

# MONITOREO DE ÁREAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LOS BOSQUES MONTANOS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR

7

Serie de Protocolos de Monitoreo

Versión 1 • 2017



## PROTOCOLO 7

# MONITOREO DE ÁREAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LOS BOSQUES MONTANOS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR

Serie de Protocolos de Monitoreo

Versión 1 • 2017



**CONDESAN**

Consortio para el Desarrollo Sostenible  
de la Ecorregión Andina



Fundación  
**IMAYMANA**

**ECOANDES**



Manejo sostenible de paisajes de montaña frente al cambio climático

Con el apoyo de:

**ONU**  
medio ambiente

Programa de las Naciones  
Unidas para el Medio Ambiente



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el desarrollo  
y la cooperación COSUDE



**HELVETAS**  
Swiss Intercooperation

## **CONSORCIO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ECORREGIÓN ANDINA - CONDESAN**

Oficina en Lima-Perú:

Av. La Molina 1895

Lima 12

Teléfono: +51 1 618 9400

Oficina en Quito-Ecuador:

Germán Alemán E12-123 y

Carlos Arroyo del Río

Teléfono: +593 2 2248491

[condesan@condesan.org](mailto:condesan@condesan.org)

[www.condesan.org](http://www.condesan.org)

## **FUNDACIÓN IMAYMANA**

Paltapamba S2-21

San Pedro del Valle, Nayón

Quito, Ecuador

Tel. +593 9 95311625

[www.imaymaneforestconservation.org](http://www.imaymaneforestconservation.org)

**© Quito 2017 / CONDESAN**

**Editor técnico:**

Karim Musalem

**Diseño y diagramación:**

Saskia Flores V.

**Ilustraciones:**

Freepik.com

**Fotografías:**

Nina Duarte

# **PROTOCOLO PARA MONITOREO DE ÁREAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LOS BOSQUES MONTANOS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR**

**Versión 1 - Año 2017**

## **AUTORES:**

Nina Duarte, Fundación Imaymana, duarte\_silv@yahoo.com.br  
Francisco Cuesta, CONDESAN, francisco.cuesta@condesan.org  
Andrea Terán, CONDESAN, andrea.teran@condesan.org  
Esteban Pinto, CONDESAN, esteban.pinto@condesan.org  
Inty Arcos, Fundación Imaymana y CONDESAN, inty.arcos@condesan.org  
Alejandro Solano, Fundación Imaymana, jhalezion@gmail.com  
Oliver Torres, Fundación Imaymana, olivertorres45@hotmail.com

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. El Programa Bosques Andinos es implementado en consorcio con Helvetas Swiss Intercooperation y financiado por la Cooperación Suiza, COSUDE. Dentro del sitio de intervención PICHINCHA, el Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos mantienen un asocio con la Fundación Imaymana (quienes desarrollan en campo diferentes experiencias de restauración ecológica) y la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito para su implementación.

## **Favor citar este documento de la siguiente forma:**

Duarte, N., F. Cuesta, A. Terán, E. Pinto, I. Arcos, A. Solano y O. Torres. Protocolo para monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador. CONDESAN, Fundación Imaymana. Quito - Ecuador.



## Presentación

Las iniciativas de restauración ecológica están adquiriendo mayor relevancia para revertir los procesos de degradación ambiental. Como nunca antes, necesitamos herramientas para comprender y cuantificar los avances en este sentido y guiar nuestros esfuerzos para tener un mayor éxito con los limitados recursos que se destinan a la restauración. El presente protocolo de monitoreo es un esfuerzo de científicos, profesionales y trabajadores del campo para alcanzar estos fines en la bioregión del Chocó Andino, y además representa un insumo importante para iniciativas de restauración en otros paisajes de bosque en la región Andina.

Este documento propone y aplica un marco de monitoreo que permitirá comprender de forma metódica y clara los ensayos de restauración ecológica analizados. También contribuye directamente a la realidad local y a las áreas del Proyecto Binacional EcoAndes y el Programa Bosques Andinos, que actualmente están sirviendo como pioneras regionales. A su vez, el protocolo contribuirá a la ciencia de la ecología de la restauración, y apoyará a cientos de investigadores que en todo el mundo impulsan, mediante la generación de conocimiento, la noble actividad de recuperar la biodiversidad y las funciones de ecosistemas afectados por un manejo insostenible.

Sin duda, el reto principal será cumplir con los plazos necesariamente largos que conllevan estas transformaciones, y el replicar y hacer extensiva la práctica de la restauración ante las presiones que siguen, aun actualmente, empujando a un deterioro de los ecosistemas y sus servicios a la humanidad.

**José M. Rey Benayas**

Universidad de Alcalá y Fundación Internacional de Restauración de Ecosistemas  
University of Alcalá and International Foundation for Ecosystems Restoration



# Contenidos

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>01</b>
<b>02</b>	Conceptos generales sobre restauración ecológica
<b>05</b>	¿Por qué restaurar ecosistemas degradados y los servicios asociados?
<b>06</b>	¿Cuándo y dónde restaurar ecosistemas degradados?
<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>	<b>09</b>
<b>09</b>	¿Por qué hacer monitoreo?
<b>09</b>	¿Qué es un ecosistema restaurado?
<b>11</b>	Objetivos del protocolo
<b>11</b>	Estructura del protocolo y aspectos generales
<b>UNIDAD DE MUESTREO</b>	<b>19</b>
<b>METODOLOGÍA PARA LOS INDICADORES</b>	<b>25</b>
<b>26</b>	Indicador 1.1.1 Mortalidad y sobrevivencia
<b>28</b>	Indicador 1.1.2 Diversidad de especies arbustivas y arbóreas

32	Indicador 1.1.3 Grupo sucesional
34	Indicador 1.1.4 Formas de vida
36	Indicador 1.2.1 Productividad Primaria Bruta
40	Indicador 1.2.2 Densidad aparente de suelos
42	Indicador 1.2.3 Fertilidad del suelo
44	Indicador 1.2.4 Humedad del suelo
48	Indicador 1.3.1 Número de estratos
49	Indicador 1.3.2 Cobertura del suelo
50	Indicador 2.1.1 Costo del establecimiento del área
51	Indicador 2.1.2 Costos de mantenimiento
<b>SUPUESTOS Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO</b>	<b>53</b>
53	Consideraciones finales
<b>REFERENCIAS</b>	<b>55</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>67</b>

# Índice de tablas y figuras

## TABLAS

---

- 04** Tabla 1. Ecosistemas de referencia de los bosques montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador
- 13** Tabla 2. Criterios utilizados en el protocolo de monitoreo para áreas de restauración ecológica
- 15** Tabla 3. Resumen de la estructura del protocolo de monitoreo
- 22** Tabla 4. Características de las unidades de muestreo en las áreas experimentales del sitio Pichincha

## FIGURAS

---

- 05** Figura 1. Deforestación bruta en la región noroccidente de Pichincha, Ecuador
- 07** Figura 2. Mapa de ubicación de áreas experimentales del proyecto EcoAndes, Pichincha
- 12** Figura 3. Estructura jerárquica del protocolo de monitoreo de áreas de restauración ecológica
- 20** Figura 4. Diseño para el establecimiento de parcelas y sub-parcelas para el monitoreo de áreas
- 20** Figura 5. Ubicación de parcelas y sub-parcelas en áreas experimentales de restauración ecológica
- 21** Figura 6. Proceso de instalación de parcelas y sub-parcelas en áreas experimentales de restauración
- 21** Figura 7. Detalle de anotación en campo para identificación de sub-parcela



## Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a Juan Diego Ortiz, por sus aportes y retroalimentación de la metodología en campo y a Manuel Peralvo por la revisión de una primera versión del manuscrito. Así mismo, la validación del protocolo en el campo no habría sido posible sin el apoyo de los propietarios de las áreas experimentales, a quienes expresamos nuestra gratitud, Miguel Torske, Leopoldo Arcos, Carolina Dávalos y Juan Diego Ortiz.

Este documento ha sido realizado 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)). Dentro del sitio de intervención PICHINCHA, el Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos mantienen un asocio con la Fundación Imaymana y la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito para su implementación.

## Resumen

### **Protocolo para Monitoreo de Áreas de Restauración Ecológica en los Bosques Montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador**

Considerando que un gran número de áreas alrededor del mundo han perdido su funcionalidad ecológica y como tal han disminuido o perdido su capacidad productiva, tanto ecosistémica como agrícola y que los recursos destinados a la restauración son comúnmente limitados, se vuelve crucial identificar estrategias adaptativas exitosas basadas en el terreno que puedan simultáneamente ayudar con los esfuerzos de conservación así como proveer a las familias con alternativas de producción sustentable. En este libro, presentamos un protocolo dirigido al monitoreo y evaluación de la restauración ecológica en los bosques montanos de la cordillera occidental del Ecuador. El protocolo propuesto utiliza diez indicadores relacionados con criterios ecosistémicos de composición, funcionalidad, y estructura y dos indicadores relacionados con un criterio económico enfocados en los costos asociados a los ejercicios de restauración. La construcción de esta herramienta se sustenta en el conocimiento práctico originado del establecimiento de seis sitios experimentales de restauración en áreas con diferentes niveles de degradación de prioridad local para la conservación en la región. Los sitios de restauración fueron ubicados en tres tipos de bosque considerando distintos diseños y objetivos de investigación. Otro valioso insumo fueron los protocolos de monitoreo de restauración y metodologías ya propuestos y utilizados por otros autores y agencias, no obstante, en condiciones ecológicas y socio-económicas diferentes a la nuestra. Estas contribuciones fueron adaptadas y moldeadas a la realidad específica de nuestra eco-región resultando en la presente herramienta que tiene como intención apoyar futuras experiencias y personas, practicantes e investigadores por igual, trabajando en restauración ecológica.

**Palabras clave:** Diseños, Criterios, Indicadores, Metodologías, Bosques montanos tropicales.

## Abstract

### **Monitoring Protocol for Ecological Restoration Areas in Montane Forests of the Western Cordillera of Ecuador**

Considering that a large number of areas around the world have lost their ecological functionality and as such have diminished or lost their productive capacity, both ecosystemic and agricultural, and that resources destined for restoration are often limited, it becomes crucial to identify successful ground-based adaptive restoration strategies, which can simultaneously help with conservation efforts as well as provide families with sustainable production alternatives. In this book, we present a protocol directed to monitor ecological restoration of the tropical montane forest in Ecuador.

The proposed protocol uses ten indicators related to ecosystemic criteria of composition, functionality, and structure and two indicators related to an economic criterion focused on the costs associated with restoration exercises. The construction of this tool is based on the practical knowledge originated from the establishment of six experimental sites in areas with different levels of degradation. Considered of local priority for conservation in the region. Restoration sites were located in three forest types considering different designs and restoration objectives. Another valuable input were other restoration monitoring protocols and methodologies already proposed and used by other authors and agencies, albeit, under different ecological and socio-economical settings from ours. These contributions were adapted and moulded to the specific reality of our eco-region resulting in the present tool intended to support future experiences and people -practitioners and scientists alike- working in ecological restoration.

**Key words:** Designs, Criterions, Indicators, Methodologies, Tropical montane forest.



# Introducción

La ecología de la restauración es una ciencia multidisciplinaria relativamente nueva que integra elementos de la ecología de comunidades, de la ecología funcional, del paisaje y de la biología y ecología básica de las especies utilizadas para promover acciones de restauración. Con el desarrollo del conocimiento sobre los procesos y funcionamiento de los ecosistemas, los sistemas de restauración ecológica han pasado de ser simples plantaciones silviculturales, a la recreación de ecosistemas más complejos y sus funciones que pueden responder al mantenimiento y generación de bienes y servicios ambientales (Rodrigues y Gandolfi 2001, Brancalion *et al.* 2015). Sin embargo, la carencia de investigaciones orientadas a monitorear en el mediano y largo plazo las áreas restauradas, y los vacíos en el conocimiento sobre el funcionamiento de diferentes ecosistemas tropicales, en particular los de montaña, aún son grandes desafíos para la ciencia y los profesionales relacionados al tema. En este sentido, la práctica de la restauración en campo, juega un papel importante para retroalimentar técnica y científicamente a la ecología de la restauración (Rodrigues y Gandolfi 2001).

La necesidad de evolucionar el concepto y mejorar las prácticas de restauración ecológica, es lo que hace del monitoreo una de las etapas más importantes del proceso de restauración, ya que permite un análisis continuo de los métodos y estrategias aplicadas, y de cómo éstas actúan, o no, en la recuperación de las áreas degradadas en función de los objetivos de restauración planteados (Aguilar-Garavito y Ramírez 2015b, Brancalion *et al.* 2015, Rigueira y Mariano-Neto 2013).

En el marco del Proyecto Binacional EcoAndes: “Multiplicando los beneficios ambientales y sociales proveídos por la biodiversidad y los reservorios de carbono de los ecosistemas Alto Andinos” y del Programa Bosques Andinos, se han establecido un conjunto de ensayos de restauración en diferentes tipos de áreas degradadas en los bosques montanos con el propósito de evaluar los efectos de diferentes prácticas de restauración sobre la diversidad vegetal, el almacenamiento de carbono y algunas propiedades físicas del suelo. Se espera que estos experimentos aporten y promuevan procesos de restauración a escala de paisaje en los Andes.

Uno de los elementos fundamentales para cumplir con los objetivos propuestos es contar con una herramienta práctica y estandarizada de monitoreo de los ensayos de restauración establecidos. A pesar de la existencia de otras experiencias de monitoreo o protocolos, fue necesario elaborar este documento con indicadores adaptados a los bosques montanos y a la realidad de los ensayos de restauración impulsados. Uno de los principales aportes de este protocolo en relación a ejercicios previos (PACTO 2013, Aguilar-Garavito y Ramírez 2015a, Secretaría do Meio Ambiente 2015) es la elaboración de fichas descriptivas de cada uno de los indicadores utilizados, las cuales incluyen información

general y detalle específico sobre la metodología completa para la toma de datos en el campo y el procesamiento de los mismos. Una ventaja práctica es que las fichas pueden ser separadas del documento para su utilización en el campo. El presente documento es un primer esfuerzo para proponer un marco de monitoreo común de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos del Ecuador.

También es importante mencionar que este protocolo es un documento vivo, tan vivo como lo son los sistemas en restauración y, como tal, debe ser actualizado constantemente para incluir las experiencias y resultados vinculados a la aplicación del mismo en los ensayos implementados. Para apoyar en la interpretación y aplicación de este protocolo hemos elaborado un glosario con los principales términos utilizados, el cual se encuentra en la Sección 7 de este documento. Los términos técnicos incluidos en el glosario se encuentran en itálicas y negrita para facilitar su identificación.

## CONCEPTOS GENERALES SOBRE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

La restauración ecológica está definida internacionalmente como el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER 2004; Palmer *et al.* 1997; Palmer *et al.*

2004), y que busca restablecer las interacciones de las especies entre sí y el medio abiótico; recuperar en el tiempo, la composición, estructura, y, sobre todo, el funcionamiento para sostener la provisión de servicios ambientales (Pinto *et al.* 2009).

La práctica de restauración ecológica se fundamenta en procesos ecológicos naturales, asumiendo que los ecosistemas, a través de su capacidad de **resiliencia**, se regeneran por sí solos cuando el **disturbio** ha pasado y no existen barreras que impidan esta regeneración, lo que se conoce como **sucesión natural**. Sin embargo, cuando el **disturbio** ha superado umbrales de degradación del medio biótico y abiótico (Hobbs y Harris 2001), y el ecosistema no puede regenerarse solo, la regeneración puede ser muy lenta o quedarse detenida, es necesario implementar estrategias de intervención para lograr su recuperación (Vargas 2007, Cury y Carvalho 2011). Desde este concepto, la restauración ecológica es entendida como una intervención humana intencional en ecosistemas alterados que busca eliminar las barreras bióticas y abióticas a la recuperación del ecosistema con el objetivo de desencadenar, facilitar o acelerar el proceso de la **sucesión natural** (Brancalion *et al.* 2015, Murcia y Guariguata 2014, McDonald *et al.* 2016).

Para que la **sucesión** ecológica ocurra, se requiere de diversos factores ecológicos y condiciones del paisaje del área a restaurar, entre los que se resalta tres factores principales (Pickett *et al.* 1987): 1. La existencia de un área abierta con disponibilidad de recursos (agua, nutrientes, luz, fuentes de **propágulos**); 2. La diversidad de especies que puedan sustituirse en el tiempo con diferentes comportamientos ecológicos (formas y tiempos de crecimiento) (PACTO 2013); 3. La ausencia de barreras para la restauración. De esta manera, para que las estrategias de restauración sean más eficientes, deben estar fundamentadas en la identificación de las causas de degradación y las barreras para el desarrollo del proceso de sucesión natural (PACTO 2009, McDonald *et al.* 2016). Así mismo, es impor-

tante tener en cuenta los objetivos de restauración planteados, ya que estos pueden ser la recuperación de la funcionalidad, pero no necesariamente de la diversidad, emulando un ecosistema análogo (Senanayake 2001, Mansourian *et al.* 2017).

En este sentido, el grado de intervención puede variar entre restauración pasiva y activa dependiendo del estado de degradación, del **régimen de disturbio** y la **resiliencia** que presente el ecosistema, donde el objetivo final es recuperar los atributos esenciales que dan la identidad al ecosistema local y permiten su sostenibilidad a largo plazo (Murcia y Guariguata 2014).

Como meta ecológica principal de la práctica de restauración está la formación de ecosistemas que puedan mantener en el tiempo y de forma dinámica su **integridad ecológica**, a través del mantenimiento, en especial, de las funciones e interacciones intra e inter-específicas (polinización, control biológico, etc.) (SER 2004). Así mismo, se espera que dicha integridad ecológica sea suficiente para conferir **resiliencia** al ecosistema, o que éste sea capaz de volver a su estado de autoregulación luego de una **perturbación** o simplemente **resistir** a las mismas sin que se produzcan cambios significativos en su funcionamiento (Barrera- Cataño *et al.* 2010).

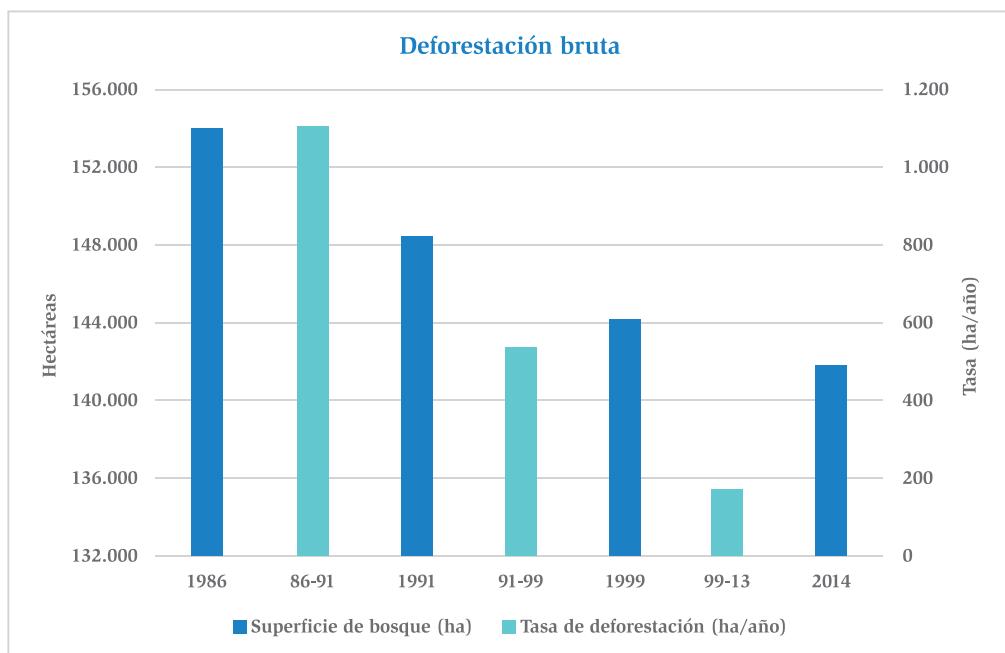
Aunque la restauración está enfocada en el restablecimiento de procesos ecosistémicos y no en la creación de una copia del bosque, es importante considerar e identificar hacia donde se quiere ir (Vargas 2007, PACTO 2009, Brancalion *et al.* 2015). El **ecosistema de referencia** es la guía de un proceso de restauración, da las directrices o constituye un modelo dinámico que se debe seguir de acuerdo a cada ecosistema en específico (Vargas 2007, McDonald *et al.* 2016). Sin embargo, la trayectoria sucesional y, por ende, la de restauración ecológica son procesos dinámicos no lineales, y bastante imprevisibles, por lo que no se requiere contar con un **ecosistema de referencia** único, sino, identificar algunos de sus diferentes estados sucesionales que sirvan de orientación para la interpretación de la trayectoria de restauración. Los estados de un mismo ecosistema pueden aun variar de acuerdo a la posición geográfica en el paisaje, ya que el ecosistema está influenciado por diferentes características bióticas y abióticas locales y por efectos del uso del suelo y su **nivel de degradación** (Brancalion *et al.* 2015). El uso de un **ecosistema de referencia** también es fundamental para la identificación de los indicadores y umbrales de referencia, o valores aceptables que ayudarán a evaluar el cumplimiento de las metas de un determinado proyecto de restauración (Brancalion *et al.* 2015). Sin embargo, en la ausencia de referencias locales, se podría tomar en cuenta referencias regionales o incluso documentos históricos y entrevistas con actores locales para entender la trayectoria de degradación y los ecosistemas de origen de la zona de intervención (Vargas 2007, McDonald *et al.* 2016).

Para efectos del uso de este protocolo, que tiene como objetivo monitorear áreas de restauración ecológica con fines de conservación y recuperación de servicios ambientales en los bosques montanos de la cordillera occidental del Ecuador, se han identificado algunos ecosistemas de referencia (Tabla 1).

Ecosistema	Rango de elevación (msnm)	Estructura	Composición
<b>Bosque siempre-verde piemontano de Cordillera Occidental de los Andes</b>	500-1400	Bosques multiestratificados, con un dosel entre 25 a 30 m, comparte muchas especies con los bosques de tierras bajas del Chocó (Galeas y Guevara 2012). Existen palmas emergentes, y en algunos casos una mega dominancia de <i>Iriartea deltoidea</i> (Cedeño y Cerón 2013).	Entre las familias dominantes están Arecaceae con géneros como <i>Wettinia</i> , <i>Iriartea</i> y <i>Chamaedorea</i> ; Lauraceae ( <i>Ocotea</i> , <i>Nectandra</i> , y <i>Aniba</i> ); y Rubiaceae con <i>Palicourea</i> y <i>Faramea</i> . Las palmas <i>Wettinia quinaria</i> son particularmente abundantes en los bosques bajos de la cuenca del Mashpi sobre los 500 msnm y luego son gradualmente remplazadas por su especie simpática <i>W. aequalis</i> en los bosques colinados de la cuenca del Mashpi. Especies indicadoras son <i>Ocotea insularis</i> , <i>Geonoma cuneata</i> , <i>Calatola costaricensis</i> , <i>Clarisa racemosa</i> , <i>Protium sagotianum</i> , <i>P. ecuadorensis</i> y <i>Otoba gordnifolia</i> .
<b>Bosque siempre-verde montano bajo de Cordillera Occidental de los Andes</b>	1400-2000	Bosques multiestratificados con un dosel continuo y que alcanza de 20 a 30 m de altura; los árboles emergentes suelen superar los 35 m (Valencia et al. 1999; Josse et al. 2003). Las poblaciones de palmas son comunes.	Las familias representativas en estos bosques son: Lauraceae, Rubiaceae, Moraceae, Urticaceae, Chloranthaceae y Melastomataceae. Entre los géneros arbóreos característicos del dosel se incluyen <i>Ficus</i> , <i>Nectandra</i> , <i>Ocotea</i> , <i>Persea</i> , <i>Guarea</i> , <i>Carapa</i> , <i>Inga</i> ; en el subdosel: <i>Cecropia</i> , <i>Miconia</i> , <i>Palicourea</i> , <i>Psychotria</i> y <i>Hedyosmum</i> . Especies indicadoras de este ecosistema son <i>Ocotea floribunda</i> , <i>Nectandra subbullata</i> , <i>Beilschmiedia costaricensis</i> , <i>Ficus dulciaria</i> , <i>Prestoea acuminata</i> , <i>Miconia clathrantha</i> .
<b>Bosque siempre-verde montano de Cordillera Occidental de los Andes</b>	2000-3100	Bosques multi-estratificados cuyo dosel alcanza alrededor de 20 a 22 m. Los árboles están cubiertos de briofitos y se puede observar, una gran representatividad de familias de plantas epífitas vasculares como: Araceae, Orchidaceae, Bromeliaceae y Cyclanthaceae (Valencia et al. 1999; Jaramillo y Grijalva 2010). Parches de helechos arborescentes del género <i>Cyathea</i> son comunes.	En el dosel son frecuentes las familias como: Lauraceae, Meliaceae, Euphorbiaceae, Clusiaceae, Primulaceae, Cunoniaceae y Moraceae; en el subdosel dominan las familias Rubiaceae, Actinidiaceae, Siparunaceae, Melastomataceae y Moraceae. Entre los géneros arbóreos característicos resaltan <i>Clusia</i> , <i>Nectandra</i> , <i>Persea</i> , <i>Meriania</i> , <i>Miconia</i> , <i>Sauraia</i> , <i>Weinmannia</i> , <i>Hieronyma</i> , <i>Geissanthus</i> , <i>Palicourea</i> , <i>Psychotria</i> y <i>Faramea</i> . Especies diagnósticas de este sistema son: <i>Hedyosmum cuatrecasanum</i> , <i>Ficus dulciaria</i> , <i>Croton floccosus</i> , <i>Nectandra subbullata</i> , <i>Billia rosea</i> , <i>Chrysochlamys colombiana</i> , <i>Clusia alata</i> , <i>Croton floccosus</i> , <i>Weinmannia balbisiana</i> , <i>Meriania tomentosa</i> , <i>Hieronyma macrocarpa</i> , <i>Cyathea poeppigii</i> .
<b>Bosque siempre-verde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes</b>	3100-3700	Bosques con dosel entre 15 y 18 m con follaje esclerófilo, subesclerófilo y lauroide (Josse et al. 2003); sotobosque denso con abundantes herbáceas, epífitas y briofitas que cubren el suelo, ramas y fustes. Los árboles crecen irregularmente con troncos ramificados e inclinados debido a las limitaciones metabólicas producto de las bajas tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo producto de las bajas temperaturas (Valencia et al. 1999).	Las familias representativas de estos bosques son Melastomataceae, Chloranthaceae, Verbenaceae, Cunoniaceae, Escalloniaceae. Entre los géneros resaltan <i>Miconia</i> , <i>Hedyosmum</i> , <i>Verbesina</i> , <i>Weinmannia</i> y <i>Escallonia</i> . Especies diagnósticas de este sistema son: <i>Miconia bracteolata</i> , <i>Citharexylum montanum</i> , <i>Hedyosmum luteynii</i> , <i>Palicourea amethystine</i> , <i>Miconia corymbiformis</i> , <i>Symplocos quitensis</i> , <i>Verbesina latisquama</i> , <i>Weinmannia pinnata</i> , <i>Escallonia paniculata</i> , <i>Citharexylum montanum</i> .

## ¿POR QUÉ RESTAURAR ECOSISTEMAS DEGRADADOS Y LOS SERVICIOS ASOCIADOS?

prácticas de carácter agrícola, pecuario y forestal (Gibbs y Salmon 2015). A nivel local, en el noroccidente de Pichincha durante la década de los 70s se produjo una conversión muy alta de bosques a pastizales para producción lechera principalmente asociada a la extracción forestal. Las tasas altas de conversión se mantuvieron hasta inicio de la década de los 90. Un estudio reciente (Baquero y Peralvo 2016) reportó un notable decrecimiento en las tasas de deforestación en el noroccidente de Pichincha donde pasaron de cerca de 1200 ha/año entre 1986-1991 a menos de 200 ha/año entre 1999 y el 2013 (Figura 1).



**Figura 1.** Deforestación bruta en la región noroccidente de Pichincha, Ecuador. Fuente: Baquero y Peralvo 2016.

Este proceso de degradación, a su vez, ha generado problemas de orden socio-ambiental, en especial, relacionados a la pérdida de la capacidad productiva de la tierra y a la escasez de agua en zonas de alta deforestación. Estos problemas conllevan al deterioro de la calidad de vida de las poblaciones humanas que viven y dependen de bienes y **servicios ecosistémicos** generados en su entorno (Cury y Carvalho 2011, Bloomfield 2012). Frente a esta creciente problemática, la restauración ecológica se presenta como una herramienta para el desarrollo sostenible local basado en recuperar y mantener la capacidad de los ecosistemas de generar flujos continuos de bienes y servicios y aportar a la resolución de conflictos del uso de la tierra, en especial para América Latina (Meli 2017). Los servicios ecosistémicos son condiciones y procesos sostenidos por la vida de un ecosistema (Daily 1997). Estos pueden ser categorizados como servicios de abastecimiento o

Existen distintas formas de estimar y definir la degradación ambiental. Sin embargo, a nivel mundial se torna evidente la gran cantidad de áreas que son degradadas directa o indirectamente por diferentes

aprovisionamiento, regulación, de apoyo y culturales. Aquellos bienes de abastecimiento suelen ser los más fáciles de observar y valorar (producción de alimentos, fibras, agua, medicinas, etc.). Sin embargo, dentro de las categorías de apoyo, regulación y culturales, se encuentran servicios importantes como: polinización de cultivos, estabilización de taludes, purificación del agua, regulación del clima, mantenimiento de la biodiversidad, valores estéticos, espirituales, educativos, entre otros (Daily 1997, Brancalion *et al.* 2015).

La restauración ecológica no solamente busca recuperar un ambiente degradado, sino que, paralelamente ayuda a la resolución de conflictos del uso del suelo, identificando estrategias que combinen intereses de producción y conservación (Ramirez-Marcial *et al.* 2014). A través de las estrategias de restauración, se pueden suprir ciertas necesidades de producción de las comunidades que están afectando el sistema natural, y por ende generar un cambio de actitud en relación al uso y gestión sostenible de los recursos naturales.

### ¿CUÁNDO Y DÓNDE RESTAURAR ECOSISTEMAS DEGRADADOS?

La práctica de la restauración ecológica, cuando es estratégicamente planificada, puede arrojar mejores resultados en menor tiempo y con menos inversión (Holl y Aide 2011). Considerando la gran demanda

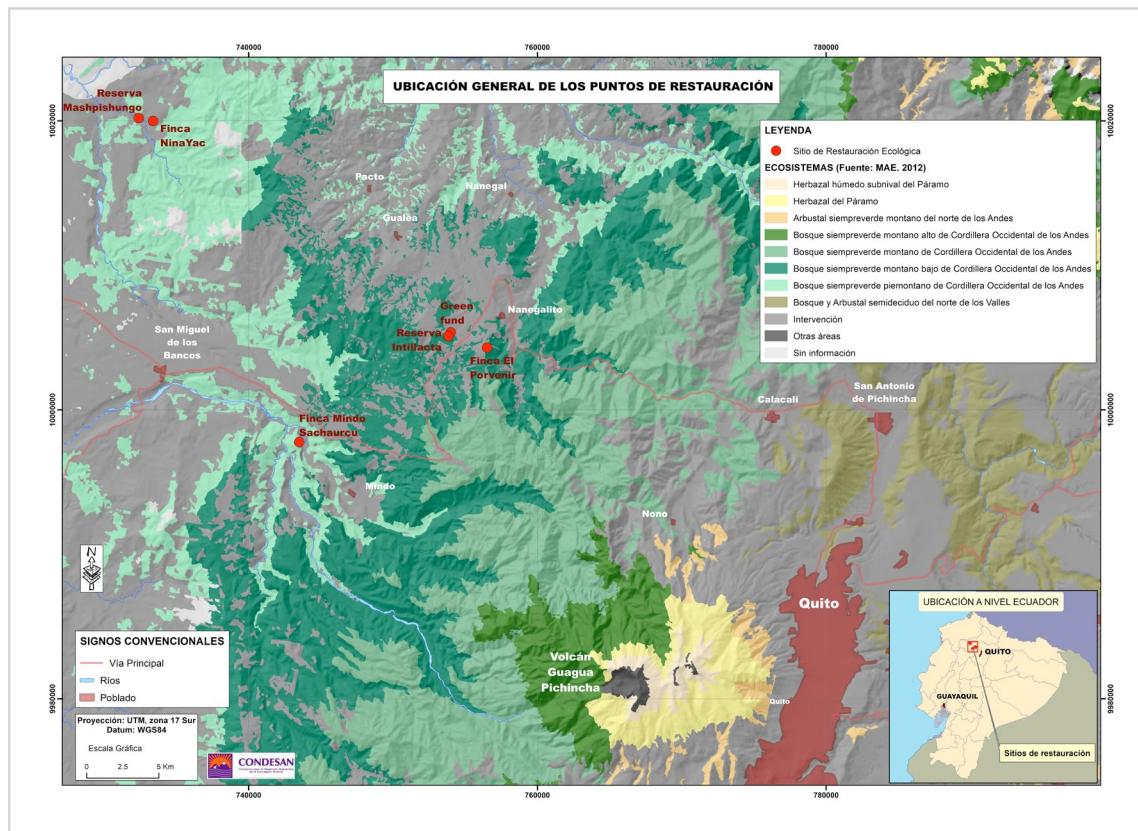
da de áreas que ya perdieron su capacidad productiva, tanto ecosistémica como agropecuaria, y que los recursos destinados a la restauración son limitados, se requiere un claro entendimiento de cuándo, dónde y cómo restaurar (Mansourian *et al.* 2017). Para efectos de este protocolo, se dará énfasis en las preguntas dónde y cuándo restaurar áreas, de acuerdo al contexto de usos del suelo y cobertura vegetal de los bosques montanos de la cordillera Occidental del Ecuador, ubicados en el Noroccidente de Pichincha, Biorregión del Chocó Andino Ecuatoriano.

En la región para la cual se desarrolla este protocolo, la historia del uso del bosque está estrechamente relacionada a la apertura de la frontera agrícola, producto de la reforma agraria y las políticas agrícolas estatales asociadas. Entre los años 1960 y 1970, los campesinos se dedicaron a la extracción selectiva de madera y a practicar la tala raza en áreas destinadas a la agricultura de subsistencia y posteriormente a la ganadería (Chávez 2007). En los años 80, inició la extracción de madera para su comercialización a través de intermediarios en diferentes comunidades del sector y con la construcción de la carretera hacia la capital, se generaron cambios significativos en la cobertura forestal y la ganadería que fue impulsada como principal actividad productiva. Actualmente, el paisaje predominante es compuesto por fragmentos grandes y pequeños de bosque y áreas ocupadas por cultivos agrícolas y pastizales (Balarezo y Torres 2015).

Por lo general, para definir áreas prioritarias para la restauración se deben tomar en cuenta diversos factores, tales como: el umbral de degradación, la **resiliencia** de los ecosistemas, la vulnerabilidad frente a desastres naturales, y/o importancia ecológica del área, el paisaje circundante, la tenencia de la tierra, factores políticos importantes, los objetivos de restauración y los recursos disponibles. En este sentido, las tipologías principales en el Noroccidente de Pichincha en donde se debería priorizar la restauración ecológica con fines de conservación son:

- Áreas cubiertas por pasturas invasivas o desprovistas de vegetación natural, que estén ubicadas en zonas de aptitud forestal, no compatibles con la actividad pecuaria.
- Zonas de importancia para recarga hídrica (cabeceras de microcuencas).
- Franjas riparias como vectores de conectividad biológica e hídrica.
- Áreas de alta pendiente sujetas a deslaves.
- Áreas prioritarias para incrementar conectividad entre remanentes de bosque.

En el marco del Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos se han establecido seis áreas piloto de restauración ecológica con diferentes objetivos y estrategias de restauración. Las áreas experimentales fueron establecidas entre enero y mayo de 2016 en diferentes pisos altitudinales y fueron monitoreadas en base a los indicadores y metodologías propuestas en el presente protocolo (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de ubicación de áreas experimentales de restauración ecológica del proyecto EcoAndes, Pichincha, Ecuador 2016.



## Seguimiento y monitoreo

### ¿POR QUÉ HACER MONITOREO?

tes para que la **trayectoria de restauración** continúe de manera similar al desarrollo del ecosistema de referencia (Aguilar-Garavito y Ramírez 2015), y/o podrá tener como objetivo impulsar la rehabilitación de funciones ecosistémicas específicas, para la provisión de servicios ambientales. Sin embargo, existe subjetividad en el entendimiento de la trayectoria o en la determinación del momento y tipo de manejo que debe ser aplicado al área. Para analizar si las estrategias empleadas están cumpliendo con los objetivos planteados y evaluar si la restauración camina por una trayectoria aceptable, es necesario desarrollar un sistema robusto de monitoreo, con indicadores sensibles, que sea capaz de identificar oportunamente la necesidad de acciones correctivas a través de un manejo adaptativo (PACTO 2013, Murcia y Guariguata 2014, Brancalion *et al.* 2015, McDonald *et al.* 2016). La ausencia de un proceso de monitoreo claro, y por ende la falta de un manejo oportuno puede acarrear altos costos de oportunidad o desperdicio de recursos que podrían ser muy útiles en procesos de restauración y conservación del patrimonio natural (PACTO 2013).

En este sentido, el monitoreo es considerado un componente fundamental de los programas o proyectos de restauración ecológica que, además, puede generar información sobre la efectividad de los métodos de restauración utilizados y sus respectivas eficacias en un contexto regional (PACTO 2013, Aguilar-Garavito y Ramírez 2015).

### ¿QUÉ ES UN ECOSISTEMA RESTAURADO?

Para poder evaluar el éxito de los procesos de restauración es necesario tener criterios de comprensión sobre el significado o las características de un área restaurada. Según la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER 2004), un ecosistema se encuentra restaurado cuando contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. Para ayudar en la operatividad de esta definición, SER ha desarrollado parámetros que ayudan a determinar si un ecosistema está restaurado en el largo plazo, los cuales fueron adaptados a los objetivos de este protocolo y se detallan a continuación:

1. Presencia de un conjunto de especies (fauna y/o flora) características del **ecosistema de referencia** (especies nativas dominantes, o especies que estructuran el hábitat, etc.).
2. Presencia de todos los grupos sucesionales necesarios para el desarrollo y **estabilidad** del ecosistema, o no tener restricciones para que los grupos faltantes colonicen el área naturalmente.
3. Presentar un ambiente físico que pueda sostener poblaciones reproductivas de las especies necesarias para el mantenimiento de la **funcionalidad** a lo largo del tiempo, priorizando comunidades vegetales dispersoras y recicadoras.
4. Presentar un funcionamiento ecosistémico adecuado para el estadio de desarrollo del área (ciclaje de nutrientes, control biológico, etc.) sin señales de disfunción.
5. El ecosistema restaurado se integra con el paisaje a través de intercambios bióticos y abióticos.
6. Se han eliminado o reducido las barreras para la restauración y el mantenimiento de la salud ecosistémica.
7. El ecosistema restaurado es resiliente y resistente frente las perturbaciones normales y periódicas del ambiente natural.
8. El ecosistema restaurado es auto sostenible, puede persistir bajo las condiciones ambientales existentes.

Estos son atributos generales que pueden ser empleados como referentes universales de recuperación de cualquier ecosistema, terrestre o acuático. Sin embargo, a estos atributos se podrían añadir los que están relacionados a las metas u objetivos específicos de un proyecto de restauración, como la provisión de algún bien o servicio ambiental. Estos atributos pueden ser analizados de manera conjunta, pero no necesariamente en su totalidad, así mismo, existirán diferentes formas de medición y análisis, a diferentes escalas de interés. Para efectos de este protocolo, la evaluación a corto y mediano plazo del éxito de la trayectoria de restauración está relacionada al rápido establecimiento de condiciones edafoclimáticas favorables para el desarrollo de la regeneración natural, y que a través de ésta se pueda restablecer paulatinamente la funcionalidad del ecosistema y por ende su **resiliencia y resistencia** frente las perturbaciones normales.

De manera resumida, un ecosistema restaurado debe contar con recursos bióticos y abióticos suficientes para continuar su desarrollo sin la intervención o asistencia humana presentando la capacidad de: 1. Mantener su **estructura** y funcionamiento continuo; 2. Ser **resiliente** a los eventos estocásticos de perturbación del ecosistema en los rangos normales de afección (por ej. deslaves, fuegos, caídas de árboles); 3. Interactuar con ecosistemas aledaños a través de flujos bióticos y abióticos así como interacciones socioculturales.

## OBJETIVOS DEL PROTOCOLO

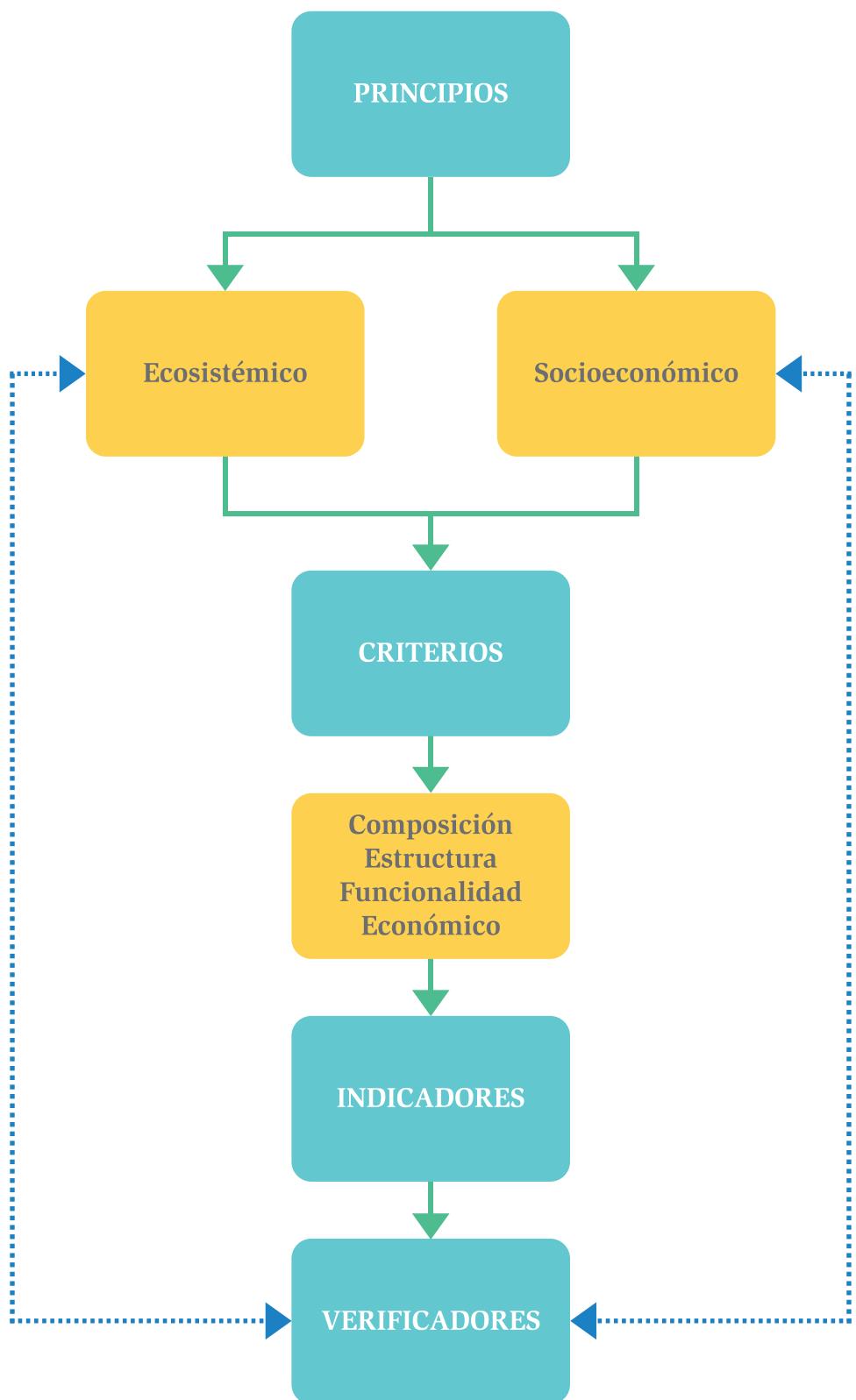
1. Establecer principios, criterios e indicadores adecuados para el monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos del noroccidente de Pichincha.
2. Definir métodos estandarizados que permitan medir las variaciones de los indicadores en el tiempo y el espacio.
3. Evaluar si la estrategia de restauración empleada está cumpliendo con los objetivos de restauración propuestos bajo un esquema de manejo adaptativo.
4. Evaluar la factibilidad de aplicación del protocolo en proyectos de restauración de mayor escala.

## ESTRUCTURA DEL PROTOCOLO Y ASPECTOS GENERALES

Considerando que el protocolo de monitoreo busca brindar un orden lógico de análisis de los procesos de restauración, es necesario enmarcarlo en una estructura jerárquica que provea la unión entre

principios de la restauración y los propios indicadores y medios de verificación. Para este protocolo se han definido principios generales de la práctica de restauración que brindan una estructura primaria de evaluación. Para dar significado a un principio se identifican criterios que, a su vez, deben estar relacionados a los indicadores, los que trasmiten la información sobre la condición de determinado criterio. Finalmente, cada indicador debe presentar una forma propia de evaluación o verificación del estado del indicador (Figura 3).

El protocolo se basa en dos principios fundamentales: ecosistémico y socioeconómico. El primero está asociado a las condiciones y procesos que describen el estado de la integridad del ecosistema y consiste en el enfoque más profundo del protocolo, por el cual se han identificado tres criterios: (1) Composición, (2) Estructura y (3) Funcionalidad (PACTO 2013). Sin embargo, la restauración, aunque brinda énfasis en principios ecológicos, está relacionada a principios socioeconómicos, ya que es desarrollada por personas y sus decisiones están a su vez relacionadas a la búsqueda de beneficios sociales, económicos y ambientales. Para incluir esta perspectiva al protocolo se utilizó el criterio económico (Tabla 2).



**Figura 3.** Estructura jerárquica del protocolo de monitoreo de áreas de restauración ecológica en el Noroccidente de Pichincha, Ecuador.

Principio 1. Ecosistémico	
Criterio	Descripción
<b>1.1 Composición</b>	El análisis de la composición permite caracterizar y entender cómo se está desarrollando la tipología del bosque, qué especies sobreviven y permanecen en el sistema. Permite conocer los cambios en la diversidad de especies ( <b>riqueza, abundancia</b> ) y las <b>formas de vida</b> , así como la distribución de especies arbóreas y arbustivas entre diferentes grupos funcionales, patrones de dispersión, etc. La composición es una de las formas de caracterizar el tipo de bosque que se desarrolla y su estado de madurez.
<b>1.2 Funcionalidad</b>	Consiste en la variedad de procesos e interacciones que ocurren entre los componentes del ecosistema (organismo-organismo, organismo-ambiente) que ayudan a la autorregulación y auto-perpetuación del ecosistema. El análisis de funcionalidad brinda información sobre la existencia y la calidad de procesos ecológicos, biogeoquímicos, o evolutivos y sus cambios durante el desarrollo del área, que en su mayoría están relacionados a la provisión de servicios ambientales. Algunos ejemplos de análisis de la funcionalidad ecosistémica son: el ciclaje de nutrientes, producción de biomasa, actividad microbiológica, flujo génico, regeneración natural, entre otros.
<b>1.3 Estructura</b>	Brinda información sobre el arreglo físico-espacial de la vegetación o poblaciones biológicas en general. Se analiza la altura de las plantas, número y clases de estratos, tasas de crecimiento basal, y la forma de distribución vertical y horizontal en el área durante el desarrollo del proceso de restauración. Está muy relacionada con el estadio serial del ecosistema y la composición de especies.
Principio 2. Socioeconómico	
Criterio	Descripción
<b>2. 1 Económico</b>	Son todos los costos y beneficios que pueden ser medidos económicamente, generalmente asociados a la inversión y mantenimiento de un área, así como con los beneficios económicos percibidos en el proceso de restauración desde un inicio (fuente de empleo, pago por servicios ambientales, productos forestales, certificación ambiental, entre otros).  En especial, el valor económico destinado para el establecimiento del área puede ser considerado como una barrera a la adopción de prácticas de restauración. Por ejemplo, una técnica muy eficiente de restauración ecológica puede ser descartada en las estrategias de campo debido a su alto costo de establecimiento.

**Tabla 2.** Criterios utilizados en el protocolo de monitoreo para áreas de restauración ecológica en los bosques montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador. Adaptado de: PACTO 2013 y Brancalion *et al.* 2015.

Considerando la amplia gama de posibilidades de evaluación y uso de indicadores, que pueden incluso dificultar o encarecer el proceso de monitoreo, es fundamental priorizar en función de las demandas específicas del proyecto o actores involucrados en el monitoreo, y en función de un análisis de costo/efectividad de cada indicador. Para esta primera versión del protocolo se propone la aplicación de 11 indicadores ecosistémicos y 2 indicadores socioeconómicos, los cuales fueron seleccionados a partir de un análisis técnico de 20 artículos o protocolos de monitoreo utilizados en el mundo (Anexo 1). Adicionalmente, se clasificaron los indicadores en obligatorios (OB) y opcionales (OP) para proveer mayor flexibilidad en la aplicación del marco de monitoreo.

La selección de indicadores tomó en cuenta los criterios empleados en la metodología “SMART” (Gobierno de Canadá 2016), los cuales se detallan a continuación:

- Específicos: describe una acción observable con objetivos específicos. El indicador dará información particular sobre objetivo que se desea alcanzar.
- Medible: Hay un método para evaluar y describir de manera objetiva el indicador en términos de, por ejemplo, la calidad, cantidad, o costo.
- Relevante: provee una información importante sobre los objetivos que se desean alcanzar y/o comprensión del proceso.
- Limitado en el tiempo: Hay un límite de tiempo para alcanzar el objetivo del trabajo y el tiempo de medición del indicador debe ser claro en sus plazos.

Sin embargo, para los indicadores ecológicos es necesario, además, que sean (Doren *et al.* 2009, Durigan 2011):

- Sensibles: brindan una respuesta a disturbios o cambios en el tiempo, indicando diferentes estadios de cambio en respuesta a las intervenciones realizadas.
- Previsibles: indican cambios inminentes en las características principales del ecosistema, posibilitando predicciones sobre los efectos de las prácticas de restauración o agentes de degradación.
- Integradores: puedan integrar o representar otras variables de difícil medición.
- Confiables: demostrar de forma segura las características que son monitoreadas así como presentar baja variación en la respuesta.

El factor tiempo influye en la forma de evaluación del proceso y en la selección del conjunto de indicadores, ya que dependiendo del estadio de maduración del área, sus procesos funcionales o atributos ecosistémicos se manifestarán en diferentes etapas (PACTO 2009) y de diferentes formas. En general, los cambios en el funcionamiento de los ecosistemas que derivan en la provisión de bienes y servicios ambientales, son visibles en estadios más avanzados de la restauración; en cambio, los efectos en la **composición y estructura** pueden ser evaluados a corto plazo (Belloto *et al.* 2009, Brancalion *et al.* 2015). De esta manera, la pertinencia y frecuencia con que se utilizará cada indicador será variable de acuerdo al estadio de desarrollo del área y la velocidad de cambio en los resultados presentados por el indicador. Algunos indicadores solo serán muestreados al inicio del establecimiento de una nueva área de restauración, como por ejemplo, el costo de inversión del proyecto, otros solo serán recopilados una vez al año (fertilidad y densidad aparente del suelo), mientras que algunos serán muestreados cada 3 meses debido a la rapidez con

que se puede observar cambios en el ecosistema (cobertura del suelo, tasa de mortalidad de plantas).

Considerando que el protocolo se enmarca en las acciones del proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos, que tienen actividades previstas hasta el año 2018, se propone inicialmente un marco de monitoreo de cuatro años de plazo, el cual representa el intervalo de tiempo crítico para proyectos de restauración (Rigueira y Mariano-Neto 2013). Sin embargo, con la validación del protocolo y la búsqueda de sostenibilidad en las actividades de monitoreo en el sitio Pichincha, se espera realizar una actualización del protocolo que incluya criterios e indicadores de largo plazo de monitoreo. A continuación, se presenta la lista de indicadores propuestos (opcionales y obligatorios) para el monitoreo de áreas de restauración en diferentes fases de desarrollo, así como la unidad y frecuencia de medición (Tabla 3).

Principio Ecosistémico					
Criterio	Indicador	Unidad de medida	Frecuencia	Categoría*	Referencia
1.1 Composición	1.1.1 Mortalidad/sobrevivencia de especies sembradas	% mortalidad/sp % mortalidad total/ha	Cada 3 meses durante el primer año; cada 6 meses a partir del segundo año	OB	Rigueira y Mariano-Neto 2013; SMA San Pablo 2011b; Brancalion <i>et al.</i> 2015; Schievenin <i>et al.</i> 2012; Fugimori 2014; Viani 2015; Meli y Carrasco 2011; Murcia y Cariguata 2014; SMA San Pablo 2011a.
	1.1.2 Diversidad de especies arbustivas y arbóreas	Número total de especies/ha Número de individuos / especie Número total de individuos/ha	Línea base y cada 6 meses	OB	Jiménez 2012; Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011a; Brancalion <i>et al.</i> 2015; SMA San Pablo 2011b; PACTO 2011; Secretaria do Meio Ambiente 2015; Viani 2015; Wood 2011, PACTO 2013.
	1.1.3 Grupo sucesional	Porcentaje de individuos para cada grupo establecido: pioneras, secundarias iniciales, secundarias tardías y climax.	Línea base y cada 6 meses	OB	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011a; Brancalion 2015; Viani 2015.
	1.1.4 Formas de vida vegetal presentes	Número de formas diferentes de vida vegetal y porcentaje representativa de cada forma.	Línea base y cada 6 meses	OP	Rigueira y Mariano-Neto 2013; SMA San Pablo 2011b; SMA San Pablo 2011a; Viani 2015.

Principio Ecosistémico					
Criterio	Indicador	Unidad de medida	Frecuencia	Categoría*	Referencia
1.2 Funcionalidad	1.2.1 Productividad primaria bruta	T Biomasa aérea/ha	Línea base y cada 6 meses	OB	Brancalion <i>et al.</i> 2015; Viani 2015; Meli y Carrasco 2011; SMA San Pablo 2011a; Ruiz-Jaen y Aide 2005.
	1.2.2 Densidad Aparente del suelo	g/cm <sup>3</sup>	Línea base y al final de cada año	OB	Rigueira y Mariano-Neto 2013; PACTO 2013, Pizano y Curiel 2015, Garcia <i>et al.</i> 2012, Arshad y Martin 2002, Karlen <i>et al.</i> 1997.
Funcionalidad (procesos edáficos)	1.2.3 Fertilidad del suelo	PH (0-14), % de materia orgánica, concentración de fósforo, nitrógeno y potasio (mg/kg)	Línea base y al final de cada año	OP	Rigueira y Mariano-Neto 2013; PACTO 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005, Arshad y Martin 2002, Pizano y Curiel 2015, Karlen <i>et al.</i> 1997.
	1.2.4 Humedad del suelo	Porcentaje	Dos veces al año	OB	Garcia <i>et al.</i> 2012, Descheemaeker <i>et al.</i> 2006, Ilsted <i>et al.</i> 2007, Laino <i>et al.</i> 2017.
1.3 Estructura	1.3.1 Número de estratos arbóreos	Número de estratos de la vegetación y clases de altura	Línea base y medición anual	OP	Brancalion 2015, Fugimori 2014; Viani 2015; PACTO 2011; SMA San Pablo 2011a.
	1.3.2 Cobertura del suelo (pasto, hierbas, hojarasca/ suelo desnudo, árboles)	% de cobertura del suelo por sustratos/m <sup>2</sup>	Línea base, cada 3 meses al primer año y luego cada 6 meses	OB	Rigueira y Mariano-Neto 2013; PACTO 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005; Brancalion <i>et al.</i> 2015; SMA San Pablo 2011b; Fugimori 2014; Viani 2015; PACTO 2011; Murcia y Guariguata 2014; SMA San Pablo 2011a.
Principio Socieconómico					
Económico	2.1.1 Valor de inversión proyecto	USD/ha	Al inicio del establecimiento	OB	PACTO 2013, Kimball <i>et al.</i> 2015.
	2.1.2 Costos de mantenimiento	USD/ha/año	A cada actividad de manejo	OB	Kimball <i>et al.</i> 2015, De Groot <i>et al.</i> 2013.

\*OB: Obligatorio; OP: Opcional

**Tabla 3.** Resumen de la estructura del protocolo de monitoreo para áreas de restauración ecológica en los bosques montanos de la Cordillera Occidental del Ecuador, Proyecto EcoAndes y Programa Bosques Andinos.



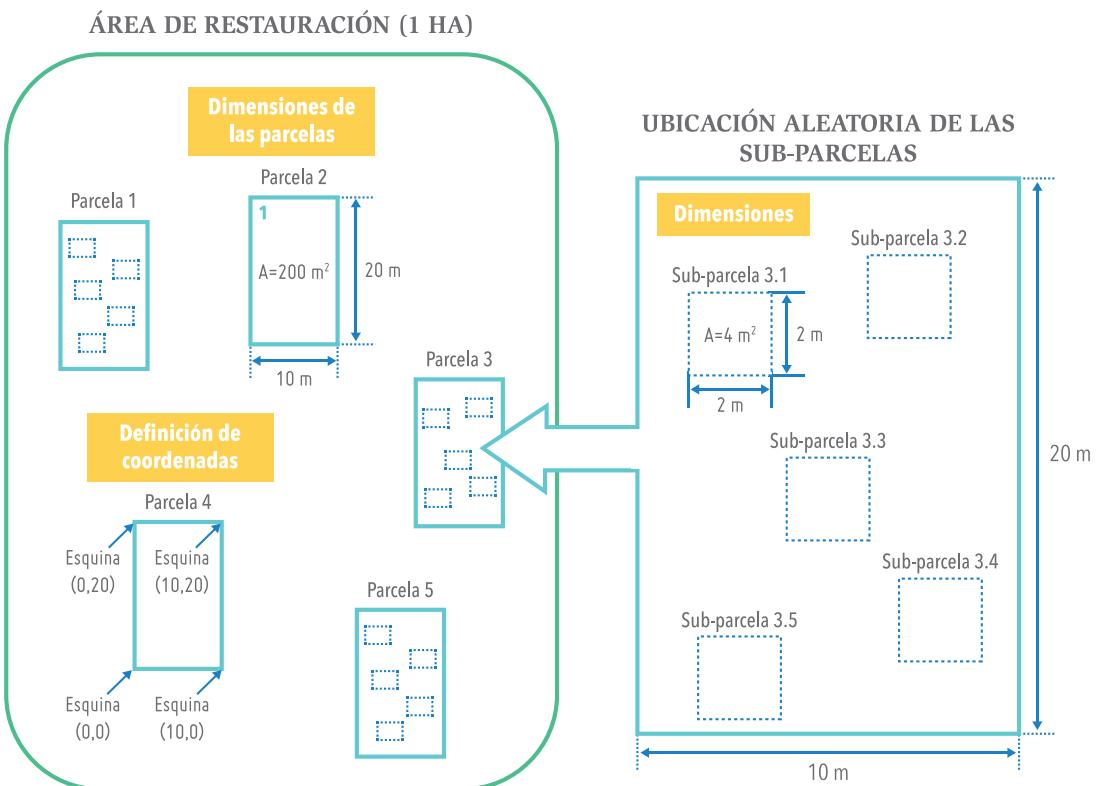


## Unidad de muestreo

Las unidades de muestreo o monitoreo deben ser instaladas de forma sistemática y estratificada para lograr representatividad de las diferentes condiciones ambientales del área bajo restauración (heterogeneidad de suelos, pendiente, cobertura por especies invasivas, historia de uso de la tierra) (Brancalion *et al.* 2015). Para la aplicación de este protocolo se propone el uso de parcelas permanentes de tamaño mínimo de 200 m<sup>2</sup>, con 5 repeticiones por hectárea (Brancalion *et al.* 2015, Jiménez 2012) (Ver esquema en la Figura 4). El esfuerzo de muestreo debe ser como mínimo del 10% del área total restaurada, por lo que el tamaño de parcela de 200 m<sup>2</sup> con cinco repeticiones por cada hectárea es suficiente para cubrirlo. En el caso de áreas menores a una hectárea (por ejemplo, en áreas experimentales) es posible hacer ajustes a la dimensión de las parcelas para cumplir con el esfuerzo de muestreo mínimo del 10%. Así también en áreas con gran heterogeneidad se deben tomar consideraciones especiales con el objetivo de identificar medidas correctivas específicas.

Para cumplir con la estimación de algunos de los indicadores de este protocolo es necesario establecer dentro de las parcelas, sub-parcelas de 2 x 2 m (anidadas de manera sistemática o aleatoria) al interior de cada parcela de 200 m<sup>2</sup> dependiendo de la heterogeneidad del área de estudio (condiciones locales ambientales, edáficas e hídricas). Se propone la utilización de 5 sub-parcelas por parcela, sin embargo, el número de unidades de muestreo también puede variar con la heterogeneidad del área (Brancalion *et al.* 2015) (Figura 5). Se deben establecer líneas de acceso dentro de las parcelas para reducir la interferencia o daño generado por las actividades de monitoreo (Figura 6). Cada parcela debe tener identificado en la esquina inferior izquierda el número de tratamiento, número de parcela y las coordenadas X = 0 m, Y = 0 m. Las demás esquinas deben tener los valores en metros de cada una de las coordenadas en X, Y (ver ejemplo en la Figura 7). Se sugiere utilizar un criterio común para todas las parcelas para definir la esquina inferior izquierda, por ejemplo, la parcela vista desde pendiente abajo.

Considerando las diferentes características de los ensayos experimentales de restauración establecidos en el marco del Proyecto EcoAndes y el Programa Bosques Andinos (área total y número de tratamientos), el diseño de muestreo estandarizado propuesto para una hectárea (mencionado anteriormente), fue adaptado para cada una de las áreas experimentales en desarrollo en el sitio Pichincha (Tabla 4).



**Figura 4.** Diseño para el establecimiento de parcelas y sub-parcels para el monitoreo de áreas de restauración en el Noroccidente de Pichincha, Proyecto EcoAndes y Programa Bosques Andinos.



**Figura 5.** Ubicación de parcelas y sub-parcels en áreas experimentales de restauración ecológica: parcela permanente de 10 x 10 m ( $100 \text{ m}^2$ ) y sub-parcels de 2 x 2 m ( $4 \text{ m}^2$ ) instaladas en el sitio Pichincha, Nanegalito, Ecuador.



**Figura 6.** Proceso de instalación de parcelas y sub-parcels en áreas experimentales de restauración ecológica, sitio Pichincha, Nanegalito, Ecuador.



**Figura 7.** Detalle de anotación en campo para identificación de sub-parcelsa: incluye número de tratamiento, número de parcela y coordenadas (X, Y en metros) de cada esquina. Sitio Pichincha, Nanegalito, Ecuador.

Características	Áreas experimentales			
	Nanegalito El Porvenir	Mindo SachaUrku	Mashpi Yakunina	Mashpi Shungo
Área Total del experimento (m <sup>2</sup> )	5000	3600	5000	5000
No. tratamientos	2	3	2	1
No. Parcela/tratamiento	3	3	3	3
Tamaño de la parcela (m <sup>2</sup> )	100	40	100	200
Número total de parcelas	6	9	6	3
Área total muestreada (m <sup>2</sup> )	600	360	600	600
% de muestreo en parcelas	12%	10%	12%	10%
Tamaño de la sub-parcela (m <sup>2</sup> )	4	4	4	4
Números de sub-parcelas/parcela	3	1	3	5
Número total de sub-parcelas	18	9	18	15
Área total de muestreo en sub-parcelas (m <sup>2</sup> )	12	36	12	12
% de muestreo en sub-parcelas	12%	10%	12%	10%

**Tabla 4.** Características de las unidades de muestreo en cada una de las áreas experimentales del sitio Pichincha.





## Metodología

A continuación, se presentan a manera de fichas cada uno de los indicadores a detalle. Cada ficha incluye información sobre el objetivo de utilización del mismo, una breve descripción, unidades de medición e información si este indicador se considera obligatorio u opcional. Se presenta información sobre la frecuencia, la metodología para su utilización, toma y análisis de datos y fórmulas de cálculo. Finalmente se incluye una nota sobre su aplicabilidad a mayor escala; el protocolo fue ajustado para monitorear áreas en proceso de restauración que forman parte del Programa Nacional de Restauración Forestal implementado por el Gobierno ecuatoriano a través del Ministerio de Ambiente. De esta manera, se evaluó la pertinencia de cada uno de los indicadores para evaluar proyectos de restauración a una escala mayor o nacional.

## INDICADOR 1.1.1

### MORTALIDAD Y SOBREVIVENCIA

#### **OBJETIVO**

Conocer la resistencia y tolerancia de las especies a diferentes condiciones edafoclimáticas y de manejo. La medición de este indicador permite evaluar la necesidad de acciones de manejo adaptativo (por ej. resiembra, cambio de especies). Es un indicador clave en la fase inicial de establecimiento de áreas de restauración que involucran la siembra de individuos. Su análisis oportuno puede incidir directamente en la sostenibilidad del proyecto.

#### **DESCRIPCIÓN**

Número de individuos muertos por especie o *morfo especie*, y número total de individuos muertos para cada período censal.

#### **UNIDAD DE MEDICIÓN**

% mortalidad/especie/área  
% mortalidad total/área

#### **CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO**

Obligatorio.  
Cada 3 meses durante el primero año y cada 6 meses después del segundo año.

#### **METODOLOGÍA**

El análisis de mortalidad y sobrevivencia se realiza en parcelas permanentes de 200 m<sup>2</sup>, con 5 réplicas por hectárea en las áreas bajo restauración. Se debe recorrer las líneas o áreas de plantío de forma sistemática registrando la mortalidad/sobrevivencia y observaciones relevantes sobre la condición de cada individuo sembrado (saludable, atacado por plagas/enfermedades, postrado, rebrotando, hojas secas, entre otros). Es considerado muerto un

individuo que está ausente en el punto de siembra o que presente el tronco seco desproveído de hojas.

#### **ANÁLISIS DE DATOS**

Los datos son transformados a porcentajes de mortalidad por especie, considerando el número total de individuos por especie y total plantados en cada parcela. Se deberá hacer un análisis más profundo sobre la mortalidad de los individuos, identificando posibles causas y necesidad de un manejo adaptativo (por ej. sequía, plagas, insolación, sombra, y/o poda, etc.).

#### **FÓRMULA DE CÁLCULO**

$$\%M_{spi} = Nm_{spi} \times 100 / Nt_{spi}$$

Donde:

$\%M_{spi}$  = % mortalidad de la especie i  
 $Nm_{spi}$  = número de Individuos muertos de la sp. i

$Nt_{spi}$  = número total de individuos de la misma especie que fueron sembrados

$$\%Mt = \sum Ntm / Nt$$

Donde:

$$\%Mt = \% \text{ mortalidad total}$$

$Ntm$  = número total de individuos muertos

$Nt$  = número total de individuos sembrado en el área

$$\% \text{ sobrevivencia/sp} = 100 - \% \text{ mortalidad/sp}$$

Para tasa de mortalidad genérica anual o bajo periodos de monitoreo:

$$M = 1 - \left[ 1 - \frac{(N0 - N1)}{N0} \right] 1/t * 100$$

Donde:

$N_0$  = número de individuos vivos en el censo inicial

$N_1$  = número de individuos sobrevivientes en el segundo censo.

$t$  = tiempo en años

Para reclutamiento/supervivencia:

$$r = 1 - (1 - N_r - N_1)1/t * 100$$

Donde:

$N_r$  = número de individuos reclutados entre censos

$t$  = tiempo en años

#### **ADAPTACIONES PARA EL MONITOREO A GRAN ESCALA (PLANES NACIONALES)**

En un área donde no se ha hecho levantamiento de línea base y por lo tanto, se desconoce las especies sembradas en cada lugar, no es posible obtener la tasa de mortalidad por especie, por lo que se sugiere utilizar la fórmula de mortalidad genérica y/o reclutamiento.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

Brancalion, P. H., R. A. Viani, R. R. Rodrigues, S. Gandolfi. 2015. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. Documento técnico. Disponible en [http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206\(2\).pdf](http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206(2).pdf)

Bellingham, P. J. y A. D. Sparrow. 2009. *Multi-stemmed trees in montane rain forests: their frequency and demography in relation to elevation, soil nutrients and disturbance*. Journal of Ecology 97:472-483.

## INDICADOR 1.1.2

### DIVERSIDAD DE ESPECIES

### ARBUSTIVAS Y ARBÓREAS

#### OBJETIVO

Evidenciar los cambios en la riqueza de especies arbustivas y arbóreas a lo largo del proceso de restauración.

#### DESCRIPCIÓN

Riqueza y abundancia de especies o morfo especie registradas en la unidad de muestreo del área en restauración.

#### UNIDAD DE MEDICIÓN

Número total de especies/ha.

Número de individuos/especie.

Número total de individuos/ha.

#### CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO

Obligatorio.

Línea base y cada 6 meses.

#### METODOLOGÍA

La riqueza de especies arbustivas y arbóreas se medirá al interior de las parcelas permanentes de monitoreo ( $200\text{ m}^2$ ), donde se identificarán todos los individuos arbustivos y arbóreos plantados, y todos aquellos de regeneración natural que presenten diámetros  $\geq 1\text{ cm}$ . En el caso de dominancia de una sola especie (mas del 50% de la cobertura), se propone el muestreo aleatorio del 10% de los individuos. Los individuos deberán ser identificados, o registrados como morfo especie reconociendo las características morfológicas más marcadas que facilitarán su identificación en campo (ej. cordóncillo o especie x, arbusto con hojas de tal forma, etc.). Cada individuo debe ser marcado con una placa o cinta con un número de identificación de manera secuencial que facilitará llevar el registro

de crecimiento a largo plazo. Las morfo especies serán registradas como IDENT 01, IDENT 02, IDENT<sub>n</sub>.



Etiqueta para identificación

#### ANÁLISIS DE DATOS

Los datos registrados en cada parcela deberán ser sistematizados en una base de datos (BDD) diseñada para tales fines, con una lista única de especies y morfo especies, como indicador de la riqueza de especies arbustivas y arbóreas en el área bajo restauración. Esta BDD estará diseñada para diferenciar entre especies exóticas y nativas. En el caso de áreas menores a una hectárea el valor de riqueza deberá ser llevado a la escala de metro cuadrado para facilitar la comparación de datos entre otros ensayos de restauración. Para el análisis de la diversidad alfa se calculará la abundancia absoluta y relativa por especie y por área, utilizando las

fórmulas propuestas a continuación en esta ficha.

Adicionalmente se recomienda la utilización de los índices de Jaccard y Whitakker (Villareal *et al.* 2004) para el análisis de la diversidad beta; para comparar cambios temporales intra parcelas de las áreas de restauración sometidas a distintos tratamientos.

#### FÓRMULA DE CÁLCULO

##### Índices de Diversidad Alfa:

$$Nt = \Sigma sp$$

Donde:

$Nt$  = número total de especies en el área de monitoreo

$sp$  = especies y/o morfo especies de todas las parcelas

$$\frac{Nt}{ha} = Nt \times 10000 / a$$

Donde:

$Nt/ha$  = número total de especies en una hectárea

$Nt$  = número total de especie en el área de monitoreo

$a$  = área de muestreo  $m^2$

$$Abt / ha = N_{ti} \times 10000 / a$$

Donde:

$Abt$  = abundancia total/ha

$N_{ti}$  = número total de individuos

$a$  = tamaño de la parcela

Para realizar el análisis relativo de la ocupación o densidad de las especies, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Abr = (Noi / N_{ti}) * 100$$

Donde:

$Abr$  = abundancia relativa

$Noi$  = número individuo de la especie i

$N_{ti}$  = número de individuos total del área muestral

##### Índices de diversidad Beta:

##### Indice de Jaccard Ij

$$I_j = \frac{c}{a + b - c}$$

Donde:

$a$  = número de especies en el sitio A

$b$  = número de especies en el sitio B

$c$  = número de especies presentes en ambos sitios A y B

##### Indice Whitakker

$$\beta = \frac{S}{\alpha - 1}$$

Donde:

$S$  = número de especies registradas en un conjunto de muestras (Gama)

$\alpha$  = número promedio de especies en la muestra

##### Índice de Shannon (mide la incertidumbre de que un individuo muestreado al azar sea de la especie i, es muy sensible a las especies raras)

$$H = -\sum_{i=1}^S p_i \cdot \log(p_i)$$

Donde:

$p_i$  = probabilidad de que cualquier individuo de la muestra corresponda a la especie i (proporción de la especie en la muestra)

$S$  = número total de especies  
Si solo hay una especie  $H = 0$  y cuando todas las especies son iguales en abundancia  $H = \log(S)$

### Índice de Pielou (equidad)

$$J' = \frac{H'}{H' \max}$$

Donde:

$$H' \max = \ln(S)$$

$S$  = número de especies (riqueza)

$H'$  = índice de Shannon

para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia pp. 187-225.

### ADAPTACIONES PARA EL MONITOREO A GRAN ESCALA (PLANES NACIONALES)

Considerando la alta abundancia que pueden tener algunas especies pioneras en el proceso de regeneración natural, se propone que cuando una de éstas presente más del 50% de cobertura de la parcela, se contabilice el total de los individuos presentes, pero que sólo se mida aleatoriamente el 10% de la totalidad de individuos de dicha especie presentes en la parcela.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE

Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.)  
2015a. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 250 p.

Viani, R. 2015. *Monitoramento de Áreas em Restauração*. Documento online LASPEF-UFSCar, Brasil. Archivo digital. Consultado en Julio 2015.

Villareal H., M. Alvarez, S. Cordoba F. Escobar G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza. M. Ospina, A. M. Umaña. 2004. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. In: Manual de Métodos



## INDICADOR 1.1.3 GRUPO SUCESIONAL

### OBJETIVO

Este indicador tiene como objetivo analizar la ocupación del área por diferentes grupos sucesionales de especies arbustivas y arbóreas (pioneras, secundarias iniciales, secundarias tardías y clímax), que intervienen en el proceso de formación de un bosque. El análisis de la densidad de ocupación y distribución de especies agrupadas en grupos sucesionales es un indicador útil para orientar las prácticas de manejo y evaluar el estado de la sucesión ecológica.

### DESCRIPCIÓN

Agrupamiento de especies y morfo especies de acuerdo al grupo sucesional: Pionera - Secundaria inicial - Secundaria tardía- Clímax.

### UNIDAD DE MEDICIÓN

Porcentaje para cada grupo establecido.

### CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL

#### MONITOREO

Mandatorio.

Línea base y cada 6 meses, junto con el indicador 1.1.2.

### METODOLOGÍA

En la BDD diseñada para monitoreo de restauración (indicador 1.1.2), se deberá identificar cada especie en función de su grupo sucesional, de acuerdo a la clasificación de grupo propuesta en la presente ficha: pionera (PI), secundaria inicial (SI), secundaria tardía (ST), clímax (CL) (ver tabla de características generales de los grupos sucesionales).

Con la clasificación de especies y los datos obtenidos a partir del análisis de los indicadores 1.1.1 y 1.1.2 se calculará el porcentaje de especies por grupos sucesionales encontrados en el área. Se puede utilizar este indicador para el análisis del estadio serial de la comunidad de plantas

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

Adaptado de: Barbosa 2001

sembradas y a la vez para evaluar el estado del proceso de regeneración.

### **ANÁLISIS DE DATOS**

Este indicador podrá correlacionarse con otras variables (por ej. número de estratos y regeneración natural) para realizar un análisis más fino de la composición, estructura y desarrollo del ecosistema. Se podrá entender: 1) la distribución de especies de la regeneración natural de los diferentes grupos sucesionales y saber si la sucesión natural se desarrolla hacia mayor complejidad, o si existen las condiciones para el desarrollo de especies de la sucesión tardía; 2) qué porcentaje de los estratos están ocupados por los diferentes grupos sucesionales, entre otros análisis.

### **FÓRMULA DE CÁLCULO**

$$GS(\%) = Ntg * 100 / Nt$$

Donde:

$GS$  = grupo sucesional

$Ntg$  = número de especies del grupo sucesional i

$Nt$  = número total de especies de la muestra

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

Barbosa, L. M. 2001. Considerações Gerais e Modelos de Recuperação de Formações Ciliares. In: Rodrigues, R.R, Leitão-Filho, H. (eds.). Mata ciliares: Conservação e recuperação. San Pablo. EDUSP pp. 289-312.

Budowski, G. 1965. Distribution of tropical American rain forest species in the light of sucessional processes. Turrialba. 15:40-42.

Budowski, G. 1963 Forest succession in tropical lowlands. Turrialba. 13:4

Kageyama, P. y F. B. Gandara. 2001. Recuperação de Áreas Ciliares. In: Rodrigues, R.R, Leitão-Filho, H. (eds.). Mata ciliares: Conservação e recuperação. San Pablo. EDUSP pp. 249-269.

PACTO (Pacto pela restauração da Mata Atlântica). 2009. Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Rodrigues, R.R., Brancalion, P.H., Isernhagen, I. (eds). San Pablo, LERF/ESALQ. Instituto Bioatranatica. 264 p.

## INDICADOR 1.1.4

### FORMAS DE VIDA

#### OBJETIVO

Evidenciar cambios en la composición y estructura de la vegetación presente en el área de restauración, a través del valor de presencia de diferentes formas de vida vegetal (árboles, arbustos, palmas, lianas, epífitas, helechos, enredaderas, y rizomatosas). Se considera el incremento en la diversidad de formas de vida como un indicativo de que el ecosistema está proveyendo recursos bióticos y abióticos (nichos) suficientes para el establecimiento de diversas formas de vida (por ej. palmas, lianas) y posiblemente para su autorregulación.

#### DESCRIPCIÓN

Valor de presencia y porcentual de ocupación de los siguientes tipos de vegetación:

- Árboles: plantas perennes, de tallo leñoso, que se ramifican a cierta altura del suelo, producen ramas secundarias nuevas cada año, que parten de un único fuste o tronco, con claro dominio apical y crecimiento secundario.
- Arbustos: plantas perennes de mediana altura, de tallo semi-leñoso y corto, con las ramas desde la base (*Thithonia*, *Carica*, Acalifa, etc.).
- Palmas: plantas leñosas de la familia Arecaceae sin crecimiento secundario del tronco, sólo primario (*Prestoea*, *Ceroxylon*, *Iriartea*).
- Lianas: especies leñosas que germinan en el suelo, se mantienen enraizadas durante toda su vida y necesitan de un soporte para mantenerse erectas y creciendo en dirección a la luz abundante, disponible sobre el dosel arbóreo de los bosques.

das durante toda su vida y necesitan de un soporte para mantenerse erectas y creciendo en dirección a la luz abundante, disponible sobre el dosel arbóreo de los bosques.

- Epífitas: planta que crece sobre otro vegetal usándolo solamente como soporte, pero que no lo parasita, no enraízan sobre el suelo (musgos, orquídeas, y bromelias).
- Helechos arbóreos: plantas vasculares sin semillas, de la familia Cyatheaceae, tienen escamas en rizoma, peciolos y a veces hojas.
- Enredaderas: es una planta con tallos elongados y delgados, que nunca se sostienen por sí mismos; y si se considera cada entrenudo con su respectivo nudo (y sus respectivas hojas y yemas) como un módulo, se observa que todos los módulos de la planta tienen un grosor y funcionalidad más o menos similares.
- Rizomatosas: plantas que emiten raíces en el suelo, con yemas, de las cuales puede haber germinación y originar nuevas plantas (*Xanthosoma*, *Heliconia*, etc.).

#### UNIDAD DE MEDICIÓN

Número de diferentes formas de vida y porcentaje relativo.

#### CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO

Opcional.

Línea base y cada 6 meses.

## **METODOLOGÍA**

El conteo del número de formas de vida y abundancia de individuos será realizado en las parcelas permanentes de 200 m<sup>2</sup>, donde se deben registrar las diferentes formas de vida propuestas y su respectiva abundancia. Debido a la alta abundancia de individuos de la forma de vida epífita, ésta se excluirá del análisis de porcentaje relativo.

## **ANÁLISIS DE DATOS**

Es necesario realizar una lista única de las formas de vida vegetal presente en el área de muestreo y calcular el porcentaje relativo de las diferentes formas de vida en cada parcela y del área total por hectárea.

## **FÓRMULA DE CÁLCULO**

$$\%R = N_i \times 100 / \sum N_{ti}$$

Donde:

$\%R$  = porcentaje relativo

$N_i$  = número de individuo de la forma i

$\sum N_{ti}$  = número de Individuos de todas las formas de vida

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

FAO Natural Resources Management and Environment Department. 2010. Glossary of Classifiers, Modifiers, and Attributes. Land Cover Classification System. Versión 1.0 disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.HTM>

PACTO (Pacto pela restauração da Mata Atlântica). 2009. Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. Rodrigues, R.R., Brancalion, P.H., Isernhagen, I. (eds). San Pablo, LERF/ESALQ. Instituto Bioatranca. 264p.

## INDICADOR 1.2.1 PRODUCTIVIDAD PRIMARIA BRUTA

### OBJETIVO

Cuantificar los cambios de acumulación de energía a través de la estimación de la biomasa en las áreas bajo restauración. El incremento de biomasa aérea influye directamente sobre el funcionamiento de los demás compartimentos de un ecosistema, como el suelo, agua y biodiversidad.

### DESCRIPCIÓN

Biomasa aérea por hectárea.

### UNIDAD DE MEDICIÓN

Ton. biomasa aérea/ha/año.

### CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL

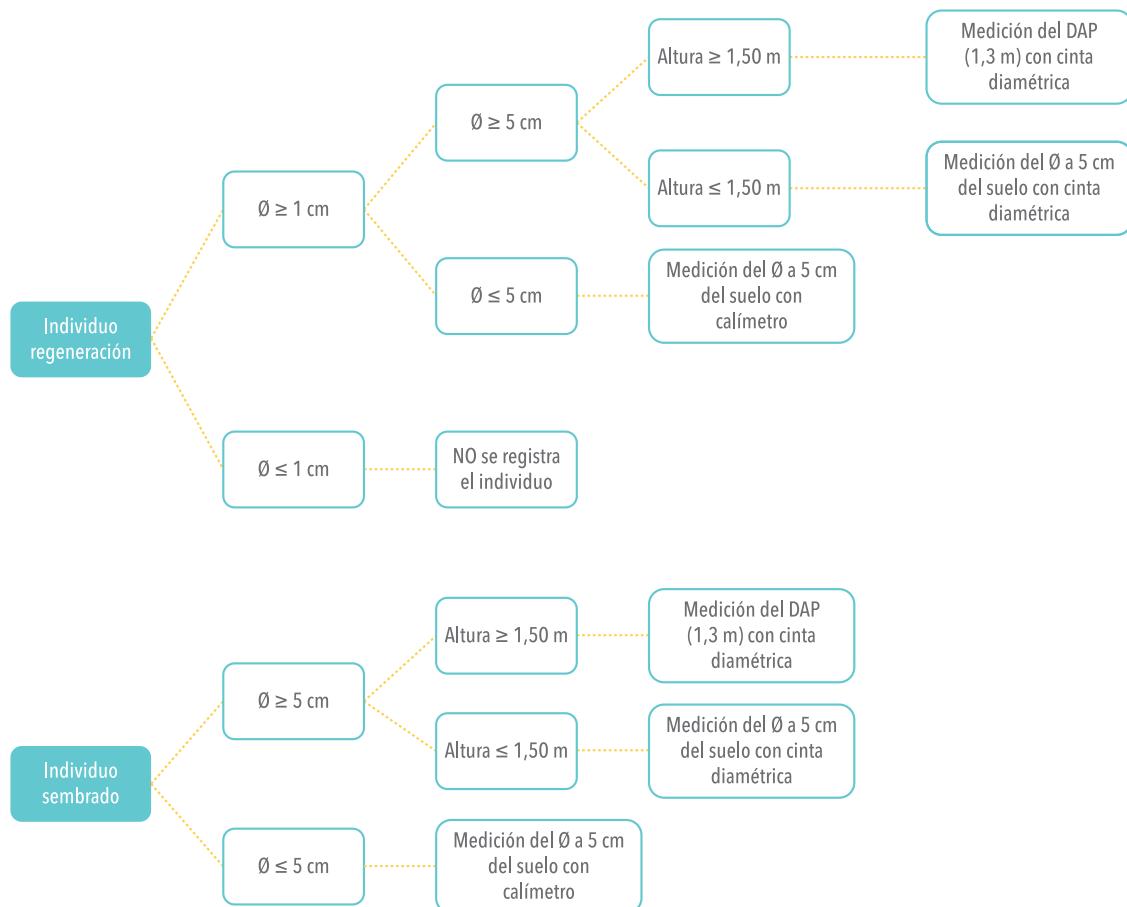
#### MONITOREO

Obligatorio.

Línea base y cada 6 meses.

### METODOLOGÍA

La productividad primaria se calculará a partir de la estimación de la biomasa aérea de todos los árboles y arbustos identificados en el indicador 1.1.2 (sembrados y de la regeneración natural con al menos 1 cm de diámetro). La biomasa aérea será calculada utilizando ecuaciones alométricas que usan variables de fácil medición como el diámetro del fuste, la altura del



árbol (m) y densidad de madera ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (ver tablas). A los individuos con más de un tallo se debe poner una cinta plástica de colores en cada uno de los tallos con la numeración decimal (por ejemplo, para el individuo número 6, cada uno de los tallos recibirán la numeración 6.1 y 6.2, siendo el primer muestreo el decimal 1).

Para la toma de los datos se utilizará una clave dicotómica para la toma de decisión sobre el registro del diámetro de los individuos sembrados y regenerados en las áreas de restauración (ver esquema en esta ficha).

**Diámetro:** Todos los individuos con diámetro  $\leq 5 \text{ cm}$  serán medidos con calímetro (calibre de Vernier) a  del suelo en donde se enraíza la planta. El calímetro debe ser utilizado en dos diferentes direcciones del tronco (al frente y al lado), y el promedio de las dos mediciones debe ser utilizado como valor del diámetro.

Todos los individuos con diámetro  $\geq 5 \text{ cm}$  serán medido con cinta diamétrica siempre que sea posible a la altura de 1,3 m (se recomienda tener un bastón con 1,30 m como referencia); en el caso de individuos menores se debe hacer la medición del diámetro en el punto óptimo de medición del diámetro (POM) a 5 cm del suelo en donde se enraíza la planta. Algunos criterios para la medición del diámetro en diferentes situaciones pueden ser encontrados en Osinaga *et al.* (2014).

**Altura:** Debe ser medida con cinta métrica o con clinómetro. En el caso de árboles con más de 15 cm de diámetro se reco-

mienda el registro de la altura del fuste (límite superior es el punto en donde finaliza el fuste del árbol) y la altura final (el límite superior es el punto más alto de la copa). Para las especies con bifurcación arriba de los 5 cm del suelo se debe registrar la altura de la bifurcación en observaciones generales.

**Densidad de la madera:** Puede ser encontrada en la literatura específica como en "Tree Functional and Ecological Databases" (World Agroforestry 2015) o en algunos trabajos previos realizados por (Chave, M-Landau *et al.* 2006), mencionados en la sección bibliográfica.



Medición de diámetro con calímetro

### FÓRMULA DE CÁLCULO

Las ecuaciones alométricas para el cálculo de biomasa aérea propuestas por diferentes autores se presentan en las tablas a continuación.

Ecuaciones alométricas propuestas para plántulas e individuos jóvenes arbustivos y arbóreos			
Ecuación	Tipo de bosque o especie	R <sup>2</sup>	Fuente
Exp(-2,409 + 0,9522 * Ln(D * DAP2 * Ht))	Bosque húmedo tropical (secundario joven)	0,996	Brown <i>et al.</i> (1989)
AGB = Exp(-1,997 + 2,413 * Ln (DBH))	Bosque húmedo tropical (secundario joven)		Nelson <i>et al.</i> (1999)
AGB = exp (-2,447 + 2,493 lnD)	Húmedo premontano	0,91	Del Valle <i>et al.</i> (2011)
Ecuaciones alométricas para árboles adultos (individuos en estadio reproductivo)			
ln (AGB) = -1,864 + 2,608 ln (D) + ln (ρ)	Bosque húmedo tropical (maduro)	0,996	Chave <i>et al.</i> (2005)
AGB = ρ exp(-1,499 + 2,148 ln(D) + 0,207 ln(D))2 - 0,0281 (ln(D)) <sup>3</sup> )	Bosque húmedo tropical (secundario y maduro)		Chave <i>et al.</i> 2005 citado por Alvarez <i>et al.</i> (2012)

Donde: AGB= biomasa aérea (g), D=diámetro (cm) y ρ= densidad básica de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE

Álvarez E., A. Duque, J. Saldarriaga, K. Cabrera, G. Salas I. Del Valle, A. Lema, F. Moreno, S. Orrego, L. Rodríguez. 2012. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. Forest Ecology and Management. doi: 10.1016/j.foreco.2011.12.013

Chave J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus D, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia 145: 87–99.

Chave, J., H. Muller-Landau, T. Baker, T. Easdale, H. Ter Steege, O. Campbell. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. Ecological Applications 16(6): 2356–2367.

Nelson B. W., R. Mesquita, J. L. G. Pereira, S. G. A de Souza, G. T. Batista, L. B. Couto. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. For Ecol. Manage 117:149–

Osinaga, O., S. Baez, F. Cuesta, A. Malizia, J. Carrilla, N. Aguirre, N. y L. Malizia. 2014. Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido. Protocolo 2. – Version 1. CONDESAN /IER-UNT/ COSUDE. Quito, Ecuador.

World Agroforestry 2015. Tree Functional and Ecological Databases. Disponible en: [http://old.icraf.org/regions/southeast\\_asia/resources/db/AFT-database](http://old.icraf.org/regions/southeast_asia/resources/db/AFT-database)



## **INDICADOR 1.2.2**

### **DENSIDAD APARENTE DE SUELOS**

#### **OBJETIVO**

Monitorear el estado de compactación del suelo como un indicador indirecto de la condición edáfica antes del establecimiento, y durante el desarrollo de la práctica de restauración ecológica.

#### **DESCRIPCIÓN**

Análisis de la densidad aparente del suelo. Es la relación entre masa seca del suelo y el volumen total de partículas y poros.

#### **UNIDAD DE MEDICIÓN**

g/cm<sup>3</sup>.

#### **CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL**

#### **MONITOREO**

Obligatorio.

Línea base y medición anual.

#### **METODOLOGÍA**

Las muestras no deformadas serán tomadas en la superficie del suelo de 0 a 10 cm de profundidad, utilizando anillos de aluminio de 4 cm de diámetro y 5 cm de altura (63 cm<sup>3</sup>). El muestreo debe ser estratificado sistemático tomando en cuenta, en especial, diferencias en la topografía del terreno. Otros factores que deben ser tomados en cuenta son: tipos de suelo, uso y manejo del suelo, y tratamientos específicos. Se debe evitar áreas muy pequeñas, no representativas del área total, como pequeños bajos, áreas con quema, sitios de almacenamiento de fertilizantes, entre otros, que podrían introducir errores en el análisis de los indicadores.

Se deben tomar como mínimo 4 muestras por parcela, en cada una de las esquinas del lado de afuera, para evitar la interferencia sobre otros indicadores tomados adentro de la parcela. Antes de tomar la muestra,

en el punto de muestreo, se debe remover de la superficie del suelo toda vegetación y hojarasca para facilitar la introducción del anillo y evitar contaminación de la muestra.

Sobre el anillo se pone una tabla gruesa en donde se darán golpes con un combo o mazo para permitir la penetración del anillo sin deformación de la muestra de suelo. El anillo debe ser introducido completamente en el suelo hasta llenarse de tierra en su totalidad. Con la ayuda de una pala pequeña o espátula se retira la tierra alrededor del anillo con cuidado para no interferir en la muestra de suelo. Una vez que toda la tierra alrededor del anillo fue eliminada, se retira el anillo con cuidado para no perder el volumen de suelo contenido. El anillo con la muestra debe ser envuelto en una película de plástico y luego depositado en bolsas plásticas identificadas con el nombre del área, tratamiento, profundidad del suelo, fecha, responsable y número de repetición. La identificación debe ser realizada con tinta indeleble en las dos fundas que envuelven la muestra. Las muestras deben ser cuidadosamente manipuladas y almacenadas en lugar fresco y oscuro, preferiblemente bajo refrigeración hasta su llegada al laboratorio (ver secuencia de fotografías en esta ficha).





*Extracción de muestra de suelo*

#### **ANÁLISIS DE DATOS**

Los resultados deben ser sistematizados en una base de datos y analizados a través del tiempo comparando los cambios visualizados entre tratamientos. Se deben utilizar parámetros ya establecidos para cada clase de suelos, como valores referenciales para la interpretación de resultados (Flores 2010). De manera general, cuanto mayor sea la densidad aparente:

- Mayor la compactación
- Menor la estructuración y porosidad total
- Mayor la restricción para el crecimiento y desarrollo de plantas

#### **FÓRMULA DE CÁLCULO**

Dap = peso suelo seco (g) / volumen total (cm<sup>3</sup>)

#### **ADAPTACIONES PARA EL MONITOREO A GRAN ESCALA (PLANES NACIONALES)**

El presupuesto para monitoreo en proyectos a mayor escala generalmente es limitado y el tiempo de seguimiento suele ser relativamente corto. Por este motivo, es necesario priorizar indicadores sensibles en un periodo corto; en ese sentido, la densidad aparente no es un indicador que se priorizaría con recursos limitados ya que los cambios en la estructura del suelo se esperarían medio y largo plazo.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

Pizano, C. y Curiel J.Y 2015. Estructura y contenidos básicos de un programa de monitoreo. En: Aguilar-Garavito y Ramírez (eds). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. pp. 42-49.

Figueroedo, M. V. B. 2013. Guia práctico para coleta de amostras laboratoriais. Figueroedo, M. V. B., Gomes, E. W.F, Gal-dino, A. A. S. (eds.) Instituto Agronómico de Pernambuco. Recife, BR. 90 p.

Flores, L. D. 2010. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. 56p.

## INDICADOR 1.2.3

### FERTILIDAD DEL SUELO

#### OBJETIVO

Entender los cambios en algunas propiedades químicas del suelo, que tienen relación directa con procesos ecosistémicos, tales como el ciclaje de nutrientes y la actividad microbiológica.

#### DESCRIPCIÓN

Medir cuantitativamente los cambios de algunas propiedades y procesos edáficos, a través de las variables pH, materia Orgánica (MO) y macro nutrientes.

#### UNIDAD DE MEDICIÓN

Se utilizarán 5 parámetros con sus respectivas unidades de medición: pH (0-14), % de materia orgánica, concentración de Fósforo, Nitrógeno y Potasio (mg/kg).

#### CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO

Opcional.

Línea base y medición anual.

#### METODOLOGÍA

Las muestras compuestas deben ser tomadas con un barreno (ver imagen en esta ficha) adecuado a cada tipo de suelo a una profundidad de 0-10 cm (donde se observa mayor actividad y dinámica química y biológica). El número de muestras (mínimo tres) dependerá de la heterogeneidad del terreno, y algunos de los factores que deberán considerarse son: tipos de suelo, topografía, uso y manejo del área, y tratamientos específicos.

Las muestras deberán ser compuestas por al menos 10 sub-muestras por hectárea siguiendo un patrón zig-zag que cubra toda la superficie de la unidad. Se

sugiere evitar áreas muy pequeñas, no representativas del área total, como pequeños bajos, áreas con quema, sitios de almacenamiento de fertilizantes, entre otros, que podrían introducir errores en el análisis de los indicadores. Antes de tomar la muestra, en el punto de muestreo, se debe remover toda vegetación y hojarasca de la superficie del suelo para facilitar la introducción del barreno y evitar contaminación de la muestra.



Una vez tomada la muestra, es recomendable medir la profundidad del suelo con una regla. Las sub-muestras deben ser homogeneizadas en un recipiente limpio para posterior separación de la muestra compuesta de 500 g a 1000 g. Las muestras deberán ser guardadas de forma independiente dentro de una bolsa plástica completamente limpia y herméticamente sellada para evitar la pérdida de humedad, y deberá codificarse con la fecha, sitio de colecta, y el código (número) de muestra, para luego enviarlas al laboratorio. Es recomendable la realización de calicatas para la identificación y medición de los perfiles del suelo.

## **ANÁLISIS DE DATOS**

Los resultados de los diferentes parámetros analizados deben ser organizados en una base de datos para posterior análisis.

## **ADAPTACIONES PARA EL MONITOREO A GRAN ESCALA (PLANES NACIONALES)**

En el caso de limitación y/o escasez de recursos para análisis en laboratorio (al igual como se indicó en el indicador de densidad aparente), es necesario priorizar parámetros más sensibles para evaluar los cambios en las dinámicas de restauración de suelos. Se ha propuesto la utilización del contenido de materia orgánica y la relación C/N como parámetros preliminares, cuya sensibilidad se encuentra todavía en fase de evaluación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.)

2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 250 p.

Santos, D., M. G. Wilson, M. Ostinelli.

2012. Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo: protocolos básicos comunes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Argentina. 70 p.

## **INDICADOR 1.2.4**

### **HUMEDAD DEL SUELO**

#### **OBJETIVO**

Comprender los cambios en la disponibilidad de agua en el suelo durante el proceso de restauración.

#### **DESCRIPCIÓN**

Porcentaje de humedad en el suelo y la comparación con sitios de referencia. En términos generales, puede esperarse que el crecimiento de las plantas (especies arbóreas principalmente) inicialmente reduzca la cantidad de agua disponible en el suelo debido al aumento de la transpiración, aunque otros procesos hidrológicos como la reducción de la evaporación causados por una menor insolación (efecto de la sombra) y la menor exposición a los vientos podrían permitir que haya mayor disponibilidad de agua en el suelo. Otros cambios que podrían deberse a la restauración, como el aumento de la infiltración (por la presencia de hojarasca y materia orgánica) y la reducción de la escorrentía modifican los procesos hidrológicos superficiales. Estos cambios no necesariamente tienen un comportamiento lineal por lo que pueden variar en las distintas etapas de la restauración.

#### **UNIDADES DE MEDICIÓN**

Porcentaje de humedad en el suelo (%). Diferencia del porcentaje de humedad entre los sitios restaurados con los no restaurados (adyacentes con un nivel de degradación similar al estadio inicial de la restauración, tipo control) y de ser posible con un ecosistema de referencia (adyacente).

#### **CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL**

##### **MONITOREO**

Obligatorio.

Línea base y dos veces por año (época seca y época lluviosa).

#### **METODOLOGÍA**

Para este indicador es necesario contar con un equipo especializado conocido como medidor de humedad del suelo (*Soil Moisture Meter* en Inglés). Si bien es posible realizar la estimación en laboratorio de este parámetro (por ejemplo, con la misma muestra del indicador 1.2.3) los medidores portátiles permiten una mayor cantidad de mediciones en campo así como resultados inmediatos con la facilidad de transmitirlos a una computadora para su análisis. El uso del medidor de humedad, usualmente llamado también TDR por las siglas en inglés de la tecnología que utilizan para la estimación de la humedad (*Time-domain reflectometry* - Es: *reflectómetro de dominio de tiempo*) debe seguir las recomendaciones del manual respectivo del instrumento, el cual puede requerir el uso de distintos componentes (sondas) de acuerdo al tipo de suelo muestreado y calibraciones con cierta frecuencia. Uno de los aspectos importantes es que es necesario calibrar el instrumento de acuerdo al tipo de suelo, por ejemplo, si es arcilloso o francoarenoso.

La cantidad de lluvia o de sol preexistente a la toma de la medición de humedad definen de manera importante la humedad presente en el suelo en un momento determinado. Por ello, para este indicador es necesario hacer un comparativo

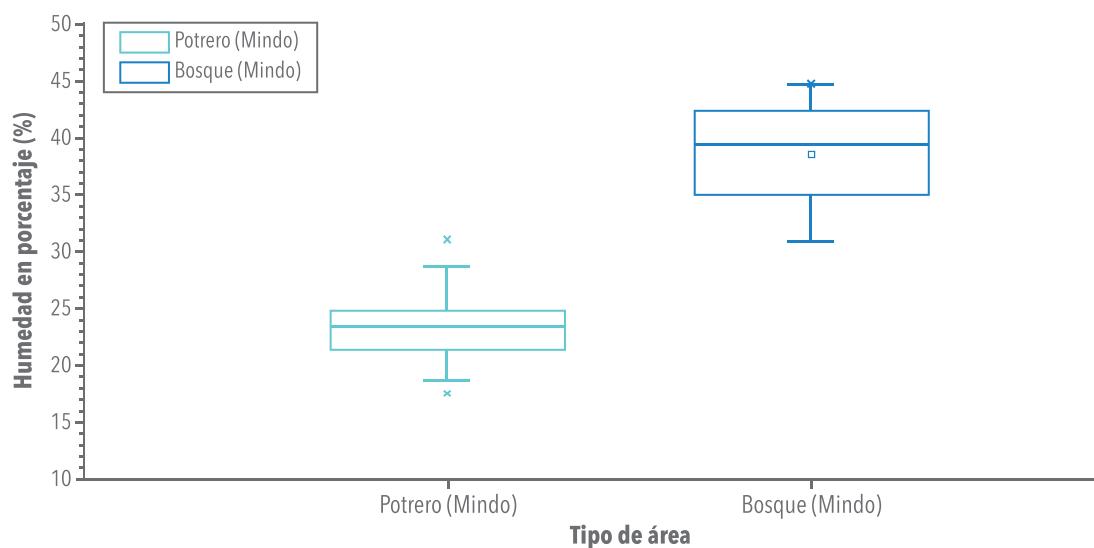
con poco tiempo de diferencia entre el sitio restaurado y un sitio no restaurado adyacente. El motivo es reducir el efecto que algunos factores climáticos pueden causar: precipitación, radiación, vientos, etc. En el caso de contarse con un ecosistema de referencia (por ejemplo un bosque) adyacente al área en proceso de ser restaurada, es conveniente registrar una tercera medición que podrá permitir un comparativo adicional. Las mediciones se realizarán a dos profundidades (7,5 y 20 cm) y se recomienda que se cuide que las condiciones climáticas y topográficas (exposición especialmente) entre los tres grupos de mediciones (área no restaurada o control, área en restauración y ecosistema de referencia) sean lo más parecidas posible.

La medición de humedad se realizará dentro de las sub-parcelas en el caso del área en restauración, tres veces en cada sub parcela (de forma diagonal, un punto en la esquina superior izquierda, un pun-

to en el centro y un punto en la esquina inferior derecha). Cada medición será registrada indistintamente de la subparcela en una planilla. Las mediciones de humedad para las áreas de referencia (bosques) o para los sitios donde no se ha intervenido para restaurar (por ej. los pastizales adyacentes) se realizarán de manera aleatoria dentro de esas áreas, procurando tomar por lo menos la misma cantidad de puntos que se han utilizado dentro de las áreas restauradas. En el caso de existir distintos tratamientos de restauración se deben registrar por separado las mediciones de cada tratamiento.

#### **ANÁLISIS DE DATOS**

Se realizará un comparativo de los promedios de humedad en la profundidad 7,5 cm y otro comparativo distinto en la profundidad 20 cm, para identificar la variación del porcentaje de humedad entre el área restaurada, el área no restaurada (o control) y el área del ecosistema de referencia. Se sugiere tomar nota de estas



diferencias en dos épocas del año, una vez bien entrada la época seca y otra en la época de lluvias.

Las mediciones deberán graficarse con diagramas de caja (se sugiere el uso de software QtiPlot o similar que son gratuitos y de código abierto) para observar también el traslape de los datos entre los distintos tratamientos. Como ejemplo, en el gráfico en esta ficha es posible observar datos de un sitio del proyecto EcoAndes, donde se puede apreciar que la humedad del suelo registrada a 7,5 cm es mayor en el ecosistema de referencia (bosque) que en un área de pastizal (tomado el mismo día, bajo las mismas condiciones climáticas). Con esta información es posible esperar que (en esta ubicación) la restauración gradualmente aumente la humedad en el suelo, sin embargo, la literatura y otros estudios en otras regiones advierten que es posible que inicialmente se dé el efecto contrario, en la etapa inicial de la restauración por el aumento de la transpiración causada por el crecimiento de árboles y arbustos.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

Descheemaeker, K., J. Nyssen, J. Poesen,

H. Mitiku, B. Muys, D. Raes, J. Moeyersons y J. Deckers. 2006. Soil and Water Conservation through Forest Restoration in Exclosures of the Tigray Highlands. *Journal of the Drylands* 1: 118–134.

Ilstedt, U., A. Malmer, V. Elke, D. Murdiyarno, D. 2007. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 251: 45–51.

Laino-Guanes, R., M. González-Espinosa, N. Ramírez-Marcial, R. Bello-Mendoza, F. Jiménez, F. Casanoves, K.

Musálem. 2016. Human pressure on water quality and water yield in the upper Grijalva river basin in the Mexico-Guatemala border. *Ecohydrology & Hydrobiolgy*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.12.002>



## INDICADOR 1.3.1

### NÚMERO DE ESTRATOS

#### **OBJETIVO**

Evaluar en el tiempo los cambios de la estructuración vertical de la vegetación. La altura de las plantas y su distribución en diversos estratos es un buen indicador del estado de madurez del bosque y nos permitirá saber si el área se está restaurando, en comparación con un bosque de referencia.

#### **DESCRIPCIÓN**

Número de estratos (niveles) de vegetación que se distribuyen verticalmente y conforman la estructura forestal.

#### **UNIDAD DE MEDICIÓN**

Número de estratos y clases de altura.

#### **CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO**

Opcional.

Línea base y medición al final de cada año.

#### **METODOLOGÍA**

El indicador será evaluado a partir de los datos generados por las mediciones da-

sométricas en el indicador 1.2.1 (Producción primaria bruta), se elaborará una distribución de valores de acuerdo a sus clases de altura para la estratificación (Tabla 1). La amplitud entre clases, sin embargo, deberá ser ajustada a la realidad de cada área de estudio. Se recomienda realizar un bosquejo de los perfiles de la vegetación para tener una mejor comprensión y facilitar el análisis de los datos.

#### **ANÁLISIS DE DATOS**

Se puede incluir en el análisis una correlación entre clases de altura y la abundancia de individuos, y/o por grupos sucesionales, para profundizar en el entendimiento de la estructura vegetal del área.

#### **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA CLAVE**

Souza, P. A. Souza, J. Neto. 2012. Estrutura diamétrica dos estratos e grupos ecológicos de uma área de floresta estacional semideciduado, em Dionísio, MG. Revista Arvore, Visçosa, 36 (1): 151-160.

Especie	Abundancia por clase de altura (m)					Observaciones sobre densidad u otras características importantes
	≤5	≥6≤10	≥11≤19	≥20≤30	Total	
Solanum sp.						
Palicourea sp.						
Cecropia sp.						
Otro_____						
Totales						

## INDICADOR 1.3.2

### COBERTURA DEL SUELO

#### OBJETIVO

Caracterizar la cobertura del suelo provee información útil para evaluar problemas de erosión laminar, identificar la necesidad de control de especies invasivas y triangular información sobre el funcionamiento del suelo.

#### DESCRIPCIÓN

Porcentaje de tipo de vegetación o material que cubre la superficie del suelo: pasto, hierbas, hojarasca, plantas vasculares arbóreas, arbustos, así como suelo desnudo, roca y grava.

#### UNIDADES DE MEDICIÓN

Porcentaje relativo de cobertura del suelo para los diferentes sustratos de cobertura (%) (este valor nunca puede ser mayor a 100%).

Profundidad de hojarasca (cm).

#### CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL

##### MONITOREO

Obligatorio.

Línea base y cada 3 meses.

#### METODOLOGÍA

La cobertura del suelo se estimará visualmente en las sub parcelas (de 4 m<sup>2</sup>), y se considerará el 100% como valor máximo, no se considera la sobreposición entre los diferentes sustratos. Se recomienda establecer piolas que puedan dividir la subparcela en 4 cuadrantes que totalizan un área de 100% para estimar el porcentaje ocupado por cada tipo de cobertura. En el caso de presencia de individuos arbóreos mayores a 1m (cuando la proyección de la copa se traslape con otros tipos de cobertura de la superficie del suelo), no se considera la cobertura arbórea de este individuo (ya que oculta la información sobre la cobertu-

ra directa del suelo), y se registra solamente el área basal del mismo como un porcentaje de la cobertura de plantas vasculares. Es ideal que sea siempre la misma persona que haga la estimación para disminuir el error muestral, ocasionado por la subjetividad en la estimación del indicador. La profundidad de la hojarasca será medida con 5 repeticiones por subparcela en forma de X. En cada punto de muestreo se debe abrir la vegetación viva para poder acceder a la cobertura de hojarasca y siempre hacer un registro de la profundidad más representativa, las hojas muertas solitarias que estén sobresaliendo no deben sobreestimar el valor de la muestra. Los helechos serán considerados como hierbas, con excepción de los helechos arborescentes (por ej. *Cyathea* sp.), que serán considerados como especies leñosas. Las palmas y *Gliricidia sepium* serán consideradas como especies leñosas.

#### ANÁLISIS DE DATOS

Los datos obtenidos en cada sub-parcela se sumarán para obtener el valor promedio por parcela y por unidad de muestreo. Se puede hacer un análisis temporal del cambio en la cobertura del suelo y en la cantidad de hojarasca y relacionarlo con otros indicadores.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE

Brancalion, P. H., R. A. Viani, R. R. Rodrigues, S. Gandolfi. 2015. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. Documento técnico. Disponible en [http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206\(2\).pdf](http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206(2).pdf)

Viani, R. 2015. Monitoramento de Áreas em Restauração. Documento en línea. LASPEF-UFSCar, Brasil. Archivo digital. Consultado en Julio 2015.

## **INDICADOR 2.1.1**

### **COSTO DEL ESTABLECIMIENTO DEL ÁREA**

#### **OBJETIVO**

Evaluar el costo de establecimiento de la estrategia de restauración, el mismo que puede ser fundamental para la difusión y adopción de la práctica.

#### **DESCRIPCIÓN**

Suma de todos los gastos incurridos en la preparación y establecimiento de la estrategia de restauración en campo.

#### **UNIDAD DE MEDICIÓN**

Costo total y por rubros - USD por hectárea.

#### **CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO**

Obligatorio.

Línea base, al momento de establecimiento de la estrategia.

#### **METODOLOGÍA**

El análisis del costo de establecimiento del área debe ser realizado durante la fase de preparación y siembra en el campo. Se deberán registrar todos los gastos efectuados, discriminados por rubros: mano de obra, plantas, materiales, insumos y transporte.

#### **ANÁLISIS DE DATOS**

Los costos realizados en la fase de establecimiento (preparación y siembra del área) se sumarán para calcular el valor total. Se puede discriminar en términos de porcentaje los diferentes rubros para un análisis más profundo de los costos. También se deberán valorar y registrar los gastos relacionados a la contraparte de los beneficiarios involucrados (por ejemplo

postes para cercas vivas, mano de obra familiar, etc.).

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

De Groot, R., J. Blignaut, S. van der Ploeg, J. Aronson, T. Elmquist y J. Farley. 2013. *Benefits of Investing in Ecosystem Restoration*. Conservation Biology 27 (6): 1523 – 1739.

PACTO (Pacto pela Restauração da Mata Atlântica). 2013. *Protocolo de Monitoramento para programas e projetos de restauração florestal*. Viani, R.A.G (ed.) San Pablo, Brasil, 59p.

## INDICADOR 2.1.2

### COSTOS DE MANTENIMIENTO

#### **OBJETIVO**

Evaluar los costos de mantenimiento del área bajo restauración, con el fin de analizar la estrategia de difusión y la adopción de la práctica.

#### **DESCRIPCIÓN**

Sumatoria de todos los gastos realizados en cada actividad de mantenimiento del área de restauración. Costo total y por rubros por cada evento de mantenimiento y sumatoria anual.

#### **UNIDAD DE MEDICIÓN**

USD por hectárea.

#### **CATEGORÍA Y FRECUENCIA DEL MONITOREO**

Obligatorio.

Variable de acuerdo a la necesidad de mantenimiento.

#### **METODOLOGÍA**

Se registrarán todos los gastos efectuados en actividades de mantenimiento, discriminados por evento y rubros: mano de obra, plantas, materiales, insumos y transporte.

#### **ANÁLISIS DE DATOS**

El total de los costos realizados en actividades de mantenimiento se sumarán para calcular el valor total de cada evento y el costo de mantenimiento anual. Los costos serán discriminados por rubros y porcentaje del total. También se deberán valorar y registrar los gastos relacionados a la contraparte de los beneficiarios involucrados (postes para cercas vivas, mano de obra familiar, etc.). El análisis de costo de mantenimiento estará siempre rela-

cionado con el objetivo del manejo y la técnica de restauración utilizada, de esta forma se podrá discernir sobre el costo/beneficio de las estrategias de restauración empleadas.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CLAVE**

De Groot, R., J. Blignaut, S. van der Ploeg, J. Aronson, T. Elmquist y J. Farley. 2013. Benefits of Investing in Ecosystem Restoration. *Conservation Biology* 27 (6): 1523 – 1739.

Guimarães, J.C., D. A. de Barros, J. A. A. Pereira, R. A. Silva, A. D. Oliveira, L. A. Borges.. 2013. Cost analysis and ecological benefits of environmental recovery methodologies in bauxite mining. *CERNE* 19(1): 9-17. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cerne/v19n1/02.pdf>

PACTO (Pacto pela Restauração da Mata Atlântica). 2013. Protocolo de Monitoramento para programas e projetos de restauração florestal. Viani, R.A.G (ed.) San Pablo, Brasil, 59p.



## Supuestos y aplicación del protocolo

Aunque el monitoreo de las áreas bajo restauración es una etapa fundamental, la aplicación del protocolo y el proceso de monitoreo en sí implica algunas consideraciones, tales como:

1. Crear un equipo técnico evaluador que sea capacitado previamente sobre la importancia de cada indicador, la utilización de equipos, planillas y métodos de muestreo, para la idónea aplicación del protocolo.
2. Para el indicador de biodiversidad, realizar un inventario de especies comunes de cada localidad, si es posible con fotos de las especies en estados juveniles (plántula), que facilite el trabajo de campo.
3. Actualizar periódicamente el protocolo con el objetivo de mejorar y facilitar el proceso de monitoreo.
4. Manejar una base de datos organizada que permita un análisis permanente de las áreas bajo restauración.
5. Llevar registros fotográficos periódicos que ilustren los procesos de restauración.
6. Involucrar actores clave para la sostenibilidad del proceso de monitoreo.
7. Sistematizar los resultados encontrados y difundir de manera clara y vinculada a la técnica de restauración.

### CONSIDERACIONES FINALES

La evaluación y monitoreo de áreas en proceso de restauración son procesos fundamentales de los proyectos de restauración ecológica, que ayudan a identificar acciones correctivas y manejos adaptativos

para lograr éxito en los proyectos. Además, el monitoreo apoya la validación de técnicas o estrategias de restauración, retroalimentando la construcción de conocimiento técnico y práctico sobre restauración ecológica en diferentes tipos de ecosistemas.

Este protocolo fue desarrollado para el monitoreo de áreas de restauración en bosques montanos y a una escala relativamente pequeña, y su aplicación en otros tipos de ecosistemas y a escalas mayores debe ser ajustado a tales condiciones. Así mismo, puede ser utilizado de forma parcial o con un reducido número de indicadores que deben ser priorizados de acuerdo a los objetivos o características particulares del proyecto. El protocolo es un proceso en construcción que debe ser evaluado y actualizado periódicamente con insumos directos de la aplicación de las metodologías a nivel del campo.



## Referencias

- Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez (eds.)** 2015a. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 250 p.
- Aguilar-Garavito M. y W. Ramírez** 2015b. Estructura y contenidos básicos de un programa de monitoreo. En: Aguilar-Garavito y Ramírez (eds). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. pp. 42-49.
- Álvarez E., A. Duque, J. Saldarriaga, K. Cabrera, G. Salas I. Del Valle, A. Lema, F. Moreno, S. Orrego, L. Rodríguez.** 2012. *Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia*. Forest Ecology and Management. doi: 10.1016/j.foreco.2011.12.013.
- Arshad M. A., y S. Martin,** 2002. *Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems*. Agriculture, Ecosystems and Environment 88:153-160.
- Balarezo, D. y R. Torres,** 2015. Expediente de Bosque Modelo Chocó Andino Ecuatoriano. CONDESAN y Fundación Imaymana. 68 p.
- Barbosa, L. M.** 2001. *Considerações Gerais e Modelos de Recuperação de Formações Ciliares*. In: Rodrigues, R.R, Leitão-Filho, H. (eds.). Mata ciliares: Conservação e recuperação. San Pablo, BR. EDUSP pp. 289-312.
- Barrera- Cataño, J. I., S. M. Contrera-Rodriguez, N. V. Garzon-Yepez, A. C. Moreno-Cárdenas, S. P. Montoya-Villarreal,** 2010. Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital. Secretaría de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 402 p.
- Baquero, F. y M. Peralvo.** 2016. Línea base histórica de cambio de cobertura y uso de la tierra: Sitio Noroccidente de Pichincha. Quito, Ecuador: Programa Bosques Andinos y Proyecto EcoAndes, CONDESAN, COSUDE, Fondo Ambiental Mundial. 31 p.
- Beck, E., J. Bendix, I. Kotlik, F. Makeschin, y R. Mosandl.** 2008. *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador. Estimation of Aboveground Biomass*. Ecological Studies. pp. 231-233.

- Belloto, A., R. A. Viani, A. G. Nave, S. Gandolfi, y R. R. Rodrigues, R.R.** 2009. *Monitamento das áreas restauradas como ferramenta para a avaliação da efetividade das ações de restauração e para redefinição metodológica*. In: Rodrigues, R.R., Brancalion P.H., Insernhagem, I. (Orgs.). *Pacto pela Restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. Instituto Bioatlantica. San Pablo, BR. 1:128-146.
- Bellingham, P. J. and A. D. Sparrow.** 2009. *Multi-stemmed trees in montane rain forests: their frequency and demography in relation to elevation, soil nutrients and disturbance*. Journal of Ecology 97:472-483.
- Bloomfield, G.S., A. Calle, R. P. Sarsfield y S. Wyatt. (eds.)**. 2012. Resumen de la Conferencia de Yale ISTF Estrategias para la restauración a escala paisaje en el Trópico. Iniciativa de Liderazgo y Capacitación Ambiental. New Haven, CT: Universidad de Yale; Ciudad de Panamá: Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales.
- Brancalion, P. H., R. A. Viani, R. R. Rodrigues, S. Gandolfi.** 2015. *Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração*. Documento técnico. Disponible en [http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206\(2\).pdf](http://www.esalqlastrop.com.br/img/aulas/Cumbuca%206(2).pdf)
- Budowski, G.** 1965. *Distribution of tropical American rain forest species in the ligth of sucessional processes*. Turrialba. 15: 40-42.
- Budowski, G.** 1963. *Forest sucession in tropical lowlands*. Turrialba. 13: 42-44.
- Cedeño, J. y C. Cerón.** 2013. *Mega dominancia de Iriartea deltoidea Ruiz & Pav. (Arecaceae), en un remanente del noroccidente de Pichincha, Ecuador*. Arnaldoa 20 (1): 83-102.
- Chave J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus D, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J. P. Lescure.** 2005. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. Oecologia. 145: 87–99.
- Chave, J., H. Muller-Landau, T. Baker, T. Easdale, H. Ter Steege, O. Campbelllo.** 2006. *Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species*. Ecological Applications 16(6): 2356–2367.
- Chávez, J.H.** 2007. TULIPE y la cultura Yumbo. Arqueología comprensiva del subtrópico quiteño. FONSAL. 167p.
- Cury, R. y O. Carvalho.** 2011. *Manual para a restauração florestal, florestas de transição*. Belem. IPAM (Instituto de Investigaciones Ambientales de la Amazonía). Serie Boas Práticas (5):43.
- Daily, G. (Ed.).** 1997. *Nature's Services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, California, 375 p.

- De Groot, R. S., J. Blignaut, S. Van Der Ploeg, J. Aronson, T. Elmqvist, and J. Farley,** J. 2013. *Benefits of Investing in Ecosystem Restoration*. Conservation Biology, 27: 1286–1293. doi:10.1111/cobi.12158.
- Del Valle, J.I., H. I. Restrepo, M. M. Londoño.** 2011. Recuperación de la biomasa mediante la sucesión secundaria, Cordillera Central de los Andes, Colombia. Revista de Biología Tropical 59:1337-1358.
- Descheemaeker, K., J. Nyssen, J. Poesen, H. Mitiku, B. Muys, D. Raes, J. Moeyersons y J. Deckers.** 2006. *Soil and Water Conservation through Forest Restoration in Exclusions of the Tigray Highlands*. Journal of the Drylands 1: 118–134.
- Doren, R.F., J. C. Trexler, A. D. Gottlieb, M. C. Harwell.** 2009. *Ecological indicators for system-wide assessment of the greater everglades ecosystem restoration program*. Ecological Indicators Supplement. 9 (6): S2-S16.
- Durigan, G.** 2011. *O uso de indicadores para monitoramento de áreas em recuperação*. Cadernos da Mata Ciliar. San Pablo, BR. 4: 11-39.
- FAO Natural Resources Management and Environment Department.** 2010. *Glossary of Classifiers, Modifiers, and Attributes. Land Cover Classification System*. Versión 1.0 disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.HTM>
- Figueredo, M. V. B.** 2013. *Guia práctico para coleta de amostras laboratoriais*. Figueredo, M. V. B., Gomes, E. W.F., Galdino, A. A. S. (eds.) Instituto Agronómico de Pernambuco. Recife, BR. 90 p.
- Flores, L.D.** 2010. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos. Universidad Nacional Autónoma de México. 56 p.
- Fugimori, G.A.** 2014. *Proposta metodológica para recuperação de áreas degradadas*. Tesis de Maestría Universidad Federal de Río de Janeiro, BR. Escuela Politécnica 116 p.
- Galeas, R y J. E. Guevara. (Eds.)** 2012. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- García Y., W. Ramírez y S. Sánchez.** 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes 35: 125–138.
- Gibbs H. K. y J.M. Salmon.** 2015. *Mapping the World's degraded lands*. Applied Geography. 57: 12-21. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024>.
- Gobierno de Canadá** 2016. “SMART” objectives and performance indicators. Disponible en: <http://www.tbs-sct.gc.ca/psm-fpfm/learning-apprentissage/ptm-grt/pmc-dgr/smart-eng.asp>

**Guimarães, J.C., D. A. de Barros, J. A. A. Pereira, R. A. Silva, A. D. Oliveira, L. A. Borges.** 2013. *Cost analysis and ecological benefits of environmental recovery methodologies in bauxite mining*. CERNE 19(1): 9-17. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/cerne/v19n1/02.pdf>

**Hobbs, R. J. y J. A. Harris.** 2001. *Restoration Ecology: Repairing the Earth's Ecosystems in the New Millennium*. Restoration Ecology 9:239-246.

**Holl, K. D. y M. Aide,** 2011. *When and Where to Actively Restore Ecosystems? Forest Ecology and Management* 261-10: 1558-1563.

**Ilstedt, U., Malmer, A., Elke, V., Murdiyarso, D.** 2007. *The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis*. Forest Ecology and Management, 251: 45–51.

**Jiménez, V.R.E.** 2012. *Assessing success of forest restoration efforts in degraded montane cloud forest in southern Mexico*. Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Michigan.

**Kageyama, P. y F. B. Gandara.** 2001. *Recuperação de Áreas Ciliares*. In: Rodrigues, R.R, Leitão-Filho, H. (eds.). *Mata ciliar: Conservação e recuperação*. San Pablo. EDUSP pp. 249-269.

**Karlen D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F. y Schuman, G. E.** 1997. *Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation*. Soil Science Society of America Journal 61: 4-10.

**Kimball, S., M. Lulow, Q. Sorenson, K. Balazs, Y-C. Fang, S. J. Davis, M. O'Connel y T. E. Huxman.** 2015. *Cost-effective ecological restoration*. Restoration Ecology. 23:800-810. doi: 10.1111/rec.12261.

**Laino-Guanes, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Bello-Mendoza, R., Jiménez, F., Casanoves, F., Musálem-Castillejos, K.** 2016. *Human pressure on water quality and water yield in the upper Grijalva river basin in the Mexico-Guatemala border*. Ecohydrology & Hydrobiology. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.12.002>

**McDonald T., Gann G.D., Jonson J., and Dixon K.W.** 2016. *International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts*. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C. 48 p.

**Mansourian, S., J. A. Stanturf, M. A. A. Derkyi, and V. L. Engel.** 2017. *Forest Landscape Restoration: increasing the positive impacts of forest restoration or simply the area under tree cover?* Restoration Ecology. 25: 178–183. doi:10.1111/rec.12489.

**Meli, P. y Carrasco-Carballido, V.** 2011. Restauración ecológica de riberas: Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la Selva Lacandona. Serie

Diálogos Numero 5. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad México, D.F. 10 p.

**Meli, P., F. F. Herrera, F. Melo, S. Pinto, N. Aguirre, K. Musálem, C. Minaverry, W. Ramírez y P. H. S. Brancalion.** 2017. *Four approaches to guide ecological restoration in Latin America*. Restor Ecol, 25: 156–163. doi:10.1111/rec.12473.

**Murcia C. y M. R. Guariguata.** 2014. La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Bongor, Indonesia: CIFOR 10 p.

**Nelson BW, R. Mesquita, J. L. G. Pereira, S. G. A de Souza, G. T. Batista, L. B. Couto.** 1999. *Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon*. Forest Ecology and Management 117:149–167.

**Osinaga, O., S. Baez, F. Cuesta, A. Malizia, J. Carrilla, N. Aguirre, N. y L. Malizia.** 2014. Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido. Protocolo 2. – Version 1. CONDESAN /IER-UNT/ COSUDE. Quito, Ecuador.

**PACTO (Pacto pela restauração da Mata Atlântica).** 2009. *Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*. Rodrigues, R.R., Brancalion, P.H., Isenhardt, I. (eds). San Pablo, LERF/ESALQ. Instituto Bioatranica. 264 p.

**PACTO (Pacto pela Restauração da Mata Atlântica).** 2011. *Protocolo de Monitoramento para programas e projetos de restauração florestal*. Rodrigues, R.R (ed.). San Pablo, Brasil, 40 p.

**PACTO (Pacto pela Restauração da Mata Atlântica).** 2013. *Protocolo de Monitoramento para programas e projetos de restauração florestal*. Viani, R.A.G (ed.). San Pablo, Brasil, 59 p.

**Palmer, M. A., R. F. Ambrose, and N. L. Poff.** 1997. *Ecological Theory and Community Restoration Ecology*. Restoration Ecology 5:291-300.

**Palmer, M. A., E. Bernhardt, E. Chornesky, S. Collins, A. Dobson, C. Duke, B. Gold, R. Jacobson, S. Kingsland, R. Kranz, M. Mappin, M. L. Martinez, F. Micheli, J. Morse, M. Pace, M. Pascual, S. Palumbi, O. J. Reichman, A. Simons, A. Townsend, y M. Turner.** 2004. *Ecology for a crowded planet*. Science, 304:1251–1252.

**Pinto, L., M. M. Hirota, R. Calmon, R. Rodrigues, R. Rocha.** 2009. Introdução. In PAC-TO (*Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal*). Rodrigues, R.R., Brancalion, P.H., Isenhardt, I. (eds). San Pablo. Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal - LCB/ESALQ/USP. Instituto Bioatranica. pp. 6-10.

**Pickett, S. T. A., S. L. Collins, J. J. Armesto.** 1987. *A hierarchical consideration of causes and mechanisms of succession*. Vegetatio 69: 109-114.

- Pizano, C. y J. Curiel.** 2015. El monitoreo del suelo en los procesos de restauración ecológica: Indicadores, cuantificadores y métodos. In: Aguilar-Garavito y Ramírez (eds). Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres, p. 74-88. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D. C., Colombia. 250 p.
- Ramírez-Marcial, N. M. González-Espinosa, K. Musálem, E. Noguera-Savelli, E. Gómez-Pineda, E.** 2014. Estrategias para una construcción social de la restauración forestal en comunidades de la cuenca media y alta del río Grijalva. In: González-Espinosa, M. y Brunel-Manse (coords.) Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. El Colegio de la Frontera Sur y Editorial Juan Pablos, México.
- Rigueira D. M. y E. Mariano-Neto,** 2013. *Monitoramento: uma proposta integrada para avaliação do sucesso em projetos de restauração ecológica em áreas florestais brasileiras*. Revista Caititu 1(1): 73-88. doi: 10.7724/caititu.2013.v1.n1.d06.
- Rodrigues, R. R. y S. Gandolfi.** 2001. *Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares*. In: Rodrigues, R. R, Leitao-Filho, H. (eds.). *Mata ciliares: Conservação e recuperação*. San Pablo, BR. EDUSP pp. 235-247.
- Ruiz-Jaen, M. C y T. M. Aide.** 2005. *Restoration Success: How is it being measured?* Restoration Ecology 13(3):569-577.
- Santos, D., M. G. Wilson, M. Ostinelli.** 2012. Metodología de muestreo de suelo y ensayos a campo: protocolos básicos comunes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Argentina. 70 p.
- Senanayake, R.** 2001. Manual práctico de Forestería Análoga. Fundación Rescate del Bosque Tropical, HIVOS-PNUD, Quito, Ecuador.
- Schievenin, D. F., K. C. Tonello, D. A. Silva, R. O. Valente, L. C. Faria, C. R. Thiersch.** 2011. *Monitoramento de indicadores de uma área de restauração florestal em Sorocaba-SP*. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 18(1): 95-108.
- Secretaria do Meio Ambiente.** Portaria CBRN01/2015. *Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica*. Publicado em el Diario Oficial del Estado de San Pablo el 17/01/2015 - Poder Ejecutivo – San Pablo, 125 (11): 45-46.
- SER (Society for Ecological Restoration) International Science & Policy Working Group.** 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Sociedad Internacional para la Restauración de Ecosistemas.
- SMA San Pablo (Secretaría de Ambiente del Estado de San Pablo, BR.).** 2011a. *Cadernos Mata Ciliar: monitoramento de áreas em recuperação*. No 4. Consultado en julio de 2015. 64 p.

**SMA San Pablo (Secretaría del Ambiente del Estado de San Pablo, BR.).** 2011b. Restauração Ecológica: Sistemas de nucleação. <http://www.ambiente.sp.gov.br>, consultado en Julio de 2015.

**Souza, P., A. Souza, J. Neto.** 2012. Estrutura diamétrica dos estratos e grupos ecológicos de uma área de floresta estacional semidecidua, em Dionisio, MG. Revista Arvore, Visçosa, 36 (1): 151-160.



**Vargas, O. (ed.)** 2007. Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Alto Andino. Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia.

**Viani, R.** 2015. Monitoramento de Áreas em Restauração. Documento online LAS-PEF-UFSCar, Brasil. Archivo digital. Consultado en Julio 2015.

**Villareal H., M. Alvarez, S. Cordoba F. Escobar G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza. M. Ospina, A. M. Umaña.** 2004. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. In: Manual de Métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia pp. 187-225.

**Wood, J.K.** 2011. Evaluating and monitoring the success of ecological restoration implemented by the University of Washington Restoration Ecology Network Capstone Projects. Master Science Thesis. University of Washington, School of forest Resources. 105 p.

**World Agroforestry.** 2015. Tree Functional and Ecological Databases. Disponible en: [http://old.icraf.org/regions/southeast\\_asia/resources/db/AFTdatabase](http://old.icraf.org/regions/southeast_asia/resources/db/AFTdatabase)



## Glosario

**Abundancia:** número de individuos por especie. La abundancia relativa es el número de individuos por especies en relación al número total de individuos.

**Composición ecosistémica:** variable que contempla los componentes físicos de los sistemas biológicos, ej: número de especies, número total de individuos, etc.

**Disturbio:** eventos destructivos de origen natural o antrópico, que rompen la estructura y la función de un sistema, cambiando la disponibilidad de recursos y las condiciones microclimáticas, en el espacio y tiempo.

**Ecosistema de referencia:** ecosistema o estadio sucesional del ecosistema natural que se señala como modelo para fijar los objetivos de la práctica de restauración ecológica.

**Especie invasora:** especie que no ocurre naturalmente en el ecosistema de origen y que se desarrolla con altas tasas de crecimiento, reproducción y dispersión.

**Especie pionera:** especie que inicia la ocupación de áreas en los primeros estadios sucesionales, normalmente desproveídas de vegetación, o en bordes y/o claros del bosque, generalmente de rápido crecimiento, ciclo de vida corto (hasta 10 años), heliófilas, con baja densidad de madera, y producción de semillas pequeñas y en gran cantidad.

**Estabilidad:** mantenimiento en el tiempo de las características del ecosistema de origen, como la composición, riqueza y diversidad de especies.

**Estrato:** capas o niveles de vegetación que se distribuyen verticalmente y conforman la estructura forestal.

**Estructura ecosistémica:** disposición u ordenamiento físico de cada nivel de organización en un ecosistema, ej: proporción de sexos, alturas, etc.

**Formas de vida:** tipos de formación vegetal que pueden ser agrupados por palmas, epífitas, enredaderas/lianas, rizomataceas, leñosas, etc.

**Funcionalidad:** variedad de procesos e interacciones que ocurren entre los componentes ecosistémicos (organismo-organismo, organismo-ambiente), estos pueden ser ecológicos, biogeoquímicos, o evolutivos.

**Grupo funcional:** clasificación de las especies en función a características que las definen en cuanto a su papel ecológico, forma en que desarrollan e interactúan en el ambiente.

**Integridad ecológica:** habilidad de un sistema ecológico de soportar y mantener una comunidad de organismos que tienen una composición de especies, diversidad, y una organización funcional comparable a hábitats naturales en una región.

**Manejo adaptativo:** proceso cíclico conformado por una acción de manejo, monitoreo del impacto de esta acción y ajustes posteriores basados en los resultados del monitoreo.

**Morfo especie:** un grupo de organismos que difieren en algún aspecto morfológico de todos los otros grupos. Utilizado en estudios ecológicos cuando aun no es posible la identificación de la especie.

**POM (Punto óptimo de medición):** ubicación exacta del tallo donde se mide su diámetro. Para las plántulas de la regeneración natural será de 5 cm desde el punto de enraizamiento de la planta.

**Propágulos:** estructuras reproductivas que se mueven en el espacio lejos del individuo parental.

**Régimen de disturbio:** patrones espacio-temporales y la magnitud de un disturbio o de un conjunto de disturbios que ocurren en un sistema biológico. Características del total de disturbios que afectan un sistema.

**Resiliencia:** es la capacidad de una comunidad de volver al punto de equilibrio luego de una perturbación.

**Resistencia:** es la tendencia de una comunidad a no abandonar el punto de equilibrio frente a una perturbación.

**Riqueza:** número de especies diferentes en un área.

**Servicios ecosistémicos:** condiciones y procesos a través del cual los ecosistemas naturales y las especies que componen el mismo sostienen la vida, como por ejemplo el ciclaje de nutrientes.

**Sucesión ecológica o natural:** el proceso por el cual una comunidad vegetal es progresivamente sustituida por otra a lo largo del tiempo en la misma área.

**Trayectoria de degradación:** historia de degradación que sufre un ecosistema a través del tiempo.

**Trayectoria de restauración:** describe la ruta de desarrollo de un ecosistema en proceso de restauración a través del tiempo.





## **ANEXOS**



**Anexo I**

**Matriz de sistematización de indicadores utilizados para monitoreo de áreas de restauración ecológica.**

Parámetro	Componente	Indicadores	Referencia
Estructura	Flora	Altura de plantas	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Brancalion 2015; Meli y Carrasco 2011, Ruiz-Jaen y Aide 2005
		Área basal	PACTO 2011; SMA San Pablo 2011a; Ruiz-Jaen y Aide 2005, Jimenez 2012
		Diámetro de plantas	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Brancalion 2015; Secretaria do Meio Ambiente 2015; Meli y Carrasco 2011; Jimenez 2012
		Densidad de especies leñosas	Brancalion 2015; Viani 2015; PACTO 2011; Ruiz-Jaen y Aide 2005
		Biomasa	Brancalion 2015; Viani 2015; Meli y Carrasco 2011; São Paulo 2011a; Ruiz-Jaen y Aide 2005
		Perfiles de vegetación	Brancalion 2015; Ruiz-Jaen y Aide 2005
		Altura de la vegetación	PACTO 2011; Jimenez 2012
		Estratificación	Brancalion 2015, Fugimore 2014; Viani 2015; PACTO 2011; SMA San Pablo 2011a
		Cobertura de copa	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Brancalion 2015; Brancalion <i>et al.</i> 2015; Secretaria do Meio Ambiente 2015; Fugimori 2014; Viani 2015; Jimenez 2012
Suelo	Suelo	Erosión	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Fugimori 2014; PACTO 2013; Murcia y Cariguata 2014
		Compactación	Rigueira y Mariano-Neto 2013; PACTO 2013
		Acidez	Rigueira y Mariano-Neto 2013
		Fertilidad	Rigueira y Mariano-Neto 2013; PACTO 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005
		Prácticas de conservación de suelo	PACTO 2013
		Capacidad de infiltración de agua	SMA San Pablo 2011a
		Cobertura hojarasca	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011a; Brancalion 2015

Parámetro	Componente	Indicadores	Referencia
Composición	Flora	Formas de vida	Rigueira y Mariano-Neto 2013; SMA San Pablo 2011a; SMA San Pablo 2011b; Viani 2015
		Cobertura de pasto/ especies exóticas/ herbáceas dominantes	Rigueira y Mariano-Neto 2013; PACTO 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005; Brancalion 2015; SMA San Pablo 2011b; Brancalion <i>et al.</i> 2015; Fugimori 2014; Viani 2015; PACTO 2011; Murcia y Guariguata 2014; SMA San Pablo 2011a
		Densidad de especies invasoras leñosas	PACTO 2013
		Especies de recubrimiento	<i>idem</i>
		Abundancia	Jiménez 2012; Ruiz-Jaen y Aide 2005; Sao Paulo 2011; PACTO 2011
		Equidad	SMA San Pablo 2011a; PACTO 2011
		Riqueza	Jiménez 2012; Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011a; Brancalion 2015; SMA San Pablo 2011b; PACTO 2011; Brancalion <i>et al.</i> 2015; Secretaria do Meio Ambiente 2015; Viani 2015; Wood 2011
Funcionalidad Procesos ecológicos	Flora	Mortalidad / sobrevivencia	Rigueira y Mariano-Neto 2013; SMA San Pablo 2011b; Brancalion <i>et al.</i> 2015; Schievenin <i>et al.</i> 2012; Fugimori 2014; Viani 2015; Meli y Carrasco 2011; Murcia y Cariguata 2014; SMA San Pablo 2011a
		Regeneración natural riqueza	Jimenez 2012, Rigueira y Mariano-Neto 2013; SMA San Pablo 2011a; Schievenin <i>et al.</i> 2012
		Regeneración natural - Densidad	Ruiz-Jaen y Aide 2005; São Paulo 2011a; Brancalion 2015; SMA San Pablo 2011b; Rigueira y Mariano-Neto 2013; Secretaria do Meio Ambiente 2015; Fugimori 2015; Wood 2011; Schievenin <i>et al.</i> 2012
		Fijación de carbono	SMA San Pablo 2011a; Viani 2015; Murcia y Cariguata 2014
		% grupos funcionales	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011a; Brancalion 2015; Viani 2015

Parámetro	Componente	Indicadores	Referencia
<b>Funcionalidad Procesos ecológicos (continuación)</b>	Fauna	Dispersores	Rigueira y Mariano-Neto 2013; SMA San Pablo 2011a
		Herbivoría	Ruiz-Jaen y Aide 2005
		Indicios de ocurrencia de fauna	SMA San Pablo 2011a
		Polinizadores	Rigueira y Mariano-Neto 2013; Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011a
	Suelo	Fauna edáfica	Rigueira y Mariano-Neto 2013
		Descomposición de materia orgánica	Ruiz-Jaen y Aide 2005; SMA San Pablo 2011b
		Lluvia de semillas	Brancalion 2015
		Capacidad de infiltración de agua	Viani 2015
<b>Factor de degradación</b>		Ocurrencia de incendios	PACTO 2013; SMA San Pablo 2011a
		Presencia de ganado u otros animales domésticos	<i>idem</i>
		Ataque por hormigas	<i>idem</i>

Anexo II

## **Planillas para toma de datos en campo para indicadores obligatorios.**

## **Protocolo de monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos**

**Indicadores:** Diversidad, mortalidad y productividad biomasa

## Monitoreo área de restauración:

Echa:

Número de evento:

## Responsable:

\*COD Fitosanitario: S-Saludable, AP - Atacado por plagas, HM- Hojas con manchas; COD Condición planta: R-Rebrotando, P - Postrado, RS- Resembada, SH- Hojas secas, RO - Roto/contado, TM- Tallos múltiples, M-Muerta, F-Con flores/frutos, NE-No encontrada

<b>Protocolo de monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos</b>				
<b>Indicador: costos de mantenimiento</b>				
Localidad:				
Fecha:				
Número de evento:				
Principales problemas encontrados en el área:				
Responsable:				
Metodología para cada actividad de mantenimiento realizada				
Actividades				
Información de costos				
Rubro	Cantidad / unidad	Valor unitario	Valor total	Observaciones
Mano de obra				
Insumos 1				
Insumos 2				
Otro: _____				
<b>Costo total del mantenimiento</b>				
Observaciones con implicación para futuros manejos adaptativos				



# Otros protocolos de esta serie:

Monitoreo de contenidos y flujos de carbono en gradientes altitudinales alto andinos.

Monitoreo del impacto del cambio climático en la vegetación de cumbres alto andinas.

Caracterización y monitoreo de actores relacionados a la gestión de recursos naturales

Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos.

Monitoreo de cambio de cobertura y uso de la tierra a escala de sitios.

Monitoreo de biodiversidad, productividad y experimentación en ecosistemas herbáceos andinos.

Monitoreo de modos de vida a escala local.



Con el apoyo de:

