tienen una altura mayor a 1 m).

También se debe considerar la época de siembra. Es importante que se realice al inicio de la época de lluvia para asegurar el prendimiento de las plantas en el suelo y su supervivencia. Otros factores son el tipo de suelo, inte-

rrupciones externas del proceso (p. ej. ingreso de animales al área, ataque de otros organismos (p. ej. insectos u hongos) o eventos climáticos no esperados). En estos casos, se realizará los ajustes necesarios según el motivo de la alta mortalidad.

Por otro lado, si el porcentaje de mortalidad es alto solo para determinadas especies, se debe analizar cuáles son los factores influyentes. Nuevamente, se evalúa la calidad de los individuos sembrados y, además, se analiza si la especie está adaptada a las condiciones del área intervenida. Si el porcentaje de mortalidad es alto para una especie específica, mientras que las demás mantienen porcentajes bajos o aceptables, es probable que haya un problema de adaptabilidad a las condiciones ambientales, por lo que en el replante de individuos durante el mantenimiento, es mejor reemplazarla por otra que haya registrado porcentajes de mortalidad más bajos.

### INDICADOR 2: DIVERSIDAD DE ESPECIES ARBÓREAS Y ARBUSTIVAS

### VEGETACIÓN

**DESCRIPCIÓN:** número y abundancia de especies o morfoespecies por unidad de área (transecto o m<sup>2</sup>). Para

este indicador se consideran tanto las especies plantadas como las de regeneración natural.

**OBJETIVO:** Conocer los cambios en la diversidad de especies arbóreas y arbustivas en el área intervenida a lo

largo del proceso de restauración, como consecuencia de las prácticas de restauración implementadas.

**MEDICIÓN:** conteo y clasificación/identificación de todos los individuos arbóreos y arbustivos existentes en el transecto (unidad de muestreo), incluyendo los individuos de la regeneración natural. Para la medición de este indicador, es necesario contar con el apoyo de un

botánico que se encargue de la identificación taxonómica de las especies. En caso contrario, es posible identificar a las especies como morfoespecies, o usar guías de identificación taxonómica de especies de flora.

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** Número de individuos por especie (sembradas y de la regeneración natural) dentro

del transecto.

**FRECUENCIA:** cada 6 meses.

**ANÁLISIS:** este indicador se mide a partir de la riqueza y la abundancia total y relativa del área intervenida.

La riqueza ( $S$ ) es el número total de especies en una unidad de área (McCune y Grace 2002): un  $m^2$  o en el total del área muestreada (suma del área de todos los transectos; p. ej. si se instaló tres transectos de  $50 \times 2 \text{ m}$ , el total del área muestreada medirá  $300 \text{ m}^2$ ). Se recomienda que los datos se registren por  $\text{m}^2$  para compararlos con otras zonas monitoreadas, ya que, en caso de que se intervenga en diferentes predios, se instalará un número variable de transectos de acuerdo con la extensión. Por este motivo, no se podría comparar la riqueza en  $300 \text{ m}^2$  con la riqueza en  $500 \text{ m}^2$ , pero sí la riqueza de ambos sitios en un  $\text{m}^2$ .

La abundancia total es el número total de individuos, de todas las especies, en una unidad de área ( $1 \text{ m}^2$  o total del área muestreada). La abundancia relativa, por otro lado, es el porcentaje de individuos de cada especie, en relación con la abundancia total de individuos de todas las especies del área monitoreada. Para esta variable, no hace falta convertir los datos a  $\text{m}^2$  porque al ser un porcentaje, no cambiará con la unidad de área.

El cálculo de riqueza y abundancia debe ser realizado para cada transepto instalado. Luego, se debe obtener un solo promedio de riqueza y abundancia total y relativa para toda el área muestreada. Esto se realiza promediando los valores obtenidos para cada transepto. Por ejemplo, si se instala tres transectos, y la riqueza de cada transepto es 10, 8 y 13 especies en  $100 \text{ m}^2$ , la riqueza promedio para el área muestreada es 10,3 especies en  $100 \text{ m}^2$   $[(10+8+13)/3]$ . El mismo procedimiento se realiza para la abundancia total y relativa.

#### Riqueza del área ( $S$ ):

Número de especies registradas en las unidades de muestreo; por ejemplo, si se registró diez especies diferentes en un transepto, entonces,  $S = 10$  especies en  $100 \text{ m}^2$ .

Para convertir la riqueza en 100 a 1  $\text{m}^2$ :  $S = Nt/a$

Donde:  $a =$  área muestreada en  $\text{m}^2$

$Nt =$  especies registradas en el área muestreada

Si se retoma el ejemplo anterior:  $S = 10/100$

$S = 0,1$  especies en un  $\text{m}^2$

#### Abundancia total (At):

En la Tabla 8, se muestra un ejemplo de cálculo de la abundancia total.

$$At = \sum Nt_{\text{spi}}$$

$Nt_{\text{spi}}$  = número de individuos de cada especie registrada en un transepto (suma de todos los individuos de cada especie encontrados en un transepto).

Para convertir la abundancia total a  $1 \text{ m}^2$ , se divide el valor de At para el área muestreada (área del transepto:  $100 \text{ m}^2$ ).

#### Abundancia relativa (Ar):

En la Tabla 8, se muestra un ejemplo de cálculo de abundancia relativa.

$$Ar = \frac{Nt_{\text{spi}}}{\sum Nt_{\text{spi}}} \times 100$$

Donde:

$Nt_{\text{spi}}$  = número de individuos de cada especie registrada en un transepto (suma de todos los individuos de todas las especies encontradas).

$\sum Nt_{\text{spi}}$  = suma de los individuos de todas las especies en un transepto (abundancia total).

**Tabla 8.** Ejemplo para calcular riqueza, abundancia total y abundancia relativa en un área en proceso de restauración

Especie	# individuos en 100 m <sup>2</sup>	# individuos en 1 m <sup>2</sup>
<b>Colca - <i>Miconia clathranta</i></b>	20	0,2
<b>Cordoncillo - <i>Piper aduncum</i></b>	10	0,1
<b>Balsa - <i>Ochroma pyramidalis</i></b>	5	0,05
<b>Riqueza</b>	3	0,03
<b>Abundancia total</b>	35	0,35
<b>Abundancia relativa de <i>Miconia clathranta</i> (colca)</b>	$Ar = \frac{20}{35} \times 100 = 57,1\%$	de individuos en el área monitoreada pertenecen a la especie <i>Miconia clathranta</i> . No aplica.
<b>Abundancia relativa de <i>Piper aduncum</i> (cordoncillo)</b>	$Ar = \frac{10}{35} \times 100 = 28,6\%$	de los individuos en el área monitoreada pertenecen a la especie <i>Piper aduncum</i> . No aplica.
<b>Abundancia relativa de <i>Ochroma pyramidalis</i> (balsa)</b>	$Ar = \frac{5}{35} \times 100 = 14,3\%$	de individuos en el área monitoreada pertenecen a la especie <i>Ochroma pyramidalis</i> . No aplica.

Nota: \*Se supone que en un transepto ( $50 \times 2 \text{ m}$ , cada uno) instalado encontramos las especies y sus abundancias respectivas, detalladas con la tabla. A partir de estos datos, se muestra cómo realizar cálculos de riqueza y abundancias, y cómo reportar para un área de  $1 \text{ m}^2$ .

**INTERPRETACIÓN:** El incremento de la riqueza y abundancia total de individuos en un área muestra cómo se recupera el ecosistema a medida que avanza el proceso de regeneración natural. Cuando se elimina una barrera de la regeneración natural, se espera que el número de especies y de individuos incremente en cada censo. Si no hay un aumento, es posible que la barrera no haya sido eliminada efectivamente o que las prácticas establecidas no cumplan el objetivo de promover y acelerar el proceso de regeneración natural.

Es difícil establecer un rango de cuánto debe aumentar la riqueza o la abundancia, porque hay varios factores que influyen, como la cercanía de bosques que actúan como fuentes semilleras, el nivel de degradación de la vegetación y del suelo y el tipo de barrera. Por eso, mientras haya un incremento en la riqueza y en la abundancia total, se puede decir que el resultado es positivo.

La abundancia relativa expresa la dominancia de ciertas especies en el área intervenida. A medida que un sistema

se recupera, se espera que ninguna especie domine; es decir, que los porcentajes de abundancia por especie sean más o menos similares. Si una especie tiene un porcentaje mayor a 50% y se mantiene así o aumenta durante los censos, esto puede significar que se está convirtiendo en una barrera para el establecimiento de otras especies, ya que es una fuerte competidora. En este caso, se debe realizar actividades de mantenimiento, como un raleo o poda, que permitan disminuir la cantidad de individuos de la especie dominante y, así, permitir el establecimiento de otras especies.

Es importante mencionar que, en las primeras etapas de la regeneración natural (mínimo 1 año), es probable que algunas especies dominen el sistema; sin embargo, cuando estas hayan cumplido la función de eliminar la barrera de la regeneración natural o hayan mejorado algunas condiciones ambientales (p. ej. la calidad de suelo), otras especies deben ser capaces de establecerse y, de esta manera, equilibrar los porcentajes de abundancia por especie.

**INDICADOR 3: DESARROLLO DE INDIVIDUOS**

**DESCRIPCIÓN:** crecimiento en diámetro y altura de los individuos plantados. No considera los individuos de la regeneración natural.

**MEDICIÓN:** se realiza a partir del incremento del diámetro del tallo y altura total de las plantas, de acuerdo

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** Altura y diámetro de todos los individuos sembrados (no hay un diámetro mínimo).

**ANÁLISIS:** Este indicador se expresa a través del cambio de diámetro y altura de cada individuo de una misma especie, entre los diferentes censos. Determina si las especies plantadas crecen como se espera. Su crecimiento dependerá de la especie y de su estado sucesional, pues las pioneras y secundarias tempranas tendrán un crecimiento más acelerado que las especies secundarias tardías y maduras. Para obtener el diámetro y altura de los individuos, se aplica las siguientes fórmulas:

$$\Delta D_{spi} = \frac{(\Sigma(D_{1spi} - D_{0spi}))}{N_{spi}}$$

Donde:  $\Delta D_{spi}$  = incremento del diámetro de la especie i. Este cálculo se realiza para cada especie encontrada.

$D_{0spi}$  = diámetro de un individuo de la especie i registrado en la línea base o como primera medición (en caso de que sea un replante).

$D_{1spi}$  = diámetro del mismo individuo D0 de la especie i, en el último censo realizado.

$\Sigma(D_{1spi} - D_{0spi})$  = suma de los valores de diámetro de todos los individuos registrados de la especie i, en todos los transectos del predio.

$N_{spi}$  = número de individuos de la especie spi encontrados en todos los transectos del predio.

**INTERPRETACIÓN:** El análisis se realiza a nivel de especie, como indican las fórmulas. Es posible que una especie plantada sobreviva, pero que sus individuos se estanquen y no crezcan en altura ni diámetro. En este

**VEGETACIÓN**

**OBJETIVO:** Determinar si el incremento de diámetro y altura de los individuos ocurre conforme las características de su especie y las condiciones ambientales del área intervenida.

con el tamaño de los individuos (Caja 3), haciendo una diferenciación entre pequeños y grandes.

**FRECUENCIA:** cada 6 meses.

$$\Delta H_{spi} = \frac{(\Sigma(H_{1spi} - H_{0spi}))}{N_{spi}}$$

Donde:  $\Delta H_{spi}$  = incremento de la altura de la especie i. Este cálculo se realiza para cada especie encontrada.

$H_{0spi}$  = altura de un individuo de la especie i registrada en la línea base o como primera medición (en caso de que sea un replante).

$H_{1spi}$  = altura del mismo individuo D0 de la especie i, en el último censo realizado

$\Sigma(H_{1spi} - H_{0spi})$  = suma de los valores de altura de todos los individuos registrados de la especie i, en todos los transectos del predio.

$N_{spi}$  = número de individuos de la especie spi encontrados en todos los transectos del predio.

Antes de realizar el cálculo del cambio de diámetro y altura, se debe observar si los datos presentan valores atípicos; es decir valores, muy diferentes al promedio del resto de individuos de la misma especie (p. ej. decrecimiento en lugar de crecimiento). Estas anomalías ocurren por errores en la medición o la sistematización de la información recolectada en campo, o por factores externos que alteran el crecimiento de la planta por herbivoría (p. ej. ganado). En estos casos, se deben excluir esos datos del análisis.

caso, se debe analizar si los individuos de las demás especies crecen de acuerdo con lo esperado. Si ninguna o la mayoría de especies no se desarrolla de manera adecuada, se debe corregir acciones, es decir, evaluar

las condiciones de suelo (fertilidad, humedad y compactación), la vegetación circundante, la salud de las plantas en el momento de la siembra, entre otros. Por otro lado, si las demás especies se desarrollan según lo esperado, sería un indicativo de que la especie analizada no se

adapta a las condiciones de disturbio de la zona, por lo que sería mejor no plantarla de nuevo durante las labores de mantenimiento del área. En este caso, se recomienda reemplazarla por otra especie, que presente mejores resultados de desarrollo.

**INDICADOR 4: NÚMERO DE ESTRATOS VERTICALES DEL ECOSISTEMA**

**DESCRIPCIÓN:** número de estratos verticales (determinado por la altura de los árboles o arbustos) que tiene el ecosistema, lo cual define la estructura vertical de un bosque. Un bosque montano tropical maduro tiene cuatro estratos definidos: sotobosque, subdosel, dosel y capa emergente (Figura 13).

**OBJETIVO:** Evaluar el estado de recuperación de un bosque a partir de su estructura vertical.

**MEDICIÓN:** Se mide la altura de todos los árboles y arbustos presentes en cada transecto.

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** Altura

**FRECUENCIA:** cada 6 meses.

**ANÁLISIS:** Este indicador se obtiene a partir de la altura de los individuos medidos y a su clasificación en los estratos de la Tabla 9. De acuerdo con cuántos y cuáles estratos tenga el bosque, se determinará el estado de recuperación en el que se encuentra.

**Tabla 9.** Rangos de alturas de árboles y su relación con el estado de recuperación del área.

Estratos verticales	Altura	Tipo de área
<b>Hierbas</b>	< 2 m	Área disturbada (pasto abandonado en primeras etapas de recuperación).
<b>Sotobosque</b>	< 10 m	Área en recuperación, barbecho o bosque secundario temprano.
<b>Subdosel</b>	10-20 m	Bosque secundario temprano/medio.
<b>Dosel</b>	20-40 m	Bosque secundario maduro.
<b>Capa emergente</b>	> 40 m	Bosque maduro.

Nota: \*La tabla es aditiva, es decir, un bosque secundario maduro no solo tendrá el estrato de dosel, sino que también comprenderá el estrato herbáceo hasta el dosel. Al contrario, un sistema productivo sostenible tendrá solo algunos estratos, como un sistema agroforestal que, generalmente, cuenta solo con sotobosque y subdosel y/o dosel.

**VEGETACIÓN**

**Capa emergente**  
>40 m

**Dosel**  
20-40 m

**Sub dosel**  
10-20 m

**Sotobosque**  
<10 m

**Hierbas**  
<2 m

**Figura 13.** Estructura vertical de un bosque maduro. Se distingue la capa arbustiva o sotobosque, seguida por el subdosel, dosel y la capa de árboles emergentes con alturas mayores a 40 m.

**INTERPRETACIÓN:** Durante los primeros meses de restauración, el sotobosque se recuperará de manera gradual y, a medida que pase el tiempo, algunos individuos comenzarán a ocupar los estratos más altos del subdósdel y dósdel. Finalmente, después de varios años de recuperación, el área tendrá un bosque maduro, que presentará árboles emergentes (Figura 14).

La presencia de todos los estratos aplica para estrategias de restauración asistida o regeneración natural, cuyo objetivo es restaurar ecosistemas naturales para

uso de conservación. En el caso de estrategias productivas, como agroforestería, silvopasturas y plantaciones forestales sucesionales, no se recuperará todos los estratos, sino solo algunos según el manejo del área; en la agroforestería, por ejemplo, solo habrá arbustos (plantación) y el subdósdel y/o dósdel; en las silvopasturas y plantaciones forestales sucesionales, el subdósdel o dósdel. La forestería análoga, sin embargo, es una estrategia productiva diferente: ya que trata de emular la estructura de un bosque, se esperaría que el bosque presente todos los estratos verticales.



Figura 14. Cambio en la estructura vertical del bosque a medida que se recupera de un incendio.

#### INDICADOR 5: COBERTURA DE SUELO

**DESCRIPCIÓN:** porcentaje de tipo de vegetación (pasto, hierbas, hojarasca, árboles y arbustos) o material (suelo

**OBJETIVOS:** • Evaluar la recuperación de vegetación en suelos desnudos vulnerables a erosión.

**MEDICIÓN:** se realiza en tres cuadrantes de un metro de lado distribuidos sistemáticamente (siempre en la misma ubicación) dentro del transecto, uno a cada extremo y otro en el centro (Figura 15). En cada cuadrante, se estima el porcentaje de cada tipo de vegetación o material que recubre el área de 1 m<sup>2</sup>, considerando que toda la superficie del cuadrante representa 100% de la cobertura. Se recomienda subdividir el cuadrante en cuatro partes con una piola, de manera que cada subcuadrante corresponda a 25% de cobertura, para facilitar la estimación del porcentaje de cobertura (Figura 15A). También se puede dividir cada cuadrante en 25 partes: cada una corresponderá a 4% de la cobertura total (Figura 15B).

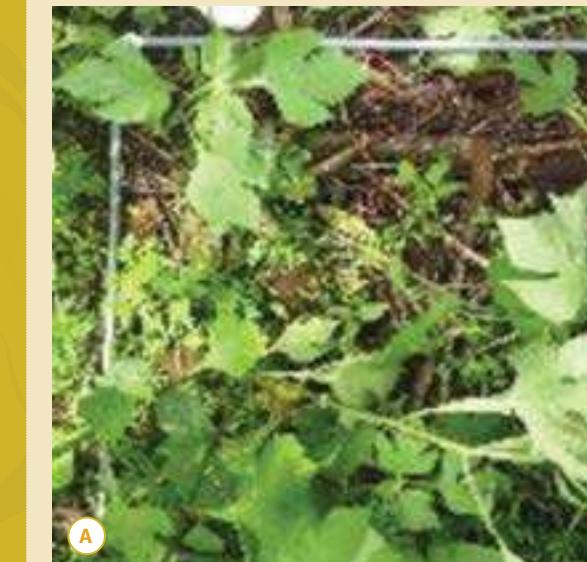
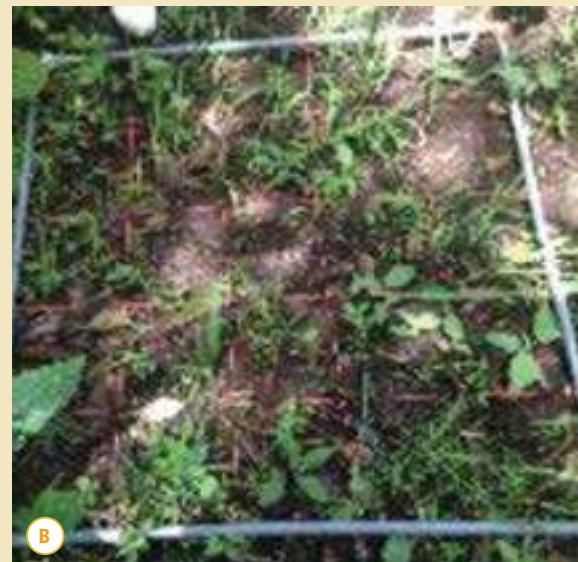


Figura 15. Cuadrante de 1 m<sup>2</sup> para estimación de cobertura de suelo. A) Subdivisión del cuadrante en cuatro partes. B) Subdivisión del cuadrante en 25 partes..



#### VEGETACIÓN

desnudo, roca y grava) que cubre la superficie del suelo.

- Realizar el seguimiento del proceso de erradicación de especies invasivas.

Cuando la proyección de las copas de árboles o arbustos se traslape con la cobertura de otros tipos de vegetación o material, no se toma en cuenta la cobertura de la copa, sino más bien el tipo de vegetación o material que está más próximo al nivel del suelo (generalmente, se considera la cobertura de las plantas que tienen hasta 1 m de alto). La Figura 16 muestra un ejemplo de cómo se realiza la estimación de cobertura de suelo; en la Figura 16A, el pasto cubre 100% del subcuadrante de 1 m<sup>2</sup>, mientras que en la Figura 16B, los arbustos ocupan 23%; las hierbas, 20%; el suelo desnudo, 20%, y el pasto, 37%.



● Arbustos ● Suelo desnudo ● Hierbas ● Pasto

**Figura 16.** Ejemplo ilustrativo para medir cobertura de suelo. Los cuadrados representan los subcuadrantes de 1 m<sup>2</sup> cada uno. A) Cobertura de 100% de pasto. B) Cobertura con diferentes tipos de vegetación y materiales (23% de arbustos, 20% de suelo desnudo, 20% de hierbas, y 37% de pasto).

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** porcentaje de cobertura de pasto, hierbas, hojarasca, árboles/arbustos, suelo desnudo, roca y grava, en cada subcuadrante.

**FRECUENCIA:** 3 meses durante el primer año y 6 meses a partir del segundo año.

**ANÁLISIS:** para obtener la cobertura de cada transecto, se promedia los tres cuadrantes para cada forma de vida/material presente (Tabla 10). Adicionalmente, para obtener el valor de cobertura de suelo para toda el área muestreada,

da, se debe calcular el promedio para cada categoría de cobertura para todos los transectos instalados. Así, el promedio obtenido para cada transecto debe, a su vez, promediarse con los valores obtenidos en los otros transectos.

**Tabla 10.** Ejemplo para calcular la cobertura de suelo en un transecto con tres cuadrantes

Cuadrante	Hierbas	Pasto	Arbustos	Hojarasca	Suelo desnudo	Total (%)
1	0	84	1	15	0	100
2	0	84,5	0,5	15	0	100
3	0	91	2	7	0	100
Promedio	0	86,5	1,17	12,3	0	100

**INTERPRETACIÓN:** Normalmente, lo que se busca con este indicador es conocer cómo se pierde la cobertura de alguna **especie invasiva** (p. ej. pasto) o cómo se cubre el suelo en caso de que la condición inicial fuera suelo desnudo vulnerable a la erosión. En el primer caso (Tabla 10), el pasto ocupa 86,5% de la cobertura de suelo. En

los siguientes censos, se esperaría que ese porcentaje disminuyera con el tiempo, hasta llegar a 0% de cobertura. En el segundo caso, cuando hay un alto porcentaje de suelo desnudo, se esperaría lo contrario; es decir, que este se vaya cubriendo con otros tipos de vegetación, como hierbas, arbustos y hojarasca.

#### INDICADOR 6: DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

**DESCRIPCIÓN:** proporción de la masa del suelo seco y volumen total (g/cm<sup>3</sup>), que incluye el vo-

lumen de las partículas y los poros (Arshad *et al.* 1996); medida de compactación del suelo.

**OBJETIVO:** Determinar el grado de compactación del suelo y evaluar cambios en su calidad, a partir

de la mejoría de su estructura.

**MEDICIÓN:** se toma muestras en los dos extremos del transecto (Figura 1), siguiendo el método de

"cilindro de volumen conocido" (Caja 2).

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** Densidad aparente del suelo.

**FRECUENCIA:** cada año.

**ANÁLISIS:** Las muestras son enviadas a un laboratorio especializado en suelos, para ser analizadas. Los valores obtenidos en cada transecto deben promediarse para obtener el valor por transecto. Este

promedio, a su vez, debe promediarse con los valores obtenidos en todos los transectos instalados en el área intervenida.

**INTERPRETACIÓN:** Los resultados de suelo deben contrastarse con valores de un ecosistema de referencia, o con los valores obtenidos durante las mediciones de línea base. Arshad y Martin (2002) sugieren que cambios, positivos o negativos, de 10 a 20% en los parámetros de suelo, ya pueden ser considerados importantes.

La densidad aparente del suelo puede cambiar lentamente y todavía no se cuenta con información validada sobre el tiempo que toma este cambio en los suelos. Sin embargo, una reducción en los valores con respecto a la medición de línea base significa una mejoría en la condición del suelo. Mientras el valor sea más alto, habrá mayor compactación del suelo; mientras más bajo, menor compactación. Esta última permite la penetración de raíces en el suelo, una mejor infiltración de agua y mayor retención de humedad. Todas estas características son positivas para el desarrollo de las plantas y para el crecimiento de una mayor diversidad de especies.

En la Tabla 11, se muestra valores referenciales de densidad aparente en diferentes tipos de textura de suelo, los

cuales son el resultado de un programa de monitoreo de bosques montanos andinos, realizado por el Consorcio para el Desarrollo de la Ecorregión Andina (CONDESAN). Los suelos volcánicos, como los del noroccidente de Pichincha, en Ecuador (Espinosa *et al.* 2018), presentan valores de densidad aparente relativamente bajos (~0,85 g/cm<sup>3</sup>), en contrast con otros tipos de suelo (Flores y Alcalá 2010).

En áreas de pastos ganaderos, en el noroccidente de Pichincha, se ha registrado valores de densidad aparente iguales o mayores a 1 g/cm<sup>3</sup>, lo que indica compactación del suelo. Cuando se trabaja en la recuperación de la estructura de suelo, se esperará que estos valores bajen y tiendan a acercarse a los valores de un bosque de la misma zona geográfica (Tabla 11).

Esta información es muy valiosa cuando se quiere destinar el área a actividades productivas, ya que las características del suelo influyen directamente en la productividad de los cultivos.

**Tabla 11.** Valores referenciales de densidad aparente obtenidos en bosques montanos, secundarios con más de 25 años de recuperación, noroccidente de Pichincha, Ecuador

Tipo textura de suelo	Zona referencial	Densidad aparente (g/cm³)		
		Media	Min	Max
<b>Franco</b>	El Cedral - Calacalí	0,75	0,6	0,9
<b>Franco</b>	Verdecocha - Nono	0,73	0,3	0,9
<b>Franco-arcilloso</b>	Mashpi-Pacto	0,53	0,4	0,6
<b>Franco-arenoso</b>	Intillacta-Nanegalito	0,58	0,3	0,9
<b>Franco-limoso</b>	Yanacocha-Nono	0,73	0,6	0,8
<b>Franco-limoso</b>	Bellavista- Nanegalito	0,7	0,2	0,9
<b>Franco-limoso</b>	Sacha Urcu, Río Bravo-Mindo	0,6	0,2	0,8

INDICADOR 7: FERTILIDAD DE SUELO		SUELO
<b>DESCRIPCIÓN:</b> calidad del suelo medida a partir de los parámetros químicos del suelo.		
<b>OBJETIVO:</b> Determinar los cambios de fertilidad del suelo, como resultado de las prácticas de restauración implementadas.		
<b>MEDICIÓN:</b> las muestras se toman de los primeros 20 cm de suelo, con un barreno, pala o excavadora (Caja 2), en los dos extremos del transecto (Figura 1), a un lado de las muestras de densidad aparente. Se debe mantener una distancia suficiente (~ 50 cm) para que estos dos indica-		dores no interfieran en las muestras de cada uno. Durante el segundo censo, el punto de muestreo debe recorrerse unos centímetros hacia un lado del punto en que se tomó la muestra de línea base, para evitar sacarla del mismo lugar.
<b>VARIABLES DE MEDICIÓN:</b> • Porcentaje de materia orgánica: se relaciona con la fertilidad y estructura del suelo, y con la capacidad de retención de agua y nutrientes (Arshad y Martin 2002, Carter 2002).		• Concentración de fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K): define la capacidad del suelo para contribuir al desarrollo de las plantas (Arshad y Martin 2002).
<b>FRECUENCIA:</b> cada año.		
<b>ANÁLISIS:</b> los análisis de las propiedades químicas se realizan en laboratorios especializados en el estudio de suelos. Los valores obtenidos de las muestras de cada		transecto se promedian. Este promedio, a su vez, debe promediarse con los valores obtenidos en todos los transectos instalados en el área intervenida.

**INTERPRETACIÓN:** Arshad y Martin (2002) sugieren que cambios, positivos o negativos, de 10 a 20% en los parámetros de suelo, ya pueden ser considerados importantes. Con respecto a la materia orgánica, los autores establecen que un cambio de 15% ya muestra una tendencia de mejoría (incremento) o deterioro (decremento) del suelo. Por ejemplo, si la medición de línea base es de 3,2% de materia orgánica, una mejoría significativa después de un año de intervenciones, sería un valor de 3,68%, que representa 15% adicional del valor de línea base.

El indicador mostrará un resultado positivo si las variables de porcentaje de materia orgánica y concentración de P, N y K presentan una tendencia al incremento, en comparación con los valores obtenidos en las mediciones de línea base o anteriores. Al no contar con información sobre valores referenciales de concentración de P,

N, K en suelos bien conservados de bosques tropicales montanos, no se establecen límites positivos ni negativos. Por eso, es muy importante que se compare los datos obtenidos en la línea base del área intervenida, con los datos obtenidos en el sitio de referencia seleccionado. De esta manera, se conocerá el nivel de degradación del suelo en el área de intervención y hacia dónde se debe dirigir las prácticas, si se busca recuperar suelo.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica, las parcelas de monitoreo de bosques secundarios y maduros del noroccidente de Pichincha, en Ecuador, muestran un valor promedio de 15,1% (rango: 6,2-33,5) (Tabla 12). Estos valores pueden ser usados como referencia para contrastar los datos que se obtenga de los análisis de suelo del área intervenida.

**Tabla 12.** Valores referenciales de materia orgánica de suelo obtenidos mediante el muestreo de carbono en bosques montanos, secundarios con más de 25 años de recuperación, en el noroccidente de Pichincha

Tipo textura de suelo	Zona referencial	% Materia orgánica		
		Media	Min	Max
<b>Franco</b>	El Cedral-Calacalí	20,7	13,1	27,2
<b>Franco</b>	Verdecocha-Nono	14,2	8,5	18,9
<b>Franco-arcilloso</b>	Mashpi-Pacto	17,0	9,9	33,5
<b>Franco-arenoso</b>	Intillacta-Nanegalito	14,3	10,5	18,3
<b>Franco-limoso</b>	Yanacocha-Nono	6,7	6,2	7,2
<b>Franco-limoso</b>	Bellavista-Nanegalito	12,0	7,3	20,3
<b>Franco-limoso</b>	Sacha Urcu, Rio Bravo-Mindo	15,2	7,4	29,7

**INDICADOR 8: CALIDAD DEL AGUA**

**DESCRIPCIÓN:** calidad del agua en ríos, riachuelos, vertientes, ojos de agua y otras fuentes, determinada a partir de sus propiedades físico-químicas (pH, conductividad y sólidos disueltos totales) y microbiológicas (coliformes totales y fecales).

**OBJETIVO:** Evaluar el cambio en la calidad del agua, como resultado de las prácticas de restauración enfocadas en el mejoramiento de las características del agua.

**MEDICIÓN:** Las mediciones de los parámetros físico-químicos (con el uso de equipo multiparamétrico) y **microbiológicos**, se deben realizar por lo menos en dos puntos: uno en una zona con poco o ningún impacto que ocasione contaminación (sitio de referencia) y otro, aguas abajo de un sitio con algún tipo de impacto que pueda causar contaminación del agua (presencia de poblados o caseríos, zonas agrícolas que usen insumos químicos, presencia de animales como vacas o cerdos, entre otros). Si no hay algún tipo de contaminación evidente, se realiza las mediciones en cualquier punto del cuerpo de agua al interior del predio de interés. Si el área es muy extensa ( $> 10$  ha), se toma muestras en diferentes puntos distantes entre sí y, para definir el número de

**AGUA**

muestras, se usa el método de promedio corrido (Capítulo 2.5.3).

Los valores de las variables cambian de acuerdo con la época; es decir, con la cantidad de lluvia. Por eso, es importante que las mediciones mensuales se realicen tanto en los sitios de intervención como en los sitios de referencia. Las mediciones de los sitios de referencia indicarán los cambios normales en el cuerpo de agua, que son producto de la cantidad de lluvia de la época. Si no se mide el sitio de referencia, se puede llegar a conclusiones erradas según los cuales los cambios se deben a algún tipo de contaminación en el sitio de intervención (Caja 1).

**VARIABLES DE MEDICIÓN:** • Potencia del hidrógeno (pH): medida del nivel de acidez del agua. Los valores varían entre 1 y 14; los más bajos indican acidez y los más altos, un agua básica. El agua en condiciones naturales tiene un pH entre 6 y 7,5 (Calles 2016).

• Conductividad: medida de la salinidad del agua; las sales presentes permiten la transmisión de la corriente eléctrica en el agua (Calles 2016).

• Sólidos disueltos totales: medida de la cantidad de materia

suspendida o disuelta en el agua. Un alto contenido de sólidos totales disueltos da un mal sabor al agua y puede causar reacciones negativas en el ser humano (Calles 2016).

• Coliformes totales y fecales: bacterias relacionadas con la contaminación biológica del agua con heces humanas y animales. Estas bacterias son perjudiciales para la salud. Las principales fuentes de contaminación son: aguas servidas, pozos sépticos, heces depositadas por animales directamente en los cuerpos de agua (Calles 2016).

**FRECUENCIA:** cada mes, excepto coliformes, que se realiza cada 2 meses.

**ANÁLISIS:** Las mediciones de los parámetros físico-químicos se realizan con un equipo multiparamétrico y las características microbiológicas se determinan tomando muestras de agua y enviándolas a un laboratorio especializado.

En caso de que se realicen varias medidas o se tomen varias muestras de un cuerpo de agua, se debe promediar todas las muestras para obtener un solo valor para el área total.

**INTERPRETACIÓN:** Si uno de los valores refleja un dato anormal, fuera de los límites permisibles (Tabla 13), o diferente a los del sitio de referencia, significa que la calidad del agua no es buena y se debe analizar los factores que provocan esto, para aplicar medidas de restauración que permitan recuperar la calidad de agua. En cada censo (mensual), se compara los valores obtenidos con los de línea base, para determinar si las actividades implementadas cumplen el objetivo de mejorar la calidad del agua, y si se acercan a los valores del sitio de referencia.

Las mediciones en el sitio de referencia son fundamentales para determinar si las variaciones son producto de las condiciones climáticas normales del río o una respuesta a las prácticas de restauración implementadas. Si el sitio de referencia también muestra fluctuaciones en sus variables, es probable que se deban a las condiciones climáticas, pero, si presentan muy pocas diferencias o ninguna, los cambios se atribuyen a otras causas, como las actividades de restauración.

**pH:** esta variable es susceptible a las condiciones climáticas o a la cantidad de caudal en el río. Los valores óptimos son entre 6 a 7,5 y, datos mayores o menores son señal de algún tipo de contaminación. Sin embargo, cuando hay valores superiores a 8 y estos se mantienen en el tiempo; es decir, no varían según los diferentes censos, es posible que no haya contaminación, sino que el pH esté determinado

por las condiciones geológicas del sitio o la presencia de aguas termales o minerales. Por eso, es muy importante que el sitio de referencia no esté contaminado, para comparar los datos de forma adecuada.

**Conductividad:** esta variable se relaciona con las características geológicas y del suelo del río; por eso, es muy importante realizar varias mediciones en un punto sin contaminación (sitio de referencia), para contrastarlas con aquellas obtenidas en sitios contaminados. Los valores de conductividad se miden entre 0 y 3 999  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; valores mayores a 1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indican alguna fuente de contaminación o presencia de aguas minerales o termales.

**Sólidos disueltos totales en el agua:** esta variable muestra la cantidad de minerales disueltos en el agua. Los valores mayores a 500 mg/l indican la presencia de minerales en el agua y, valores mayores a 3 000 mg/l son señal de que el agua no es apta para consumo humano ni para actividades agropecuarias.

**Coliformes totales y fecales:** la presencia de estas bacterias provee información sobre el grado de contaminación de una fuente de agua. Si el agua presenta coliformes en valores menores al límite máximo (Tabla 1), se puedeingerir después de atravesar un tratamiento convencional (p. ej. hervirla). Si los valores superan los límites establecidos, no es recomendable para consumo humano.

**Tabla 13.** Límites máximos permisibles de calidad de agua para distintos usos

Variable	Valores máximos permisibles		
	Consumo humano*	Uso agrícola**	Uso agropecuario***
pH	6-9	6-9	6-9
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1 500	< 3 000	< 3 000
Sólidos disueltos totales (mg/l)	1 000	3 000	3 000
Coliformes fecales (npm/100 ml)	600	1 000	< 1 000
Coliformes totales (npm/100 ml)	3 000	3 000	< 5 000

Notas: \*Consumo humano: límites necesarios para que el agua sea apta para consumo, después de aplicar tratamientos convencionales. \*\*Uso agrícola: actividades de riego de cualquier tipo de cultivo. \*\*\* Uso agropecuario: consumo de agua por parte de animales (p. ej. vacas o cerdos).

Fuente: MAE 2015.

<b>INDICADOR 9: CANTIDAD DE AGUA</b>		<b>AGUA</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b> cantidad de agua disponible en un caudal, para diferentes propósitos, como consumo humano, consumo animal o riego.		
<b>OBJETIVO:</b> Evaluar el impacto de las prácticas de restauración en zonas riparias o zonas de infiltración, en la cantidad de agua disponible para uso con diferentes propósitos, en zonas riparias o de infiltración.		
<b>MEDICIÓN:</b> para medir el caudal de agua en diferentes condiciones, se utilizan dos técnicas	minar el caudal de agua de una fuente; sin embargo, el método del flotador o aforo es el más sencillo.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En un río, riachuelo o canal. La medición se realiza en una sección de río o fuente de agua cuya forma (bordes) sea relativamente uniforme, así como la cantidad de agua corriente. Hay diferentes métodos para deter-</li> </ul>		
<b>VARIABLES DE MEDICIÓN:</b> Caudal de fuente de agua.		
<b>FRECUENCIA:</b> cada mes.		
<b>ANÁLISIS:</b> Los resultados se analizan por épocas: seca, lluviosa e intermedia. Para conocer el caudal de agua durante cada una, se debe obtener el promedio de los valores mensuales de caudal, para luego comparar anualmente los datos del año. Las comparaciones se realizarán entre años entre las mismas épocas. Por ejemplo, los valores de la temporada seca del año 1, versus los valores de la temporada seca del año 2.		
<b>INTERPRETACIÓN:</b> El impacto de las prácticas de restauración en el caudal de un cuerpo de agua se determina a partir de la comparación entre cada año monitoreado. Si el caudal se compara mensualmente, se observará la fluctuación del caudal a lo largo del año por el régimen de lluvia, pero no se contará con información sobre el au-		mento o disminución del agua como resultado de actividades de restauración implementadas. De esta manera, es posible determinar si hay un incremento en el caudal, en caso de que se detecte valores mayores de agua en temporadas de lluvia, de manera consistente.

<b>INDICADOR 10: COSTOS DEL MANTENIMIENTO DE LAS PRÁCTICAS</b>	<b>SOCIOECONÓMICO</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b> todos los valores invertidos en el mantenimiento de un área intervenida con prácticas de restauración. Se registra los valores en dólares/ha.	
<b>OBJETIVO:</b> Determinar la eficiencia de una práctica de restauración mediante el costo que implica el mantenimiento de las áreas intervenidas.	
<b>MEDICIÓN:</b> Se calcula y suma los valores de todos los insumos necesarios para llevar a cabo un mantenimiento: plantas para resiembra, mano de obra, fertilizante, herramientas y transporte. Las herramientas solo deben cuantificarse una vez, en el momento en que se realiza la compra.	
<b>VARIABLES DE MEDICIÓN:</b> Monto en dólares de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas para resiembra.</li> <li>• Mano de obra.</li> </ul> <b>FRECUENCIA:</b> cada evento de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilizante.</li> <li>• Herramientas.</li> <li>• Transporte.</li> </ul>
<b>ANÁLISIS:</b> se suma los montos de cada variable y se obtiene un valor total de costos de cada mantenimiento durante el año. Luego, se sistematiza el costo total y por rubros, por cada evento de mantenimiento, y la sumatoria anual.	
<b>INTERPRETACIÓN:</b> Los costos de mantenimiento están asociados a la eficiencia de las prácticas de restauración y a su replicabilidad en otros sitios. En el caso de estrategias con objetivos de conservación, cuanto menos necesario sea el mantenimiento de un área, mayor será el grado de recuperación natural del ecosistema. En otras palabras, la reducción de mantenimientos requeridos es el reflejo de que las prácticas implementadas están eliminando las barreras para el desarrollo de la regeneración natural y de que se avanza en el proceso de restauración sin intervención humana.	Probablemente, se deba seleccionar otra práctica que involucre menos esfuerzos de mantenimiento o cambiar actividades de la misma práctica, (p. ej. uso de otras especies, cambio del método para controlar especies invasivas, entre otros). Por otro lado, si una práctica incluye costos muy altos de mantenimiento, es complicado que se pueda replicar en otras áreas.
El análisis de los tipos de gastos requeridos para el mantenimiento también brinda información importante que retroalimenta el desarrollo de las prácticas de restauración en el marco de un manejo adaptativo. Por ejemplo, si evaluamos que el costo de las plantas de resiembra es muy alto, se podría aplicar otras formas de propagación (semillas, estacas, raíz desnuda) u otras actividades, como la elaboración de pequeños viveros en el área de restauración para reducir costos.	

INDICADOR 11: BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA RESTAURACIÓN	SOCIOECONÓMICO
<b>DESCRIPCIÓN:</b> fuentes adicionales de ingresos económicos de la finca, como consecuencia de las prácticas de restauración implementadas. Estos ingresos se generan por tres motivos: venta de nuevos o mayor cantidad de productos, ahorro generado por el autoconsumo y ahorro en insumos agrícolas que ya no son necesarios según las estrategias de producción sostenible.	
<b>OBJETIVO:</b> Evaluar la sostenibilidad de las prácticas de restauración a partir de la generación de fuentes adicionales de ingresos económicos.	
<b>MEDICIÓN:</b> se cuantifica todos los ingresos económicos adicionales en dólares o el ahorro que la finca percibe a raíz de la implementación de prácticas de restauración y como consecuencia de ellas (p. ej. ingresos por turismo cuando se restaura un bosque, ingresos por venta de nuevos productos agrícolas cuando se implementan estrategias de producción sostenible, o ahorro en insumos agrícolas por el incremento de la fertilidad del suelo).	
<b>VARIABLES DE MEDICIÓN:</b> Monto en dólares de: <ul style="list-style-type: none"><li>• Productos vendidos.</li><li>• Ahorro en insumos agrícolas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ahorro en autoconsumo de alimentos.</li><li>• Ingresos por turismo.</li><li>• Otros ingresos.</li></ul>
<b>FRECUENCIA:</b> cada mes.	
<b>ANÁLISIS:</b> se registra todos los ingresos económicos que percibe la finca en una línea base y, posteriormente, se anota los nuevos ingresos anuales percibidos como resultado de las prácticas de restauración, ya sea por productos generados o por ahorro.	
<b>INTERPRETACIÓN:</b> La restauración de ecosistemas o de servicios ecosistémicos puntuales puede ser costosa y pocas veces se cuantifica los beneficios que esta provee. Esto genera el abandono de las prácticas de restauración, dejando los procesos de recuperación inconclusos, o una falta de interés por parte de los propietarios de tierras en la adopción de prácticas de restauración en sus predios. Por eso, es importante destacar y evidenciar los beneficios económicos que generan ciertas prácticas, para dar sostenibilidad a los procesos de restauración y fomentar su réplica en otras áreas. Los ingresos de las áreas de restauración pueden compararse con los costos de las prácticas de restauración, tanto de implementación como de mantenimiento, para determinar el grado de sostenibilidad de los procesos de restauración.	

INDICADOR 12: DIVERSIFICACIÓN DE PRODUCTOS EN LA FINCA	SOCIOECONÓMICO
<b>DESCRIPCIÓN:</b> número de productos adicionales para autoconsumo o para la venta que se generan en la finca	gracias a las prácticas de restauración implementadas.
<b>OBJETIVO:</b> Evaluar el impacto socioeconómico de las prácticas de restauración, a partir de la generación y diversificación de productos que contribuyan a la seguridad alimentaria de las personas y a la economía familiar.	
<b>MEDICIÓN:</b> conteo de los productos nuevos. Se considera aquellos destinados al autoconsumo y a la venta.	
<b>ANÁLISIS:</b> Para calcular este indicador, durante el levantamiento de la línea base se debe contabilizar los productos generados en el área de restauración para venta y autoconsumo. Luego, es necesario registrar anualmente si hay productos nuevos como resultado de las prácticas de restauración.	
<b>FRECUENCIA:</b> cada año.	
<b>INTERPRETACIÓN:</b> Además de tener el potencial de proveer beneficios ecológicos y económicos, la restauración genera beneficios sociales. La diversificación de los productos de la finca, tanto para el autoconsumo como para la venta, incrementa la soberanía alimentaria de los propietarios de la tierra, haciéndolos menos dependientes de insumos alimenticios externos. Una finca diversificada es más resiliente a fluctuaciones en el mercado agrícola; es decir, si un producto determinado baja de precio y deja de ser rentable, una finca diversificada tiene la opción de ofrecer otros productos que tengan mejor precio en el mercado y, así, asegurar el ingreso de recursos económicos.	
	Si las prácticas de restauración implementadas aumentan la diversificación productiva de una finca, entonces se pueden extender a otras áreas de la propiedad.

### 3. Actividades de mantenimiento de áreas intervenidas

El mantenimiento es una etapa imprescindible en un proyecto de restauración. Comprende un conjunto de actividades planificadas que se realizan periódicamente, con el fin de mejorar las condiciones ambientales y, así, favorecer el establecimiento y supervivencia de las plantas sembradas. Además, contribuye a acelerar el proceso de restauración mediante el manejo de barreras de la regeneración natural.

Las actividades de mantenimiento se llevan a cabo en las estrategias en las que se interviene de manera activa (es decir, regeneración natural manejada, restauración asistida, agroforestería, silvopasturas, forestería análoga y plantaciones forestales sucesionales). En las áreas bajo la estrategia de regeneración natural pasiva (ver Módulo 2), no se realiza mantenimiento, aunque, si durante el monitoreo se observa que no se está cumpliendo el objetivo establecido en la planificación del proyecto, se podría cambiar de estrategia y aplicar el mantenimiento que sea pertinente según las condiciones del área.

Además, experimentos en algunas especies demuestran que el mantenimiento influye de manera positiva en la supervivencia y desarrollo de las plantas (incremento de altura, diámetro basal, volumen de madera, diámetros de copa) (Craven *et al.* 2009). No obstante, si no existen los recursos humanos y/o económicos asegurados para realizar el mantenimiento luego de la primera intervención, es mejor no iniciar el proyecto, porque lo más probable es que los recursos invertidos inicialmente se pierdan con el paso del tiempo.

A continuación, se presenta algunas de las actividades de mantenimiento más comunes, consideradas las más necesarias para mantener las prácticas de restauración propuestas en esta Serie.



#### 3.1. Erradicación de especies invasivas

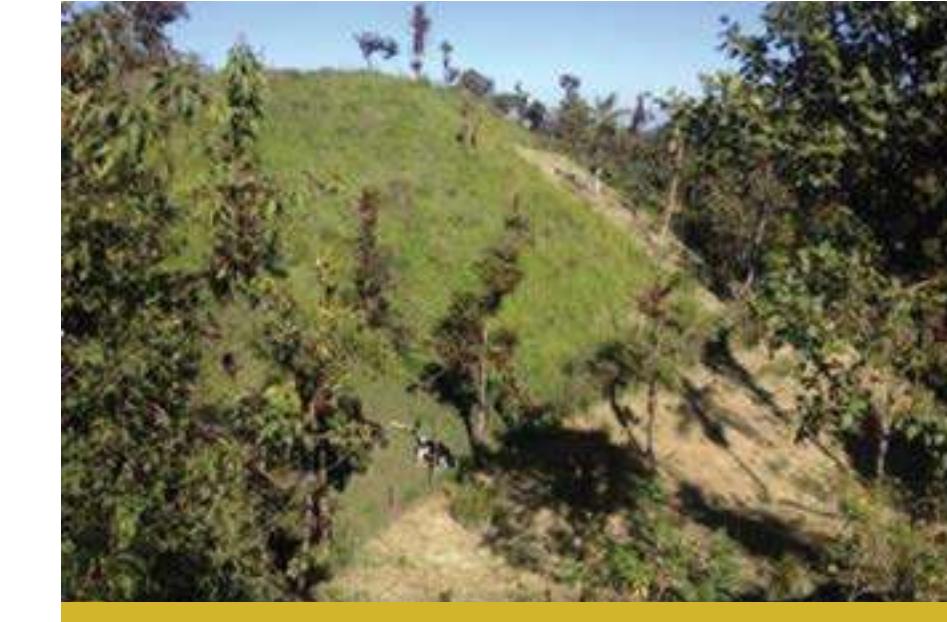
Esta actividad consiste en la eliminación o control de vegetación que impide o limita el crecimiento de las plantas sembradas o de la regeneración natural. Es prioritaria en áreas con pastos, helechos u otras **plantas invasivas** que crecen rápidamente y que cubren totalmente a los individuos sembrados provocando su muerte o deteniendo su desarrollo. Esta actividad favorece el crecimiento de los individuos plantados porque evita competencia por nutrientes, agua y luz (Román *et al.* 2007). La erradicación de especies invasivas se realizará a través de un coronado o mediante la eliminación de la especie invasiva en la totalidad del área de intervención.

El coronado consiste en la limpieza de la vegetación aledaña a una planta sembrada, con el uso de un machete o un azadón, dejando un área descubierta de vegetación de 1 m alrededor de la planta. En el caso de siembra de especies secundarias y maduras tardías en pastos, el coronado no debe ser muy amplio (~ 0,50 m de diámetro). En época de sequía, es mejor no realizarlo ya que las plantas no deben quedar totalmente expuestas al sol; las especies dentro de estos grupos sucesionales necesitan mayor

humedad y sombra para desarrollarse y el pasto provee algo de protección (Román *et al.* 2007). Esta actividad debe realizarse con una frecuencia de tres meses durante los dos o tres primeros años de establecimiento de la práctica (Craven *et al.* 2009, Holl *et al.* 2011). No obstante, debe ser evaluada en cada sitio, de acuerdo con el régimen de lluvias del área y al ciclo de crecimiento de las especies invasivas. Si las lluvias son frecuentes, es probable que se deba implementar esta actividad con mayor frecuencia (p. ej. cada dos meses); al contrario, si las lluvias son escasas, se podría espaciar un poco más el tiempo (p. ej. cada cuatro meses).

Para la eliminación de una especie en toda el área de intervención, se puede aplicar herbicidas, preferiblemente orgánicos; estos constituyen una forma rápida de eliminación. Su uso debe ser limitado, porque también pueden reducir la densidad de regeneración vegetativa (rebrotos) de árboles, arbustos, lianas y hierbas. Incluso, hay algunas especies cuyas raíces mueren y desaparecen del área por el uso, inadecuado o excesivo, de este producto. En áreas con pendiente y lluvias fuertes, no se recomienda su uso ya que el resultado será un suelo desnudo con alta vulnerabilidad a la erosión (Griscom *et al.* 2009). No obstante, si se quiere promover el crecimiento de especies pioneras que germinen a partir de semillas, el uso de herbicidas puede ser beneficioso porque elimina la cobertura del suelo, permitiendo el ingreso de luz para que las semillas germinen (Griscom *et al.* 2009). En estos casos, se recomienda la aplicación una vez al año durante los tres primeros años de intervención (Craven *et al.* 2009).

Las actividades de erradicación se deben realizar en la **fase fenológica** apropiada para garantizar su efectividad; es decir, cuando el pasto está con una altura media y antes de que se produzcan semillas (Prach *et al.* 2007). La erradicación de especies invasivas en toda un área también se realiza con machete o motoguadaña, cada tres o cuatro meses dependiendo del tipo de pasto o hierba invasiva (Figura 17). Sin embargo, cuando se realiza esta actividad luego de que las plantas ya están sembradas y ha iniciado un proceso de regeneración natural, es sumamente importante combinarla con el coronado, para ubicar y demarcar a los individuos de interés, sembrados y de la regeneración natural, y evitar su muerte accidental.

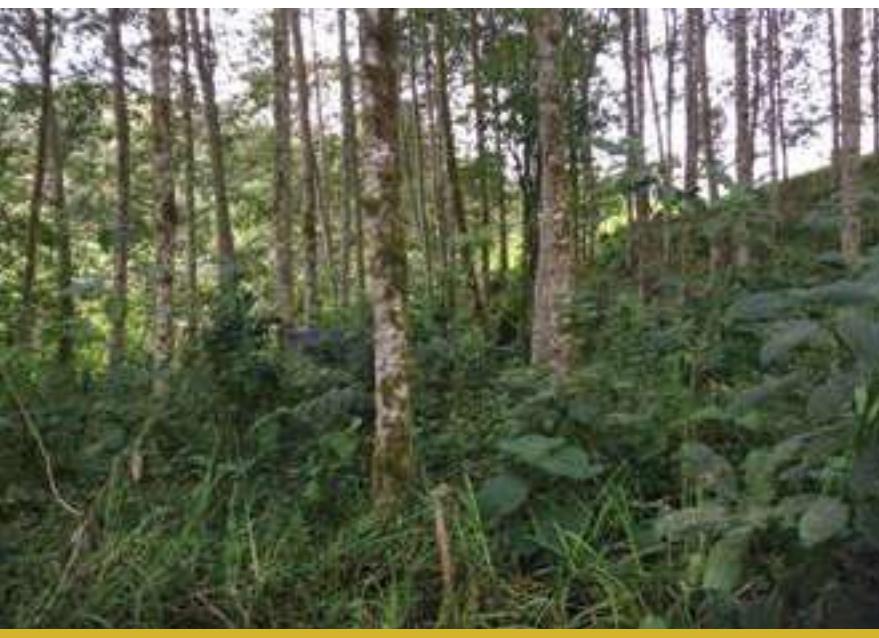


**Figura 17.** Mantenimiento de área de restauración con uso de motoguadaña para el control de pasto invasivo (Nanegalito). El área intervenida es aquella zona inferior descubierta de pasto. Foto Nina Duarte.

No siempre se debe aplicar los dos métodos de erradicación. Esto depende de los recursos disponibles y del tipo de especie que se desea eliminar. Si la planta invasiva no permite el desarrollo de la regeneración natural, es mejor aplicar los dos métodos; sin embargo, si se observa el desarrollo de algunas plantas de la regeneración en el área, un coronado alrededor de los individuos de interés es suficiente.

### 3.2. Abonado

La fertilización con abonos orgánicos es importante en suelos degradados, para acelerar y promover el crecimiento de los individuos plantados. No obstante, el uso de fertilizantes representa un costo extra para las actividades de restauración y la necesidad de aplicación debe ser evaluada de acuerdo con el nivel de degradación del suelo y las especies plantadas. De esta manera, en suelos cuyo uso previo fue destinado a la ganadería, es necesario aplicar fertilizante en el momento de la siembra



es altamente recomendable realizar el abonado de las especies de interés. Por ejemplo, en silvopasturas, el fertilizante acelera el desarrollo de los individuos sembrados, reduciendo el tiempo de aislamiento del potrero o mantenimiento de las cercas de protección de plantas.

Por otro lado, en áreas donde el suelo mantiene sus características de estructura y fertilidad (p. ej. bosque degradado en proceso de recuperación en el que se realiza un enriquecimiento con algunas especies de interés), no es necesario aplicar fertilizante para el desarrollo de los individuos plantados.

Adicionalmente, los fertilizantes se deben aplicar de forma localizada porque, así como promueven el crecimiento de los individuos sembrados, también pueden promover el establecimiento y crecimiento de herbáceas que no son de interés (Holl 2012).

y durante cada mantenimiento, porque seguramente el suelo es pobre en nutrientes.

En el mismo escenario, si se planta especies pioneras adaptadas a crecer en suelos con baja cantidad de nutrientes, no es necesaria la aplicación de este recurso ya que los individuos crecerán sin inconveniente. El caso será diferente para especies de grupos sucesionales secundarios o maduros, ya que requieren suelos fértilles para desarrollarse; por ende, el fertilizante aportará positivamente a su crecimiento y supervivencia. En el caso de estrategias de restauración enfocadas en la producción,

### 3.3. Corte selectivo de especies - raleo y podas

#### 3.3.1. RALEO

El raleo es el corte o eliminación de una proporción de árboles o arbustos que dominan un área de restauración, que interfieren en el crecimiento de los individuos de interés. Se utiliza en el manejo de plantaciones forestales y agroforestales para seleccionar las especies o individuos con mejor desarrollo y eliminar las que presentan un mal crecimiento o mala formación. El raleo sirve para estimular el crecimiento del diámetro del fuste para producir árboles vigorosos, así como para conducir el proceso de sucesión ecológica, seleccionando y favoreciendo especies de interés particular. En esta Serie, el raleo se considera como una práctica de manejo de la sucesión y facilitación del proceso de restauración ecológica.

Hay algunas especies pioneras a las que se debe aplicar el raleo debido a su fácil y rápida propagación; estas desplazan e impiden el desarrollo de otras especies por ser fuertes competidoras. La ventaja de estas es que cumplirán con una función rápida de aporte de nutrientes y desplazarán a especies invasivas como pastos, helechos y otras hierbas que son tolerantes al sol. Sin embargo, una vez que han cumplido con su función, se debe hacer un raleo parcial (algunos individuos y otros se dejan) o total (se eliminan todos los individuos de la especie), dependiendo de si aún necesitamos a la especie para cumplir alguna función o si ya queremos eliminarla totalmente para dar paso a otras especies. Estas especies irán desapareciendo gradualmente, conforme aumenta la sombra generada por el desarrollo de otras especies.

Un ejemplo concreto es *Tithonia diversifolia* (botón de oro o girasol de monte), un arbusto que genera rápida e intensa cobertura del suelo. Una vez que esta especie ha aportado con nutrientes y ha debilitado el pasto, se debe eliminar a todos los individuos, o a la mayoría, para permitir el desarrollo de otras especies de interés (Figura 18).



**Figura 18.** Área con manejo de *T. diversifolia* (botón de oro o girasol de monte), donde se observa el raleo parcial de individuos de la especie y la acumulación de biomasa en el suelo, como producto del raleo, Nanegalito, Ecuador. Foto: Nina Duarte.

Otro ejemplo común en el noroccidente de Pichincha es la invasión rápida y cobertura total de la especie conocida como pigua (*Acalypha diversifolia*). Esta puede ser usada en procesos iniciales de restauración para eliminar el pasto. La pigua es un arbusto que forma matorrales densos (conocidos como pigual), que impiden el paso de luz al suelo, y que, además, retienen la hojarasca suspendida entre sus ramas; por este motivo, son capaces de detener los procesos de regeneración natural. Cuando esta situación se presenta, lo más recomendable es realizar el corte total del arbusto, enriquecer el área con otras especies y mantener un manejo periódico de los rebrotes de pigua hasta que las especies secundarias ocupen el estrato superior.

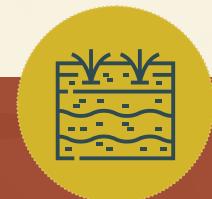
### 3.3.2. PODAS

Consiste en eliminar ramas vivas o muertas de un arbusto o árbol, sin ocasionar la muerte del individuo.

Las podas en áreas de restauración son utilizadas especialmente para:



Producir madera de buena calidad, libre de nudos.



Aportar materia orgánica o nutrientes al suelo para acelerar el proceso de recuperación del mismo.



Reducir la cobertura o biomasa de arbustos y árboles que impiden el desarrollo de otras especies de interés y, de esta manera, conducir el desarrollo de la sucesión y la formación de estratos verticales en un bosque.

Una práctica común es la poda de especies aboneras o **abonos verdes**, como el porotón (*Erythrina spp*) o yuca ratón (*Gliricidia sepium*). Estas especies tienen una alta capacidad de rebrote, de producción de biomasa, y de fijación de nitrógeno, por lo que son sembradas para ayudar a la recuperación del suelo. Con este fin, son podadas de 2 a 4 veces al año, y el material vegetal producido es incorporado o dispuesto sobre el suelo para que, a través de su fácil descomposición, los nutrientes generados sean asimilados por los cultivos.

Es importante tener cuidado en la disposición de la biomasa generada por el raleo y podas, especialmente en el caso de especies invasivas, ya que muchas de ellas se desarrollan a partir de una estaca o rama. El material debe ser acumulado en líneas de manera que se reduzca la entrada de luz que promueve el rebrote (Figura 19). En el caso de que haya pendiente,

se recomienda que las líneas sean perpendiculares a la pendiente para reducir la erosión o crear trampas de sedimentos, que son áreas donde se acumula el suelo arrastrado por la inclinación. También se puede colocar en la base de las especies de interés para reducir el crecimiento de plantas espontáneas competitivas y funcionar como abono directo.



**Figura 19.** Ubicación de desecho de podas de *Tithonia diversifolia* (botón de oro o girasol de monte), en líneas para evitar el ingreso de luz y el rebrote de las plantas podadas. Foto: Nina Duarte.

### 3.4. Replante de individuos

Después de tres meses de la siembra de individuos, se debe realizar el replante de los individuos que se hayan muerto. Esta actividad está directamente relacionada con el monitoreo; previo a la resiembra, realizamos un conteo de la cantidad de individuos muertos por especie. Aquellas especies que no hayan tenido éxito porque reportan menos del 50% de supervivencia, será mejor reemplazar por otra especie con mayor éxito, o se debe evaluar el factor que generó una alta mortalidad para corregir la situación antes de volver a sembrar otros individuos.

## 4. Glosario

**Abonos verdes:** plantas que se cultivan para cumplir con la función de fertilizante natural, aportando nutrientes al suelo y mejorando su calidad.

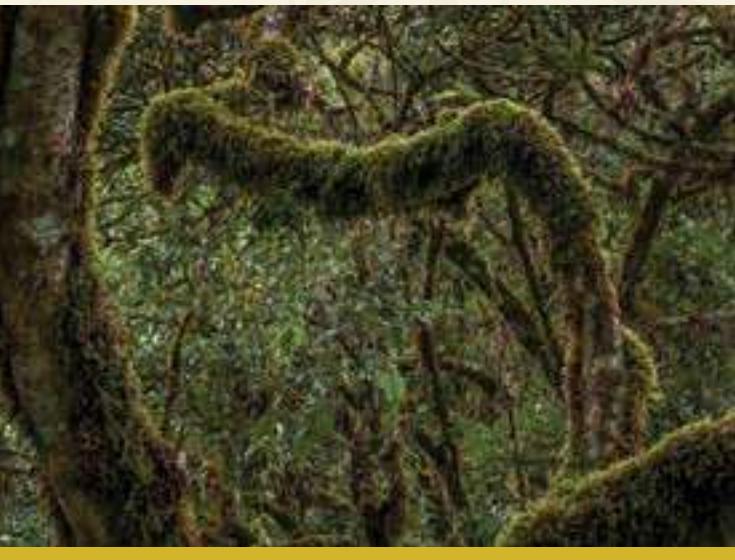
**Atributos ecosistémicos:** características de un ecosistema que se pueden estimar o medir y que lo definen, diferenciándolo de otros ecosistemas.

**Caudal:** cantidad de agua que pasa por un punto determinado durante un tiempo determinado; se mide en litros por segundo.

**Clinómetro:** instrumento que sirve para medir el grado de la pendiente de un punto a otro.

**Equipo multiparamétrico:** instrumento digital para la medición rápida y precisa de atributos del agua (pH, conductividad y sólidos disueltos totales).

**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.





**Extrapolar:** proceso de inferir o estimar nuevos valores a partir de las observaciones parciales o previas de un parámetro. Permite proyectar datos de una escala pequeña (muestra) a una escala mayor (totalidad de la población).

**Fase fenológica:** etapa biológica o ciclo en el que se encuentra una planta (floración, fructificación) y que es dependiente de los factores ambientales, como el clima.

**Hipsómetro:** instrumento usado para calcular la altura de objetos, usando como base el ángulo y la distancia entre el observador y el objeto.

**Identificación taxonómica:** clasificación u ordenación de individuos de acuerdo con la especie o grupo taxonómico (subespecie, especie, género, familia) al que pertenecen. Para la clasificación, se toma en cuenta las características morfológicas, principalmente.

**Indicador:** variable o conjunto de variables (que generan un único valor) fáciles de medir y comprender; representan una condición actual con respecto a una característica de interés y reflejan alteraciones o tendencias de cambio en el tiempo.

**Inferir:** determinar valores de un parámetro determinado en una población, a partir de una muestra; permite hacer deducciones de una totalidad, a partir de una porción de esa totalidad.

**Morfoespecies:** individuos que son separados y diferenciados de otros individuos, basándose en la similitud de sus caracteres morfológicos.

**Números aleatorios:** números que resultan de una selección realizada al azar durante un intervalo específico.

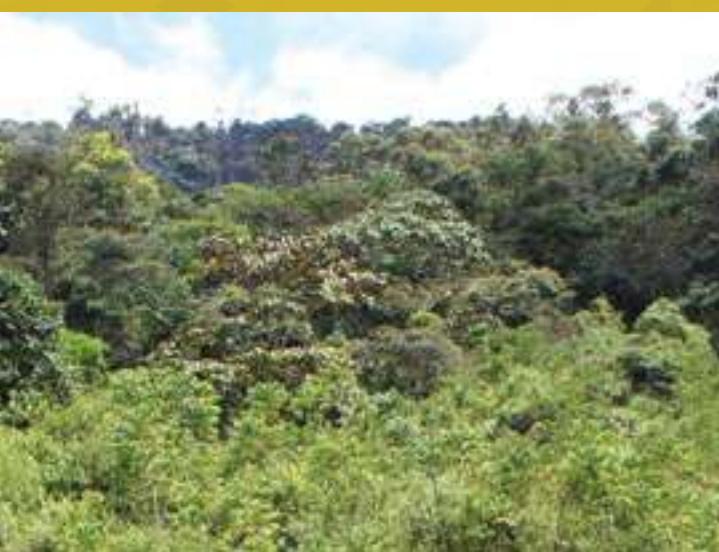
**Plantas invasivas (especie invasiva):** especie que no ocurre naturalmente en el ecosistema de origen y que ha sido introducida de manera intencional o accidental. Se caracteriza por sus altas tasas de crecimiento, reproducción y dispersión; tienen una fuerte capacidad de adaptarse a ambientes nuevos y colonizarlos.

**Población:** conjunto de individuos de la misma especie (tanto flora como fauna) que habitan un mismo espacio geográfico y que interactúan entre sí y con otras poblaciones.

**Procesos ecológicos:** flujos de energía y materia entre el medio biótico y abiótico dentro de un ecosistema (p. ej. ciclo del agua, ciclos biogeoquímicos, flujo de energía en la cadena trófica y dinámicas de las comunidades).

**Relevancia biofísica:** importancia y sensibilidad de un parámetro o variable para determinar el estado de las características físicas o biológicas de un ecosistema.





**Servicios ecosistémicos:** beneficios que obtienen las poblaciones humanas del funcionamiento adecuado de los ecosistemas naturales (p. ej. ciclaje de nutrientes, provisión y regulación de agua).

**Transecto de doble banda:** técnica de muestreo para el registro de datos biológicos, que consiste en un transecto lineal de una longitud determinada, con un ancho fijo a cada lado.

**Variable:** característica del ecosistema que está sujeta a cambios y que puede ser medida con una técnica estandarizada.

## 5. Referencias bibliográficas

**Arshad, M. A., Lowery, B. y Grossman, B.** 1996. Physical Tests for Monitoring Soil Quality. Páginas 123–141 Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication, Madison, Estados Unidos de América.

**Arshad, M. A. y Martin, S.** 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems, 88: 153-160.

**Block, W., Franklin, A., Ward, J., Ganey, B. y White, G.** 2001. Implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife, 9: 293-303.

**Calles, J.** 2016. Manual de monitoreo hídrico participativo. CONDESAN, Quito.

**Carter, M. R.** 2002. Soil quality for sustainable land management, 94: 38-47.

**Craven, D., Hall, J. y Verjans, J. M..** 2009. Impacts of herbicide application and mechanical cleanings on growth and mortality of two timber species in *Saccharum spontaneum* grasslands of the Panama canal watershed, 17: 751-761.

**Duarte, N., Cuesta, F., Terán, A., Pinto, E., Arcos, I., Solano, A. y Torres, O.** 2017. Monitoreo de Áreas de Restauración Ecológica en los Bosques Montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador. CONDESAN, Fundación Imaymana, Quito.

**Espinosa, J., Moreno, J. y Bernal, G. editores.**

2018. The Soils of Ecuador. Springer International Publishing, Suiza.

**Flores, L. y Alcalá, J.** 2010. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

**Griscom, H. P., Griscom, B. W. y Ashton, M.** 2009. Forest regeneration from pasture in the dry tropics of Panama 17: 117-126.

**Holl, K. D.** 2012. Restorarion of tropical Forests. Páginas 103–114 Restoration Ecology: The New Frontier. Segunda edición. Blackwell Publishing, Reino Unido.

**Holl, K. D., Zahawi, R. A., Cole, R. J., Osterstag, R. y Cordell, S.** 2011. Planting seedlings in tree islands versus plantations as a large-scale tropical forest restoration strategy, 19: 470-479.

**McCune, B. y Grace, J. B.** 2002. Analysis of Ecological Communities. MJM Software Design, Estados Unidos de América.

**MINAGRI.** 2015. Manual No. 5. Medición de agua. Segunda edición. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, Lima, Perú.

**Ministerio del Ambiente Ecuador.** 2015. Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua. Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ministerio del Ambiente.

**Molina-Bolívar, G., Jiménez-Pitre, I. y Acevedo-Correa, D.** 2017. Cuantificación de coliformes totales en estuario del río Ranchería.

**Mostacedo, B. y Fredericksen, T.** 2000. Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia.

**Murcia, C., Guariguata, M. R. y Montes, E.** 2015. Estado del monitoreo de la restauración ecológica en Colombia. Páginas 17-49 Monitoreo a Procesos de Restauración Ecológica Aplicado a Ecosistemas Terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

**Osinaga-Acosta, O., Báez, S., Cuesta, F., Carrilla, J., Malizia, A., Malizia, L. R., Grau, R., Brown, A. y Lomascolo, T.** 2014. Módulo 1. Monitoreo de especies arbóreas. Páginas 20-60 Monitoreo de Diversidad Vegetal y Carbono en Bosques Andinos. Protocolo Extendido. Versión 1. CONDESAN/ IER-UNT/ CO-SUDE, Quito, Ecuador.

**Prach, K., Marrs, P., Pysek, P. y van Diggelen, R.** 2007. Manipulation of Succession. Páginas 121-149 Linking Restoration and Ecological Succession. Springer Science+Business Media, Nueva York, Estados Unidos de América.

**Román, F., Levy, S., Perales, H., Ramírez, N., Douterlungne, D. y López, S.** 2007. Establecimiento de seis especies arbóreas nativas en un pastizal degradado en la selva Lacandona, Chiapas, Mexico, 6: 1-8.

**Romeu-Álvarez, B., Larrea-Murrell, J., Luogo-Moya, D., Rojas-Hernández, N. y Heydrich-Pérez, M.** 2012. Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba 43.

**Vargas, O.** 2007. Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

# Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Transecto de doble banda de 50 x 2 m.	24
<b>Figura 2.</b> Transecto instalado en un sistema silvopastoril.	25
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de ubicación de transectos al azar con el uso de cuadrícula y números al azar.	26
<b>Figura 4.</b> Pantalla del equipo multiparamétrico.	27
<b>Figura 5.</b> Sección longitudinal (A) y sección transversal (B) de un río.	29
<b>Figura 6.</b> Ejemplo de un área con diferentes grados y exposición de la pendiente.	30
<b>Figura 7.</b> Método de promedio corrido.	32
<b>Figura 8.</b> Ejemplo de curva de acumulación de especies.	34
<b>Figura 9.</b> Medición del diámetro de una plántula en cruz (frontal y lateral)	36
<b>Figura 10.</b> Medición de individuos con DAP $\geq$ 5 cm.	37
<b>Figura 11.</b> Medición de altura de individuos juveniles plantados en un área en proceso de restauración.	37
<b>Figura 12.</b> Medición de la altura de los árboles con clinómetro o hipsómetro.	37
<b>Figura 13.</b> Estructura vertical de un bosque maduro.	47
<b>Figura 14.</b> Cambio en la estructura vertical del bosque a medida que se recupera de un incendio.	48
<b>Figura 15.</b> Cuadrante de 1 m <sup>2</sup> para estimación de cobertura de suelo.	49
<b>Figura 16.</b> Ejemplo ilustrativo para medir cobertura de suelo.	50
<b>Figura 17.</b> Mantenimiento de área de restauración.	63
<b>Figura 18.</b> Área con manejo de <i>T. diversifolia</i> (botón de oro o girasol de monte)	66
<b>Figura 19.</b> Ubicación de desecho de podas de <i>Tithonia diversifolia</i> (botón de oro o girasol de monte)	68

# Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Extensión y superficie que cubren los bosques montanos en los países de la región andina (2009).	5
<b>Tabla 2.</b> Enfoques abordados en la guía de restauración	16
<b>Tabla 3.</b> Indicadores priorizados con sus respectivas variables de medición en campo	20
<b>Tabla 4.</b> Datos de muestras de densidad aparente de suelo	32
<b>Tabla 5.</b> Datos de número de especies acumuladas a medida que aumentan los transectos	34
<b>Tabla 6.</b> Ejemplo de formulario para sistematizar los datos de las variables “diversidad de especies arbóreas y arbustivas” recogidas en campo.	38
<b>Tabla 7.</b> Ejemplo de formulario de campo para datos de parámetros de agua para monitorear la calidad de un cuerpo de agua.	39
<b>Tabla 9.</b> Rangos de alturas de árboles y su relación con el estado de recuperación del área.	47
<b>Tabla 10.</b> Ejemplo para calcular la cobertura de suelo en un transecto con tres cuadrantes	50
<b>Tabla 11.</b> Valores referenciales de densidad aparente obtenidos en bosques montanos, secundarios con más de 25 años de recuperación.	52
<b>Tabla 12.</b> Valores referenciales de materia orgánica de suelo obtenidos mediante el muestreo de carbono en bosques montanos, secundarios con más de 25 años de recuperación.	55
<b>Tabla 13.</b> Límites máximos permisibles de calidad de agua para distintos usos	

# Índice de Cajas

<b>Caja 1.</b> Metodologías para medición de variables de calidad y cantidad de agua	27
<b>Caja 2.</b> Metodología para muestreo de suelo, densidad aparente y análisis químico	33
<b>Caja 3.</b> Medición de diámetro y altura de plantas	36



**CONDESAN**  
Centro de Desarrollo Sustentable  
Diseño para el 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

