

SERIE DE INVESTIGACIÓN

2

Guía para la Restauración
Ecológica en los Páramos del

ANTISANA



Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana



Fondo para la Protección del Agua-FONAG/ 2014
SERIE DE INVESTIGACION 2

Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana

Investigación y Redacción
Nikolay Aguirre M.
Jonathan Torres C.
Patricia Velasco-Linares

Revisión de textos
Gustavo Galindo / FONAG

Edición
Nancy Puente / FONAG

Diseño
QBO

Impresión
Julio 2014
Publiasesores

ISBN.9942-9983-3

Se autoriza la reproducción total o parcial, siempre y cuando se cite la fuente de la siguiente manera:

Aguirre N. Torres J. y Velasco P. 2014. Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana. Fondo para la Protección del Agua-FONAG. Quito-Ecuador.

Todos los derechos reservados

Fondo para la Protección del Agua-FONAG.
Isla Santa Fe N43-106 entre Río Coca y Tomás de Berlanga, sector Jipijapa
Teléfonos: 00.593.02.2430 233 / 2275 634
www.fonag.org.ec

Contenido

Presentación	5
1. Bases conceptuales de la Restauración Ecológica	7
Terminología relacionada con la restauración ecológica	8
Alcance conceptual de la restauración ecológica	15
2. Sucesión, disturbios y la restauración en páramos	17
Sucesiones primarias y secundarias	18
Disturbios	19
Dimensión del disturbio	20
Jerarquías del disturbio	21
Factores de tensión y limitantes de la restauración ecológica	22
3. Elementos para elaborar un Plan de Restauración Ecológica en Páramos	25
Caracterizar las áreas a restaurar y selección de los escenarios de referencia	27
Revisión de información secundaria	27
Caracterización ecológica rápida	27
Caracterizar el disturbio, factores de tensión y limitantes	29
Definir el escenario de referencia	32
Garantizar la participación de los actores sociales	33
Plantear los objetivos y metas de restauración	33
Seleccionar los sitios piloto	33
4. Estrategias de Restauración para el Ecosistema Páramo	35
Restauración activa y pasiva	36
Selección de las estrategias de restauración activa en páramos	38
Estrategias de manejo de la vegetación para superar las barreras bióticas	39
Estrategias de manejo de la vegetación para superar las barreras abióticas	43

5. Recomendaciones para el Monitoreo y Evaluación de zonas de páramo restauradas	45
Importancia y planteamiento de un programa de monitoreo y evaluación para la restauración ecológica de páramo	46
Tipos de seguimiento y evaluación en la restauración ecológica	47
Lineamientos a considerar en el seguimiento y evaluación	43
6. Ejemplo práctico de restauración para la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu	51
Características generales de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu	52
Caracterización de los disturbios	52
Caracterización de las limitantes	54
Parámetros ecológicos	56
Zonificación y priorización de sitios a restaurar en la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu	58
Zonificación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu	58
Zonificación de la degradación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu	59
Estrategias para la restauración ecológica del páramo de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu	60
Bibliografía	61

Presentación

El páramo andino constituye uno de los ecosistemas del mundo más importante, pero al mismo tiempo, uno de los menos conocidos (Hofstede et al. 2003, Llambí et al. 2012). Los páramos cumplen con importantes funciones naturales, culturales y económicas, prestan múltiples servicios ecosistémicos relacionados con su capacidad de interceptar, almacenar y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos (MAC 2001, Vargas et al. 2010). Además, tienen características únicas que permiten el desarrollo de muchas comunidades rurales y son hábitat de una gran diversidad de plantas y de animales. Este ecosistema forma parte de la identidad andina, ya que alberga un cúmulo de cultura ancestral porque fue parte de las rutas de comunicación de la cultura Inca, guardando restos arqueológicos importantes (Eguiguren y Ojeda, 2009, Llambí et al., 2012)

A pesar de la importancia de estos ecosistemas, el incremento de las actividades humanas productivas, como la agricultura, la ganadería y la forestación alteran significativamente su comportamiento hidrológico (Buytaert et al., 2008) y, por lo tanto, su capacidad de suministro y regulación de agua, lo que se refleja en la disminución del flujo base y aumento de la escasez en épocas de sequía. Esta situación se hace más incierta, debido a que existen grandes vacíos de información sobre los procesos hidrológicos en estos ecosistemas, lo que impide desarrollar procesos de gestión sostenible, haciéndose más evidente dentro de un contexto de cambio climático. Esta falta de

información deriva en que muchas prácticas comunes de “conservación hídrica” no sean evaluadas. Los vacíos de información oportuna permiten que existan graves malos entendidos y equivocaciones, como por ejemplo, el paradigma de la forestación y que la eficiencia de la inversión de recursos para la conservación del agua sea muy baja.

La importancia hidrológica de los Andes contrasta notablemente con su vulnerabilidad, debido a que estos son ecosistemas muy frágiles y sensibles a los diferentes cambios de cobertura y uso de la tierra - CCUT. En las últimas décadas, la velocidad de los CCUT se

El incremento de las actividades como la agricultura, ganadería y forestación con especies exóticas alteran significativamente su comportamiento hidrológico y, por lo tanto, su capacidad de suministro y regulación de agua...



incrementaron drásticamente, principalmente con la construcción de infraestructura vial y productiva, la intensificación del pastoreo, la conversión de pastizales a campos agrícolas y la promoción de actividades extractivas como la minería a tajo abierto (van der Hammen, et al., 2002; Hincapié et al., 2002). Estudios científicos sugieren que el aumento de las actividades humanas puede alterar significativamente el comportamiento hidrológico del ecosistema páramo, lo que afecta directamente la función de suministro de agua (Celleri, R., 2010). Por ejemplo: los efectos de quema y labranza en los páramos (Poulenard, et al. 2001), las consecuencias de las prácticas agrícolas (Buytaert, et al. 2002, (Buytaert, et al 2006b), los efectos de la tala selectiva de bosques (Wilcke et al. 2009), los efectos de la deforestación (Bruijnzeel 2004; Tobón 2009) y la forestación con especies exóticas en los páramos (Crespo et al., 2009; Buytaert et al., 2007b), entre otros. y así como incremento de la demanda de agua son las principales causas de un impacto en los páramos que afectan sus capacidades de captación de agua y recreación y con éstos, la calidad de vida de la gente que depende directa o indirectamente de este ecosistema (Hofstede et al. 2003).

En estas condiciones, para desarrollar acciones eficientes de restauración, conservación y protección de los ecosistemas andinos se necesita generar información local a nivel de microcuenca, escala a la cual se relacionará las características del régimen hidrológico con las propiedades de cobertura, uso, suelo y morfología de la cuenca y con énfasis en las zonas de “producción” de agua (zonas altas), de tal manera que se pueda responder a corto y mediano plazo preguntas que ayuden a la oportuna toma de decisiones

El proceso de recuperación natural del páramo toma bastante tiempo y la quema repetida y pastoreo causan daños permanentes a largo plazo, convirtiéndolos en ecosistemas más vulnerables que las selvas tropicales ya que los páramos pueden ser adaptados fácilmente para el cultivo y la ganadería con sólo la quema de los predios (Morales y Estévez 2006, Eguiguren y Ojeda 2009).

Bajo este contexto, se inició un proceso a largo plazo orientado a restaurar la funcionalidad hidrológica de los páramos de Zona de Conservación Antisana, a través del programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal del Fondo para la Protección del Agua-FONAG y –a la par– el Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso acelerado de Glaciares en Los Andes Tropicales – PRAA, por intermedio de CONDESAN, ejecutó el proyecto “ Restauración de áreas degradadas de páramo a pequeña escala y diseño de un Plan piloto de manejo adaptativo para zonas de amortiguamiento dentro de las microcuencas Antisana y Pita en áreas de aporte a los sistemas de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito”. Esta guía es una contribución conceptual y metodológica que se desarrolló a partir de los aprendizajes generados en estos dos procesos.

La guía presenta lineamientos básicos para iniciar un proceso de restauración del páramo a largo plazo. Entre los temas que se abordan en este documento son: 1) una base conceptual relacionada con la restauración ecológica; (2) los factores que se deben considerar en el proceso de restaurar páramos; (3) el proceso que se debe seguir para elaborar un plan de restauración de páramos; (4) algunas estrategias y técnicas que pueden ser empleadas y, (5) un ejemplo práctico para estructurar un procesos de priorización con miras a la restauración.

⋮
1

Bases conceptuales
de la Restauración
Ecológica



Terminología relacionada con la restauración ecológica

El crecimiento de la población, el desarrollo industrial, los sistemas económicos, la invasión de especies, la contaminación, entre otros causaron grandes transformaciones en los sistemas naturales, que se traducen en el deterioro de los ecosistemas, la pérdida de diversidad y la disminución en los bienes y servicios. No obstante, tal como lo describen Vargas & Mora (2007), solo hasta la década de los años 80 surge la necesidad, tanto de la conservación como de la reparación o remediación de los daños ambientales causados por las actividades humanas. De esta forma, la restauración ecológica empieza a ser una alternativa de asistencia del hombre a la naturaleza para contrarrestar, de alguna manera, los efectos negativos que se acumularon a través del tiempo y que al final amenazan la existencia misma del ser humano en el planeta (Linding 2011).

Pero antes de abordar el concepto de restauración ecológica, es necesario definir algunos términos que permitirán un mejor entendimiento del tema y evitar interpretaciones erróneas.

Hay dos conceptos que se discuten desde un nivel local hasta el internacional. Estos son: la **restauración ecológica** y la **restauración del capital natural**. El primero, se refiere al proceso de ayudar a que un ecosistema se recupere luego de una degradación (Figura 1). El segundo, es una nueva disciplina que combina los aportes de la ecología de la restauración y la economía ecológica para la conservación la naturaleza, mitigación y adaptación a los cambios globales y perturbaciones climáticas y la lucha contra la pobreza. Este nuevo concepto se relaciona directamente con la inversión o recuperación de las reservas de **capital natural**, con el fin de promover el bienestar social y la conservación de los ecosistemas al corto, mediano y largo plazo (Aronson *et al.* 2007, Aguirre 2010, Aguirre *et al.* 2013).



Figura 1. Aspecto de las parcelas piloto de *Calamagrostis intermedia* introducida en las parcelas piloto de restauración 2013

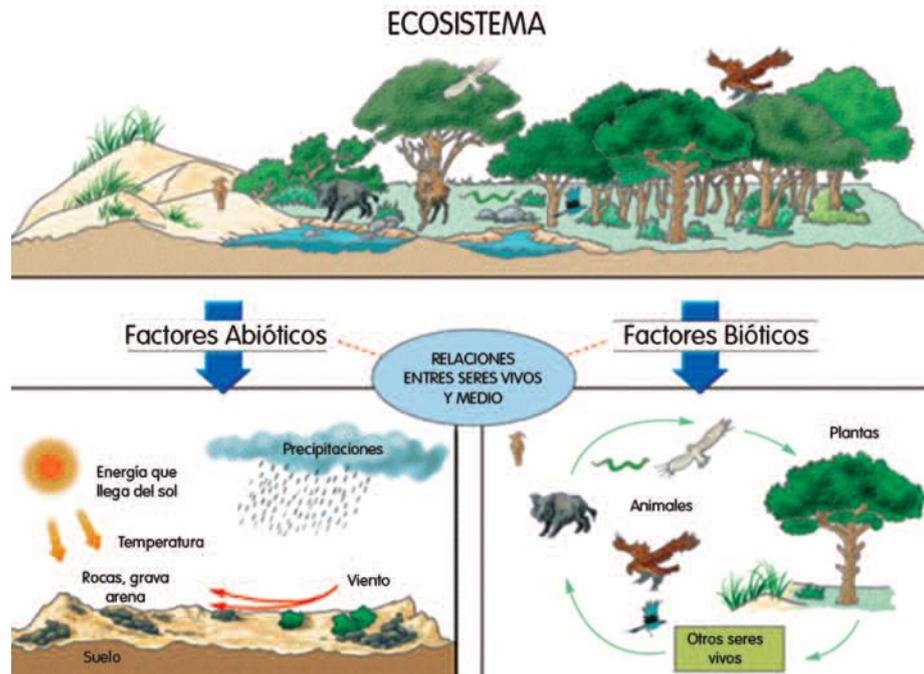


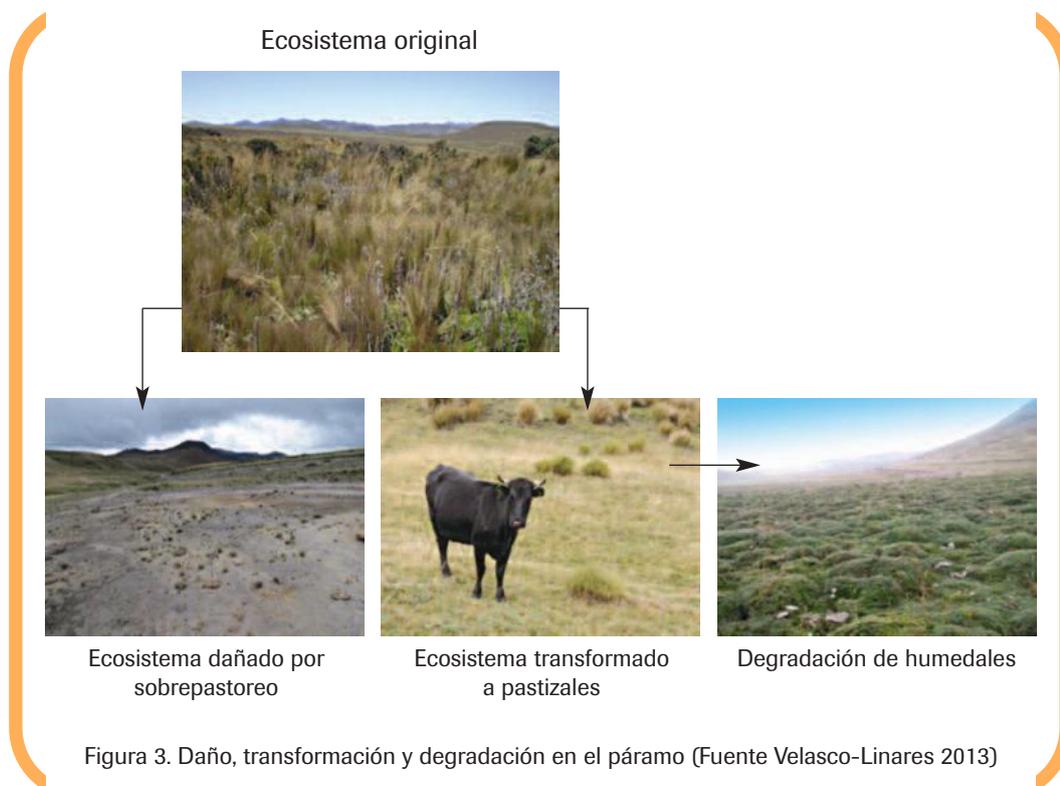
Figura 2. Sistema ecológico y las interacciones entre el medio biótico y abiótico

En otras palabras, con la restauración ecológica se mejoraría la composición, estructura y funcionalidad de un ecosistema degradado, mientras que la restauración del capital natural a más de mejorar la composición, estructura y funcionalidad del ecosistema, también pretende incrementar el capital natural que representan un beneficio directo (principalmente económico) para el ser humano.

La restauración ecológica siempre se relacionará con un **ecosistema**, que consta de dos componentes: el biótico y el abiótico, es decir el ambiente que la sostiene y las interacciones entre éstos (Figura 2). Hay ecosistemas **naturales** y **culturales**, el primero corresponde a los procesos naturales, se organiza y mantiene por sí solo; el segundo incluye todos aquellos que se desarrollan bajo la influencia de procesos naturales y la organización está impuesta por el ser humano. Dentro de un ecosistema está el **ambiente físico o abiótico** (incluye el suelo, el medio atmosférico o acuoso, la hidrología, el clima, el relieve y la orientación topográfica, y los regímenes de nutrientes y salinidad) y las **comunidades bióticas** (conjunto de poblaciones de especies vegetales y animales que habitan una determinada región) (MAC 2003, SER 2004, Vargas 2007).

Cuando la estructura, composición y funcionamiento de un ecosistema ha sido alterada, se dice que está dañado, transformado o degradado (Figura 3). Un **daño** se refiere a los cambios obvios y agudos que eliminan toda la vida macroscópica y, por lo general, también arruina el ambiente fí-

sico, así por ejemplo en actividades de minería a gran escala. Una **transformación** es la conversión de un ecosistema en otro tipo de ecosistema o uso de la tierra, como la conversión de páramo a cultivos. La **degradación** se relaciona con los cambios graduales que reducen la integridad y la salud ecológica del ecosistema y, generalmente, sucede luego de un daño o una transformación. Un ecosistema degradado reduce su diversidad, su productividad y se caracterizan por la pérdida de vegetación y suelo (SER 2004, Vargas 2007, Vargas 2011, Vargas y Velasco 2011).



La degradación de los ecosistemas es causada por factores naturales o antrópicos que causan **perturbaciones** o impactos sobre el mismo y son más graves o agudos dependiendo de la intensidad del factor degradante. Naturalmente los ecosistemas son **resistentes** ante las perturbaciones, esto se refiere a su capacidad de mantener sus atributos estructurales y funcionales, pero, cuando han sido afectados por la perturbación, estos tienen la capacidad de recobrar sus atributos y volver a su estado natural. Esta capacidad se la denomina **resiliencia** (Figura 4). Complementario a ello, está la **estabilidad del ecosistema** que es su capacidad para mantener una determinada trayectoria a pesar del estrés, lo que denota un equilibrio dinámico más no un estancamiento (MAC 2003, SER 2004, Vargas y Velasco 2011).

La restauración de ecosistemas degradados implica el estudio de un **ecosistema de referencia** (también denominado escenario o sistema de referencia), lo que ayuda a resolver el objetivo-sujeto de la misma, es decir, restaurar a partir de, basado en qué y hacia dónde (Aguirre et al. 2013). El

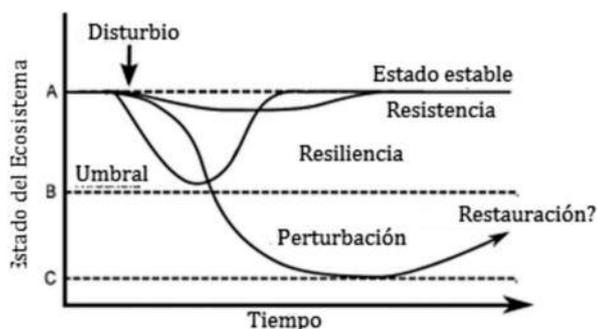


Figura 4. Modelo de los tres tipos de respuesta de un ecosistema a un factor de perturbación: resistencia, resiliencia y disturbio. Estado A es el estado de equilibrio de partida. Estado C es un nuevo estado de equilibrio, alternativo. Mientras el estado del ecosistema no pasa el umbral de irreversibilidad (Estado B), el ecosistema se mantiene estable. La restauración del ecosistema del Estado C hacia el A, se ve afectada por la histéresis y por la naturaleza y el número de umbrales que ha cruzado. Modificado de: Van Andel y Aronson (2012)

ecosistema de referencia es el modelo para la planificación y evaluación de la restauración ecológica de un ecosistema degradado, para lograr su integración con el paisaje que lo rodea. La idea es que con el tiempo, el ecosistema restaurado emule los atributos del ecosistema de referencia (SER 2004, Aronson et al. 2010a). En casos en donde el objetivo de la restauración consiste en dos o más tipos de ecosistemas, se le puede decir paisaje de referencia, o si ha de restaurar solamente una porción, se le dice unidad del paisaje de referencia (SER 2004, Vargas 2011).

Además del escenario de referencia, hay que conocer la **trayectoria ecológica** del ecosistema degradado, la

cual describe la ruta de desarrollo de un ecosistema a través del tiempo. En la restauración, la trayectoria empieza con el ecosistema no restaurado y progresa hacia el estado deseado de recuperación que se expresa en las metas del proyecto de restauración y que es personificada en el ecosistema de referencia. La trayectoria abarca todos los atributos ecológicos (bióticos y abióticos) de un ecosistema y, en teoría, se puede monitorear mediante la medición secuencial de conjuntos coherentes de parámetros ecológicos (SER 2004, Vargas *et al.* 2010).

Dentro de estos parámetros ecológicos se tiene: **composición de especies**, que es la identidad taxonómica de las especies presentes en un ecosistema; **riqueza de especies**, número de especies diferentes presentes en un ecosistema; **estructura de la comunidad vegetal**, significa la fisonomía o arquitectura de la vegetación con respecto a la densidad, estratificación horizontal y frecuencia de distribución de las poblaciones de especies, así como los tamaños y seres vivos de los organismos que componen dicha comunidad; **procesos ecológicos o funciones de los ecosistemas** que son los atributos dinámicos de los ecosistemas, que incluyen a las interacciones entre organismos y a las interacciones entre organismos y su medio ambiente. Algunos procesos dinámicos son externos, como incendios, inundaciones, vientos, heladas, sequías, etc. Estos procesos externos estresan la biota y se les dice estresores.

La trayectoria ecológica implica conocer los usos de la tierra y ecosistemas en el pasado y en el presente. Con ello, se puede seleccionar un escenario de referencia y construir un escenario de degradación y restauración a base de referencias secuenciales (Figura 5) (Aronson *et al.* 2010a, Aguirre et al. 2013).

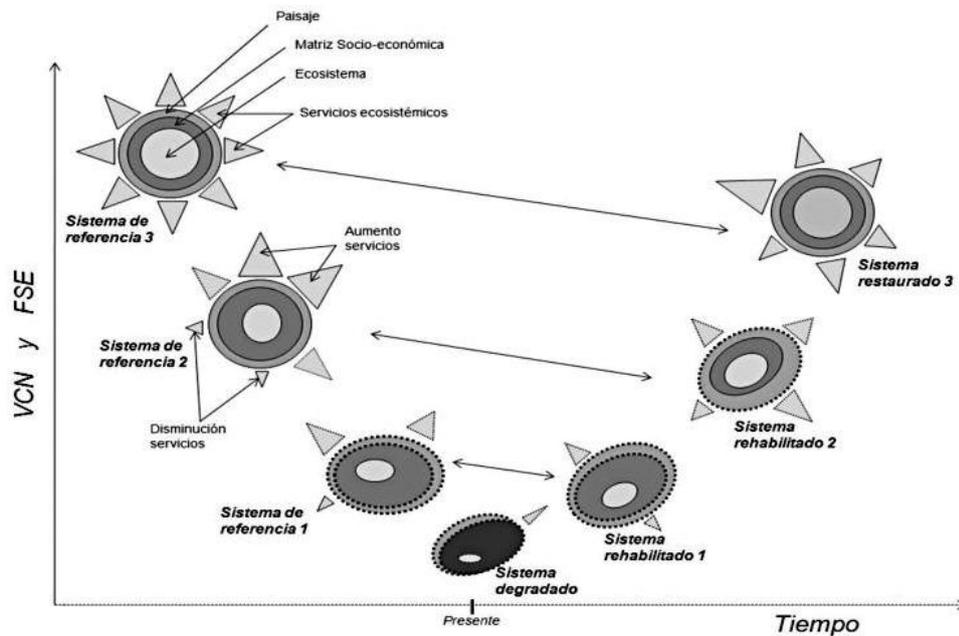


Figura 5. Modelo conceptual de referencias secuenciales de la degradación y restauración ecológica. Las líneas discontinuas representan condiciones de degradación, comparado al sistema anterior a la degradación y el paisaje integrado. El eje "y" representa el valor del ecosistema y de los flujos de los servicios ecosistémicos, mientras el eje "x" representa el tiempo. Los círculos internos representan el ecosistema natural o semi-natural que nos interesa en el contexto de restauración. Los dos círculos externos representan el paisaje y la matriz socio-económica en los cuales el ecosistema a restaurar esta incrustado. En el escenario de degradación (pasado hasta el presente) se observa el incremento de la matriz socio-económica que, con las actividades antrópicas, cuando no son bien programadas, deterioran el ecosistema natural, que ya no está integrado ni ecológica ni económicamente en el paisaje. Los triángulos representan los varios servicios ecosistémicos que brinda el ecosistema y que disminuyen, desaparecen, y aumentan según el uso y el manejo adaptativo del ser humano. El escenario de restauración (presente hacia el futuro) presenta el aumento de los servicios ecosistémicos y la integración del ecosistema al paisaje. Fuente: Aguirre et al. (2013)

Un ecosistema puede estar tan degradado que atraviesa el **umbral de irreversibilidad** o de **no retorno**, es decir, el punto en la trayectoria de un ecosistema a partir del cual cambia de forma irreversible, de tal forma que es imposible que vuelva al estado o trayectoria anterior sin una importante intervención humana (Aguirre *et al.* 2013).

Cuando se logra que un ecosistema degradado atraviese ese umbral se puede decir que se recuperó y restauró, es decir, que el ecosistema contiene recursos bióticos y abiótico que le permiten continuar con su desarrollo sin ningún tipo de asistencia de tipo antrópica, es decir se podrá mantener tanto estructural como funcionalmente, lo que se denomina como **integridad de un ecosistema** (SER 2004, Clewell 2005). Cuando un ecosistema recupera su integridad, decimos que está saludable, es decir, que los atributos dinámicos se expresan dentro de valores normales de

actividad en relación a su fase ecológica de desarrollo. Un ecosistema restaurado expresa su salud si funciona normalmente en relación al ecosistema de referencia (SER 2004).

En este contexto, la restauración y demás actividades relacionadas son consideradas como medidas correctivas que serán aplicables de acuerdo con las condiciones del área y los impactos producidos, pero que en ningún caso llegará a ser equivalente a los ecosistemas naturales y las funciones que este cumple. Pero, no siempre es posible alcanzar la restauración de un sitio, sea por el alto grado de deterioro, la ausencia de información histórica o porque las condiciones sociales o económicas no son las apropiadas para recobrar los atributos funcionales y estructurales de un ecosistema, es entonces cuando otros conceptos relacionados con la restauración empiezan

a jugar un importante papel en la asistencia a la naturaleza y en la reparación de los daños causados.

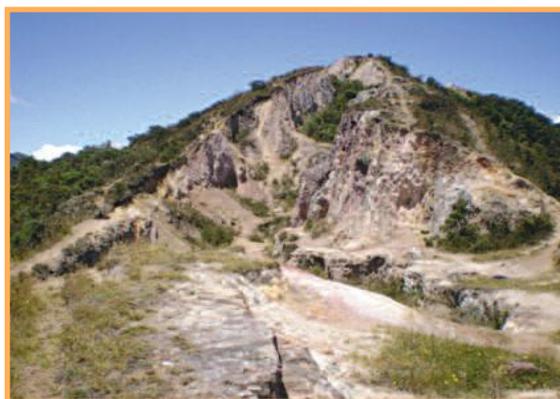


Figura 6. Diferentes ejemplos de acciones de restauración de acuerdo con las características del disturbio y las metas propuestas.

a. Laderas erosionadas dentro de la cuenca del Río Jatunhuaycu, las acciones realizadas con el fin de recuperar la cobertura vegetal y disminuir la erosión corresponderían a rehabilitación.

b. Áreas afectadas por extracciones mineras en bosque alto andino, severamente degradadas en donde se deben implementar acciones de remediación Fuente: Velasco-Linares 2013

En este sentido, emergen una serie de conceptos relacionados con la restauración ecológica, que aunque presentan similitud, difieren en la metodología aplicable y las metas que persiguen en cada caso, y son determinantes en la formulación de los objetivos y alcances de los proyectos. Entre los diversos términos relacionados con procesos de restauración ecológica (Bradshaw 1997 en Perrow y Davy 2002), están: rehabilitación, reclamación y remediación (Tabla 1).

El término **rehabilitación** se refiere al restablecimiento de procesos esenciales que permiten que el ecosistema se mantenga y regenere por su cuenta sin alcanzar su estado original. Clewell *et al.* (2000) lo definen como cualquier tratamiento con pequeños beneficios ecológicos de una restauración total. Meffé y Carroll (1994) lo expresan como cualquier intento por recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema, sin necesariamente intentar completar una restauración ecológica a una condición específica previa, y presentan como ejemplo la replantación en sitios donde se ha eliminado la cubierta vegetal con el fin de prevenir la erosión (Figura 6).

Tabla 1. Resumen de algunos de las definiciones de los conceptos empleados en restauración ecológica

Concepto	Definición	Referencia
Restauración Ecológica	Es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema (que fue degradado, dañado o destruido) con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Incluye el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad para que continúe con su trayectoria histórica	SER Internacional (2004)
Restauración Capital natural	Además de mejorar la composición, estructura y funcionalidad del ecosistema, también pretende incrementar el capital natural que representan un beneficio directo (principalmente económico) para el ser humano.	Aronson et al. (2007), Aguirre (2010), Aguirre et al. (2013).
Rehabilitación	Enfatiza la reparación de los procesos, la productividad y los servicios de un ecosistema	SER Internacional (2004)
Recuperación	Concepto usado en la Restauración, cuando un ecosistema contiene suficientes recursos bióticos y abióticos como seguir su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional.	SER Internacional (2004)
Reclamación	Utilizado en el contexto de la minería, sus objetivos principales son la estabilización del terreno, propiciar la seguridad pública, mejorar la estética y hacer útiles las tierras.	SER Internacional (2004)
	Recupera la productividad y estructura pero no la biodiversidad. Genera pocos o nulos beneficios para la biodiversidad, pero tiene beneficios socioeconómicos o mejoras funcionales.. Los objetivos principales incluyen la estabilización del terreno, el aseguramiento de la seguridad pública, el mejoramiento estético (SER 2004), y por lo general, el retorno de las tierras a lo que se consideraría un propósito útil dentro del contexto regional.	Lamb y Gilmour (2003)

La SER (2004) establece la diferencia entre **rehabilitar** y restaurar en sus metas y estrategias; la primera hace énfasis en la reparación de procesos del ecosistema, productividad y servicios, entre tanto las metas de restauración incluyen además el restablecimiento de la integridad biótica preexistente en términos de composición de especies y estructura de la comunidad. La rehabilitación comparte con la restauración un enfoque fundamental en los ecosistemas históricos o preexistentes como modelos o coberturas de referencias, pero las dos actividades difieren en sus metas y estrategias.

Se entiende por **reclamación o recuperación** las acciones que se llevan a cabo en sitios severamente degradados (p.e. tierras afectadas por minería a cielo abierto, construcción a gran escala, etc.) e implica, la mayoría de las veces, un cambio en el uso original del sitio afectado (Meffé & Carroll 1994), las cuales pueden ser acciones que permitan usos productivos en el ecosistema como la recreación pasiva, el ecoturismo y el abastecimiento hídrico. Lamb & Gilmour (2003), la definen como la recuperación de sitios degradados principalmente a través del uso de especies de vegetación exótica (árboles con frecuencia monocultivos); no se orienta a restablecer la diversidad original, pero sí la función productiva y algunos de los servicios ecológicos originales. Los objetivos principales de la reclamación incluyen la estabilización del terreno, el aseguramiento de la seguridad pública, el mejoramiento estético (SER 2004), y por lo general, el retorno de las tierras a lo que se consideraría un propósito útil dentro del contexto regional.

La **remediación** se refiere a todas aquellas técnicas o actividades que buscan eliminar las sustancias contaminantes que fueron vertidas en un medio físico como el agua, el suelo o el aire ya sea que se encuentre conservado de forma natural o modificado por el hombre (INE, 2000), buscando reutilizar estos medios y evitar que se difundan hacia otros sitios. Bradshaw (en Perrow y Davy, 2002) manifiesta que su énfasis es sobre los procesos más que sobre el punto final de alcance. La remediación puede ser una estrategia complementaria para la recuperación de ecosistemas, está asociada a procesos de mitigación de los efectos de la contaminación en el ambiente y es el primer paso para iniciar la recuperación de un ecosistema

Otros términos se incorporan comúnmente a las acciones que buscan resarcir daños ambientales, entre estos se cuenta: i) **mitigación** es una acción cuya intención es compensar los daños ambientales ii) **creación o fabricación** se usa recientemente, para referirse a proyectos de mitigación que se realizan en terrenos completamente desnudos de vegetación, se realiza como ingeniería supervisada o arquitectura de un paisaje iii) **revegetación** es una práctica que hace énfasis solamente en la recuperación de la cubierta vegetal y iv) **reforestación** consiste en la incorporación de elementos leñosos en sitios donde estos no estaban presentes.

Alcance conceptual de la restauración ecológica

La restauración ecológica es la aplicación planificada de técnicas y estrategias para iniciar o acelerar de forma asistida, la recuperación o sucesión natural de un ecosistema que haya sido degradado, dañado, transformado o destruido parcial o totalmente por causas naturales o antrópicas. Para ello es necesario evaluar los factores ecológicos y físicos que determinan los límites de la composición ecológica, la estructura y función del ecosistema degradado. Con base a ello, las técnicas y estrategias de restauración deben estar dirigidas a la recuperación de algunos y no de todos los componentes básicos de la estructura, función y composición de especies de un ecosistema (MAC 2003, SER 2004, Clewell *et al.* 2005, Cipollini 2005, Vargas y Mora 2007, Vargas *et al.* 2010, Aguirre 2011, Vargas 2011, Llambí *et al.* 2012, Aguirre *et al.* 2013).

La restauración ecológica trata de retornar un ecosistema a su trayectoria sucesional (Figura 7).



Figura 7. Acciones de restauración ecológica realizada bosque andino de la parroquia Nane-galito, Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Aguirre (2012)

Por lo tanto, al planificar las técnicas y estrategias de restauración hay que considerar como punto de partida sus condiciones. Sin embargo, un ecosistema restaurado no siempre recupera su condición anterior, debido principalmente a las limitaciones y condiciones actuales que pueden direccionar su desarrollo por una trayectoria diferente (SER 2004). La restauración ecológica funciona a muchos niveles diferentes y con frecuencia no implica algo más que la reintroducción de los paisajes y las especies nativas. El enfoque depende en gran medida de la situación, pero siempre es importante contar con un grupo de profesionales con fuerte conocimiento científico y técnico para determinar cuáles son las modificaciones que requiere el ecosistema degradado, las especies nativas que se deben utilizar, como mantener el lugar y la forma en que se lo debe monitorear (Schaefer 2006), y de acuerdo con las comunidades o el tipo de población que habita las áreas restauradas como se puede dar continuidad a las acciones, que garantizan el éxito en la implementación.

La importancia de la restauración ecológica, ya sea con fines de investigación o de desarrollo, es evidente, principalmente por los beneficios sociales derivados de la mejoría de las condiciones ambientales locales, la recuperación de los servicios ecosistémicos a diferentes escalas, e incluso de la capacidad productiva de los sitios recuperados (SER 2004, Linding 2011).

Aronson *et al.* (2010b) considera que la restauración ecológica genera muchos beneficios directos, tales como la protección de cuencas, tratamiento de residuos, las utilidades de la productividad secundaria para las personas, secuestro de carbono para mitigar el cambio climático, etc. También puede conducir a mejoras en el suministro y calidad de los servicios ecosistémicos para la sociedad, perceptibles en el corto plazo y a nivel local. La mejora de la calidad de vida de las personas a través de la generación de fuentes de trabajo, son también una consideración importante.

No obstante, a pesar de la creciente importancia de la restauración ecológica, es sorprendente que en algunas regiones del mundo, no tenga la relevancia que corresponde, con algunos pocos ejercicios, incluso en lugares y escenarios de restauración en las que su implementación traería beneficios sociales y económicos (Linding 2011).

⋮
2

Sucesión, disturbios
y la restauración
en páramos



Sucesiones primarias y secundarias

La sucesión comienza con la llegada de especies pioneras que colonizan el sitio modificando las condiciones bióticas y abióticas que facilitan el establecimiento posterior de nuevas especies y así sucesivamente hasta llegar a un estado clímax, los cambios y la velocidad a la que éstos ocurren dependen de la naturaleza de la perturbación y de las propiedades propias del sistema (resiliencia y resistencia) que le permiten llegar al estado previo o a uno distinto del original (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007).

La sucesión es el marco conceptual y la base en el cual opera la restauración ecológica, por tanto del conocimiento de las trayectorias sucesionales que ocurren en el páramo son claves para la identificación de los enfoques y estrategias más adecuadas para llevar a cabo acciones de restauración exitosas. La sucesión ecológica corresponde a los cambios temporales que se presentan en la estructura, composición y funciones de un ecosistema tras sufrir una perturbación (Martínez-Ramos y García-Orth, 2007). La sucesión se define como el proceso de desarrollo del ecosistema en la dirección de una mayor productividad, de biomasa, complejidad y se caracteriza por

La sucesión ecológica corresponde a los cambios temporales que se presentan en la estructura, composición y funciones de un ecosistema tras sufrir una perturbación

los cambios temporales reemplazamiento físico y biótico de unas especies por otras, en la estructura, la composición taxonómica, la diversidad y las funciones de un ecosistema después de que éste es perturbado (Pickett y White, 1985; Morin, 1999; Laska, 2001).

De acuerdo a como sean los sitios previos a la perturbación se puede hablar de sucesión primaria y secundaria. La **sucesión primaria** ocurre en sustratos totalmente nuevos que no mantuvieron comunida-

des vegetales anteriormente y en los que el legado biológico es inexistente (Velásquez 2007). Este tipo de sucesión puede ocurrir en lugares que no fueron previamente ocupados por otra comunidad (islas recién formadas, playas meándricas recién depositadas, y arenales remanentes del retroceso del glaciales) o donde el sustrato original fue totalmente eliminado, (p.e. sitios de deslizamientos, áreas de inundación a orillas de ríos, sustratos de origen volcánico reciente) (Figura 7a).

Cuando la sucesión tiene lugar en sustratos con una historia previa de uso o que mantuvieron comunidades vegetales anteriores a la perturbación, de forma que la vegetación remanente o el “legado biológico” tras la perturbación es determinante, se denomina **sucesión secundaria**. Como ejemplos de sucesión secundaria se los observamos en la regeneración que ocurre en cultivos

y/o pastizales abandonados, y o con la colonización de las áreas después de un incendio (Velázquez, 2007) (Figura 7b).

Disturbios

De forma general, un disturbio es un evento discreto en el tiempo y el espacio que altera la estructura de las poblaciones, comunidades y ecosistemas, causa cambios en la disponibilidad del recurso o del ambiente físico, genera cambio significativo en un patrón normal de un sistema ecológico (Forman & Godron 1986); es causado por factores externos en el nivel jerárquico del sistema de interés (Pickett *et al.* 1989).

También se puede definir como el conjunto de mecanismos que limitan el incremento de biomasa vegetal, destruyéndola total o parcialmente (MAC 2003, Vargas y Velasco 2011). Los disturbios son determinantes en la dinámica ecológica ya que uno de los factores que desencadenan el proceso de sucesión. Los disturbios pueden ser de tipo natural o antrópico. Los primeros son provocados por la naturaleza (terremotos, huracanes, inundaciones, heladas, etc.) y los segundos provocados por el ser humano (quemadas, sobrepastoreo, minería, etc.)

Un disturbio es directo si su acción afecta la supervivencia o permanencia de los individuos, comunidades o poblaciones de un ecosistema determinado, o indirecto si su acción altera los niveles de recurso de una u otra manera. Los individuos hasta las poblaciones pueden adaptarse a este tipo de disturbio, pero si este es impredecible tendrá un gran impacto sobre ellas (desplazamiento o muerte de individuos o poblaciones) (Vargas 2007).

Los disturbios naturales y antrópicos, afectan los patrones de la vegetación y los procesos a escala de paisaje. Es por ello que la vegetación de páramos se presenta como un mosaico de estados sucesionales con diferentes regímenes de disturbio, los cuales dependen del contexto, principalmente, social, económico y político en el que se desarrollen (Vargas *et al.* 2010, Insuasty *et al.* 2011, Llambí *et al.* 2012).



Figura 7 a. Sucesión primaria en la colonización por gramíneas en zonas de arenales generadas por el retroceso del glaciar. b. Sucesión secundaria en la regeneración de la vegetación después de un fuego.

Dimensión de un disturbio

Los efectos de un disturbio sobre un ecosistema dependen de tres dimensiones: la espacial, la magnitud y la temporal (Vargas y Velasco 2011).

La dimensión o escala espacial se refiere a la extensión del disturbio, expresada en unidades de área o volumen (Figura 8). La magnitud por su parte se refiere a la fuerza, la intensidad o severidad con la que un disturbio ha afectado a un ecosistema. La dimensión temporal se refiere a la ocurrencia del disturbio, es decir, la frecuencia y predictibilidad de la perturbación. Según la frecuencia o nivel de ocurrencia, los disturbios pueden clasificarse como: (a) raros (si ocurren en un tiempo menor al lapso de vida de las especies más longevas); (b) recurrentes (provocados por fuegos, inundaciones, eventos climáticos extremos, etc.); y (c) continuos (los cuales suelen tener un im-

Tabla 2. Definiciones de los conceptos usados para caracterizar disturbios ambientales

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Disposición	Disposición espacial, incluyendo relaciones con gradientes geográficos, topográficos, ambientales y comunitarios.
Frecuencia	Probabilidad de ocurrencia de disturbio, cuando es expresada como una fracción decimal de eventos anuales.
Intervalo de retorno	Tiempo promedio entre dos disturbios.
Período de rotación	Tiempo promedio necesario para perturbar un área equivalente al área de estudio (el área de estudio debe estar explícitamente definida).
Predictibilidad	Varianza del intervalo de retorno, que permite ponderar la recurrencia del disturbio.
Área o tamaño	Puede ser expresada como área por evento, área por intervalo de tiempo, área por evento por intervalo de tiempo o área total por tipo de disturbio por intervalo de tiempo. Normalmente se expresa como porcentaje del área total.
Intensidad	Fuerza física del evento por área por unidad de tiempo. Ejemplo: calor liberado por área por intervalo de tiempo en un incendio, o velocidad del viento en huracanes.
Severidad	Impacto en el organismo, la comunidad o el ecosistema. Ejemplo: biomasa removida.
Sinergia	Efectos por la ocurrencia de otros disturbios. Ejemplo: la sequía incrementa la intensidad del fuego y el daño por insectos incrementa la susceptibilidad a tormentas.

(Pickett y White 1985)

pacto significativo sobre ecosistemas que no han evolucionado con esta perturbación como parte de su dinámica, así por ejemplo el pastoreo intensivo) (Tabla 2).

Jerarquías del disturbio

Los diferentes regímenes o historia de disturbios (antrópicos y/o naturales) condicionan sucesiones diferenciales en cuanto a composición y estructura de las comunidades, al igual que determinan la disponibilidad de recursos como: luz, suelo, nutrientes, entre otros (Bazzaz y Pickett 1980). Las comunidades vegetales se encuentran espacialmente distribuidas en los paisajes y existen diferentes maneras de determinarlas, con variables únicas como la altura del dosel o de manera multivariada a partir de las especies presentes (Gurevitch 2006).

En cuanto a las poblaciones, los disturbios liberan recursos que pueden aprovechar otros organismos; de este modo, el disturbio es importante en dos aspectos del ciclo de vida de una población (Sousa 1984) dado que: *i*) son una fuente de heterogeneidad espacio-temporal de la disponibilidad de recursos y *ii*) es un agente de selección natural en las historias de vida.

Los disturbios a nivel poblacional o de especie tienen efectos directos como la mortalidad de individuos que a su vez, ocasionan cambios en abundancias y en la estructura poblacional (Pickett *et al.* 1989). Sin embargo, la manera en que una especie responda frente a un disturbio o régimen de disturbios, dependerá en gran medida de las características propias de cada especie.

El enfoque moderno para entender desde el ensamblaje de las comunidades hasta la sucesión y dar pautas para la restauración, es el estudio de los rasgos de historia de vida de las especies (RHV). Este término se refiere a las características propias de cada especie que son producto de su proceso evolutivo y que la hacen apta para desarrollarse bien bajo ciertas condiciones y modificar su medio de forma específica (Pickett *et al.* 1987, Luken 1990, Glenn-Lewin y Van der Maarel 1992).

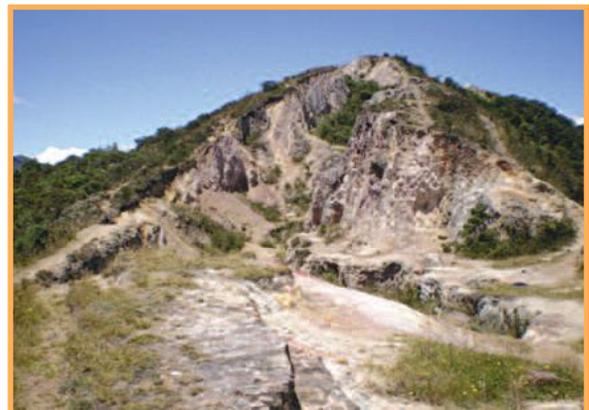


Figura 8. Diferentes escalas del disturbio. a. Remoción de suelo generados por las hormigas del género *Camponotus*. b Remoción de suelo para la extracción de arenas para la construcción de viviendas.



Figura 9. Efectos de los disturbios en las comunidades vegetales a. Humedal pastoreo b. Areas desprovistas de vegetación por efectos de sobrepastoreo c. y d. pajonales fragmentados áreas transformados en prados.

Conocer los patrones de sucesión ecológica de un ecosistema, su trayectoria, significa identificar las etapas por las cuales es más fácil conseguir que el sistema se recupere, establecer objetivos de recuperación y ahorrar en medidas innecesarias. De todas formas, se debe recalcar que pese a que el ecosistema parece seguir una trayectoria determinada por condiciones de estabilidad física por un lapso de tiempo largo (que genera una estructura general reconocible del ecosistema), esto no significa que se encuentre en un estado estático de equilibrio, sino en flujo, con etapas de cambios paulatinos y otros drásticos (Sánchez, 2005).

- Factores de tensión y limitantes de la restauración ecológica

Los factores de tensión y los limitantes son dos factores que junto con la sucesión y los disturbios influyen en el desarrollo de un ecosistema. Los factores de tensión o condicionantes se consideran como fuerzas negativas permanentes que limitan la productividad primaria (dispersión, establecimiento y desarrollo de la vegetación) (MAC 2003, Vargas 2011).

Con respecto a las barreras para la restauración, se definen como los umbrales que pueden existir entre algunos estados del ecosistema que impiden el retorno del sistema a un estado de menor degradación (Hobbs y Norton 1996; Whisenant 1999, 2002; Hobbs y Harris 2001; Bestelmeyer 2006) a menos que se realice algún tipo de manejo; es decir, el sistema presenta unos factores

Conocer los patrones de sucesión ecológica de un ecosistema, su trayectoria, posibilita identificar las etapas por las cuales es más fácil conseguir que el sistema se recupere...

dominantes que impiden o limitan el desarrollo de la sucesión natural en áreas alteradas por disturbios naturales y antrópicos (Aidé & Cavellier 1994, Holl et al. 2000).

Las limitantes o barreras que impiden la restauración ecológica son todos los factores que limitan o desvían la sucesión natural de las áreas alteradas por disturbios naturales y/o antrópicos, que son propios del sistema. Estas pueden ser de tipo ecológico, si se re-

lacionan con factores bióticos y abióticos resultantes del régimen de disturbios natural y antrópico, los cuales influyen en los mecanismos de regeneración y colonización de las especies; o de tipo socioeconómicas, si se relacionan con los factores políticos, obstáculos sociales, institucionales, de gestión y de manejo; así como los recursos económicos que están asociados al uso de un ecosistema en particular, que dificultan y/o impiden las acciones de restauración (Vargas 2011).

Las barreras a la restauración se clasifican en dos tipos: ecológicas y socioeconómicas. Las primeras se relacionan con los cambios en la interacción de los factores bióticos y abióticos como resultado de los procesos de alteración. Éstos influyen en las fases más importantes de la vida de las plantas: dispersión, establecimiento y persistencia. Las limitaciones a este proceso en sus diferentes etapas afectarán en la riqueza de especies, en la comunidad y en la estructura espacial de las poblaciones. Las barreras socioeconómicas: corresponden a los obstáculos sociales, institucionales, de gestión y de manejo; así como los recursos económicos que están asociados al uso de un ecosistema en particular, que dificultan y/o impiden las acciones de restauración (Vargas et. al 2007)



⋮

3

Elementos para elaborar un Plan de Restauración Ecológica en Páramos



Elementos para elaborar un Plan de Restauración Ecológica en Páramos

La restauración ecológica de un páramo no es una tarea sencilla pero si es necesaria. Una buena alternativa de empezar la restauración del páramo es recuperar todo lo que se pueda de su apariencia y de sus principales funciones (regulación hídrica, mantenimiento de la biodiversidad, almacenamiento de carbono). Lo primero que debe tomarse en cuenta al diseñar las estrategias de restauración es enmarcarlas dentro de un plan de restauración ecológica y diseñar objetivos y metas claras que guíen el trabajo de campo.

Aunque dado que todos los ecosistemas involucra incertidumbre frente a las trayectorias sucesionales, se puede al menos recurrirse a ciertos lineamientos, con fundamento y sentido científico, sin olvidar nunca que la restauración ecológica requiere tratamiento caso por caso (Sánchez 2005). Con base en lo anterior, a continuación se presenta un esquema que puede ser utilizado para la elaboración de un plan de restauración ecológica de páramos (Vargas 2007, Vargas y Velasco, 2011):

- Caracterización de las áreas y selección del escenario de referencia. Situación actual del área a restaurar (se incluye la línea histórica de degradación)
- Caracterización de disturbios, limitantes y factores de tensión de las áreas a restaurar
- Garantizar la participación de los actores sociales (dependiendo las características del páramo a restaurar)
- Plantear los objetivos y metas de la restauración
- Selección de los sitios potenciales a ser restaurados
- Identificación de plantas importantes para la restauración
- Diseño y aplicación de estrategias para la restauración ecológica
- Monitoreo, seguimiento y evaluación del proceso de restauración
- Difusión de resultados

Lo primero que debe tomarse en cuenta al diseñar las estrategias de restauración es enmarcarlas dentro de un plan de restauración ecológica y diseñar objetivos y metas claras...

Sólo mediante la práctica podremos establecer hasta qué punto es factible que estos lineamientos funcionen para casos particulares. Es muy importante la sistematización de las experiencias y la publicación de sus resultados, proveerán mejores materiales para realizar análisis críticos que permitan evaluar la efectividad de las acciones propuestas.

A continuación explicaremos con detalle los pasos sugeridos.

dos para implementar un proceso de restauración. El diseño y aplicación de estrategias de restauración así como el monitoreo, por ser aspectos tan importantes y relevantes dentro del proceso, se tratarán como capítulos aparte.

Caracterizar las áreas a restaurar

La caracterización de las zonas a ser restauradas así como el diagnóstico biofísico y social de

las áreas que desean ser restauradas incluye los escenarios de referencia y el uso de información cartográfica. El escenario de referencia también se puede evaluar desde el punto de vista de la biodiversidad, considerando componentes como la flora, fauna y suelos. También se puede optar por la realización de una evaluación ecológica rápida donde se aplica los dos métodos: (i) revisión de información secundaria; y, (ii) caracterización en campo. A continuación se describe cada uno de ellos.

• Revisión de información secundaria

Dentro de este método, se revisará la información secundaria disponible sobre la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema que se va a seleccionar como referencia. Para ello puede tener presente las siete recomendaciones sugeridas por SER (2004) y Vargas et al. (2010):

- Descripciones ecológicas y listas de especies de estudios adelantados en la zona
- Análisis de series de mapas, fotografías y/o imágenes satelitales del área de estudio para determinar la transformación del ecosistema.
- Relictos de coberturas vegetales del sitio que se ha de restaurar que indiquen la biota y las condiciones físicas anteriores.
- Descripciones ecológicas y listas de especies de ecosistemas similares e intactos.
- Versiones históricas, escritas y/u orales de los actores locales sobre los componentes de los ecosistemas, que relaten la historia de uso del suelo.
- Evidencias paleo ecológicas y paleo hidrológicas.

• Caracterización ecológica rápida

Luego de revisar la información secundaria, se procede a realizar la caracterización. Generalmente, la caracterización de los escenarios de referencia se concentra en el componente flora, ya que se trata de un compartimento ecosistémico fácil de evaluar. Al igual que en la degradación, una de

El escenario de referencia también se puede evaluar desde el punto de vista de la biodiversidad, considerando componentes como la flora, fauna y suelos.

Hay muchos datos que se puede coleccionar en la caracterización en campo con parámetros ecológicos como: diversidad relativa, densidad, densidad relativa, frecuencia, cobertura, entre otros.

las formas para obtener datos confiables, a bajo costo y de forma rápida, se puede aplicar una evaluación ecológica rápida. Para ello se puede realizar un muestreo utilizando las diferentes formas de unidades muestrales (parcelas, transectos, conglomerados, etc.) y con sus respectivas dimensiones (Figura 10).

Con la evaluación ecológica rápida se busca representatividad en el muestreo, es por ello que se

pueden comparar los datos coleccionados con las unidades muestrales, puede ser analizada en función de una curva de la curva de acumulación de especies, que es un método sencillo que relaciona el número de especies con la superficie que se ha muestreado, y que a través de una tendencia indica con qué número de unidades muestrales se ha obtenido datos confiables y representativos.

Por ello, pueden medirse los disturbios desde el punto de vista de la biodiversidad, y dentro de sus componentes se puede considerar a la flora. Lo ideal para evaluar este componente es a través de levantamientos florísticos complejos a cargo de un grupo de expertos en el tema, que cuenten con tiempo y el dinero suficiente para la obtención de datos y análisis de información. Pero, si no



Figura 10. Trazado de transecto de vegetación para la realización de la caracterización rápida.

se cuentan con el tiempo y dinero suficiente, se puede aplicar un levantamiento florístico simple o llamado también evaluación ecológica rápida. Según Guamán (2010), esta metodología fue desarrollada por The Nature Conservancy (TNC), para poder adquirir, analizar y manejar información ecológica de una manera eficiente y eficaz en poco tiempo y a bajo costo. La EER comprende dos métodos: (1) revisión de información secundaria; y (2) caracterización en campo. Estos se pueden aplicar individualmente o combinados.

Hay muchos datos que se puede coleccionar en la caracterización en campo, sin embargo, se sugiere los siguientes: porcentaje de cobertura, número de individuos y especies. Estos datos se pueden sistematizar en hojas electrónicas, a través de las cuales se puede determinar abundancia y riqueza, y para ser analizados a través de parámetros ecológicos como: diversidad relativa por familia, densidad, densidad relativa, frecuencia, cobertura y diversidad alfa. También se puede analizar el nivel de endemismo del escenario de referencia.

Caracterizar el disturbio, factores de tensión y limitantes

Cuando es necesario restaurar un páramo degradado, es importante conocer el régimen de disturbios, sobre todo porque suponen un proceso de cambios que es perjudicial para las propiedades del páramo, ya que reduce su valor y la producción de los bienes y servicios ecosistémicos (Simula y Mansur 2011).

Los disturbios pueden ser medidos desde el punto de vista de la productividad, biodiversidad, edafología, hidrología, entre otros. Pero el primer paso es definir la escala y la jerarquía del disturbio, ya que muchos indicadores de la capacidad de un páramo de proporcionar bienes y servicios varían con el tiempo y no conllevan a la degradación (Simula y Mansur 2011, Vargas 2011).

Tabla 3. Parámetros para la caracterización de un disturbio

Parámetro	Clasificación	Valor
Por su factor de origen	Natural	-
	Antrópico	-
	Natural y Antrópica	-
Por la dimensión espacial	Grandes	Mayor a 10 ha
	Medianos	Entre 1 y 10 ha
	Pequeños	Menor a 1 ha
Por su magnitud	Graves	Por ejemplo la minería a cielo abierto
	Medianos	Por ejemplo un incendio forestal
	Leves	Por ejemplo la cacería
Por la dimensión temporal	Abruptos	Por ejemplo un incendio forestal
	Graduales	Por ejemplo la erosión lamina

Modificado de: MAC (2003), Vargas (2011)

Tabla 3. Parámetros para la caracterización de un disturbio

Parámetro	Clasificación	Valor
Por su factor de origen	Natural	-
	Antrópico	-
	Natural y Antrópica	-
Por la dimensión espacial	Grandes	Mayor a 10 ha
	Medianos	Entre 1 y 10 ha
	Pequeños	Menor a 1 ha
Por su magnitud	Graves	Por ejemplo la minería a cielo abierto
	Medianos	Por ejemplo un incendio forestal
	Leves	Por ejemplo la cacería
Por la dimensión temporal	Abruptos	Por ejemplo un incendio forestal
	Graduales	Por ejemplo la erosión lamina

Modificado de: MAC (2003), Vargas (2011)

La caracterización de un disturbio, se puede realizar, por su factor de origen, por la dimensión espacial, su magnitud y la dimensión temporal (Tabla 3).

Una vez que se identifica el o los tipos de disturbio, se puede realizar una evaluación del estado actual del páramo, parte importante para tener evidencias del nivel de degradación y para poder precisar los objetivos que guiarán la restauración ecológica (Vargas 2011).

En la caracterización en campo, mediante observaciones directas se puede registrar los rastros que dejan los disturbios. Podemos observar sus efectos por: huellas en el suelo (pisoteo y erosión), disminución de las plantas propias del páramo, mortalidad y desaparición de animales, secamiento

de fuentes de agua, deslizamientos y erosión del suelo, invasión de especies no deseadas, entre otras (Vargas y Velasco 2011).

Identificado los tipos de disturbios se realiza una evaluación del estado actual del páramo, importante para tener evidencias del nivel de degradación y para precisar los objetivos que guiarán la restauración ecológica.

Uno de los elementos importantes que se pueden extraer de esta caracterización, es identificar las barreras ecológicas y sociales que impiden la restauración (Tabla 4), así como determinar los factores que generan tensión y los limitantes del mismo.

Tabla 4. Barreras ecológicas y socioeconómicas de la restauración ecológica

Tipo	Limitantes	Descripción	Ejemplo
Ecológico	Para la dispersión de las plantas	Son causados generalmente por la fragmentación y pérdida de hábitats y la extensión de matrices de áreas diferentes al ecosistema natural. Estos tensionantes hacen referencia al destino de los propágulos o semillas.	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de: polinizadores, propágulos, animales dispersores, plantas niñeras. • Corta longevidad de las semillas y germinación impedida. • Predación de semillas.
	Para el establecimiento de las plantas	Se relacionan con la germinación de las semillas y el crecimiento y sobrevivencia de las plántulas, los cuales pueden ser bióticos o abióticos.	<p>a. Factores bióticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de micrositios. • Restricciones climáticas (sequía, heladas, inundaciones). • Suelo inadecuado (erosión, compactación, contaminación, ausencia o exceso de nutrientes, pérdida de materia orgánicas). <p>b. Factores bióticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de micorrizas. • Herbivoría. • Competencia. • Hojarasca gruesa.
	Para la persistencia o desarrollo de las plantas	Hacen referencia a que una especie una vez establecida pueda crecer y cumplir su ciclo de vida de una forma normal.	<p>a. Factores abióticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incendios naturales. • Restricciones climáticas (sequía, heladas). <p>b. Factores bióticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Herbivoría • Competencia • Plagas <p>c. Factores socioeconómicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quemadas antrópicas • Pastoreo y agricultura
Social	Ausencia de la articulación social en la restauración ecológica	Factores políticos, económicos y sociales que limitan los procesos de regeneración natural. La falta de articulación social se constituye en una barrera cuando las personas que intervienen en el páramo a restaurar, no apoyan las acciones de ese proceso.	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de apoyo político y económico de organismos gubernamentales y no gubernamentales. • Falta de organización política. • Desinterés. • Falta de empoderamiento.

Fuente: Cano y Zamudio (2007), Vargas (2011)

Definir el escenario de referencia

El escenario de referencia puede ser definido como uno o varios ecosistemas, naturales o seminaturales (o descripción de los mismos), tipos de coberturas vegetales, que sirven como una guía o una imagen viva y dinámica para la restauración de ecosistemas degradados. Generalmente, el escenario de referencia es considerado como el mejor representante de un tipo particular de ecosistema, que por las condiciones naturales en las que se ha desarrollado está íntegro y funcional. La restauración se basa en estas condiciones del escenario de referencia para evaluar y seleccionar las estrategias que aseguren la restauración (Vargas 2007, Miller et al. 2012, Van Andel y Aronson 2012).

Todos los páramos que fueron degradados, ya sea por disturbios naturales y/o antrópicos, presentan un escenario de restauración caracterizado por sucesiones detenidas.

Conocer las condiciones de referencia hacia dónde se debe encaminar la restauración de un páramo, es importante para definir que se va a comparar en términos de composición, estructura y función, y posteriormente los criterios que se deben tomar en cuenta para medir el éxito de las estrategias de restauración (Vargas 2007).

Cuando no existe este escenario, se puede construir uno a partir de información secundaria referente a cómo era el ecosistema degradado en el pasado (Van Andel y Aronson 2012). Otra opción son los relictos de la vegetación original del páramo que pueden indicar trayectorias sucesionales posibles que pueden servir como referencia (Vargas 2011).

Vargas (2007) considera que la selección de un escenario de referencia puede plantear muchos problemas relacionados con la capacidad técnica del grupo de restauración para definir el estado original, ya que en muchos sitios, no hay estudios previos sobre la estructura o composición de los ecosistemas que se pretende seleccionar como referencias. La influencia humana sobre los ecosistemas puede datar de varios años o siglos atrás, y es por ello que nuestra capacidad de diferenciar los procesos y estructuras naturales se limita aún más.

Todos los páramos degradados, ya sea por disturbios naturales y/o antrópicos, presentan un escenario de restauración caracterizado por sucesiones detenidas. Es aquí en donde se hace necesario plantear un modelo de restauración para responder a dicha degradación. El modelo debe abarcar todas las estrategias que sean necesarias o una combinación de ellas para superar los umbrales de degradación (bióticos y abióticos) que impiden al páramo volver a un estado menos degradado sin la aportación de estrategias de restauración ecológica (Hobbs y Harris 2001, Torres et al. 2013).

Garantizar la participación de los actores sociales

Dependiendo del páramo en particular, se puede establecer los diferentes tipos de participación de las comunidades; o en determinados casos las instituciones que tienen influencia directa sobre las acciones de restauración o las diferentes estrategias que deben ser tenidas en cuenta para garantizar desde la implementación de las acciones, la toma de decisiones, y la continuidad de manejo del área.

En primer lugar, se debe partir de la caracterización de los actores sociales, y determinar el nivel de participación de esta manera, proponer las estrategias más adecuadas para la vinculación decisiva en el proceso de restauración. No es lo mismo la participación y/o las estrategias que se incluyan cuando se trate de un territorio comunitario, o cuando sea propiedad de un acueducto pequeño, o de una empresa de agua, o si se trata de una reserva privada, o un parque natural de índole nacional. Tanto la toma de decisiones, como las acciones de restauración, deben primero contemplar y garantizar que estén vinculados los actores sociales con poder de decisión en la zona a restaurar, permitirá explorar la aceptabilidad que tendría el eventual programa de restauración, en función del entorno social-económico que prevalezca en el área; con especial atención a las aspiraciones propias de las comunidades humanas locales, en términos del futuro que desean que garanticen la apropiación del proceso, y la continuidad (Sanchez 2000), y por tanto que es parte del éxito del proceso.

Plantear los objetivos y metas de restauración

Una vez definida la caracterización biofísica y social, se debe definir cuáles son los objetivos y las metas del plan de restauración, los cuales deben ir de la mano con las características de los escenarios alterados, los recursos económicos disponibles y los tiempos estimados para la implementación de estas acciones.

Seleccionar los sitios piloto

Una pregunta clave en la restauración ecológica es ¿dónde actuar primero? Esta pregunta está relacionada principalmente con la preocupación de tipo económico, es decir donde enfocar los esfuerzos, para que éstos sean eficazmente invertidos. Generalmente, los recursos económicos son limitados, y las acciones de restauración ecológica deben centrarse en áreas donde se produzcan los mayores beneficios. La elección y la priorización de los sitios de páramo que se va a restaurar deben justifi-

Una pregunta clave en la restauración ecológica es ¿en dónde actuar primero?

carce en una priorización técnica, basado por ejemplo en los criterios de conservación global en las políticas nacionales sobre restauración ecológica. La priorización puede variar dependiendo de la escala sobre la que vaya a trabajar (MAC 2003; Geneletti *et al.* 2011).

El establecimiento de prioridades de restauración no ha recibido la atención que debería. Bajo este contexto, la identificación de áreas prioritarias para llevar a cabo la restauración depende de los objetivos de la intervención y del sitio donde se desarrollarán, los mismos que a menudo son múltiples y de diferente naturaleza, así por ejemplo: mejorar la biodiversidad, proporcionar a las comunidades locales beneficios financieros y medios de vida que estén acordes a la ecología del ecosistema, entre otras (Geneletti *et al.* 2011).

La selección de prioridades de restauración requiere de una previa identificación, exige el uso de métodos capaces de integrar distintos tipos de variables, con diferentes niveles de precisión espacial, y de atender los compromisos implicados en la decisión explícita. Alternativas como la riqueza de especies, nivel de endemismo, fenómenos ecológicos inusuales o evolutivos y la rareza del hábitat, servicios ecosistémicos y beneficios económicos, niveles de degradación, entre otros, pueden ser utilizadas como indicativos para priorizar una zona a ser restaurada (Geneletti *et al.* 2011).

Para la selección de sitios prioritarios a restaurar, también hay que considerar que hoy en día los sistemas de planificación de conservación y restauración se centran más en la localización, el diseño y el manejo de las áreas que representan la diversidad biológica y las funciones ecológicas de un sitio o región (Beltrán *et al.* 2011).

La prioridad de restaurar el ecosistema páramo es alta, ya que por lo general este ecosistema cumple con importantes funciones naturales, culturales y económicas. Además, prestan múltiples servicios ecosistémicos relacionados con su capacidad de interceptar, almacenar y regular los flujos hídricos superficiales y subterráneos, lo cual le da un valor estratégico a este ecosistema (MAC 2001, Vargas *et al.* 2010). Con base en ello, la funcionalidad hídrica de este ecosistema puede ser el principal indicador de priorización para la restauración ecológica del páramo, ya que son zonas de regulación que almacenan grandes volúmenes de agua (MAC 2003).

Cualquiera que sea el criterio bajo el cual se va priorizar las áreas de páramo que se va a restaurar, toda la información deberá ser sistematizada en un mapa de zonificación que nos permita tener una idea clara de las superficies que van a ser intervenidas. Para ello se puede utilizar software de manejo de sistemas de información geográfica como ArcGis, GVsí, ArcView, entre otros. La priorización de áreas de páramo a restaurar permitirá planificar en espacio, tiempo, dinero y recurso humano, las estrategias que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la restauración ecológica.

⋮

4

Estrategias de Restauración para el Ecosistema Páramo



Estrategias de Restauración para el Ecosistema Páramo

La restauración ecológica es una disciplina reciente que se fundamenta en la experimentación y el análisis de estrategias propuestas, por lo tanto, resulta difícil prescribir fórmulas infalibles que garanticen la consecución segura de los objetivos de restauración ya que las realidades varían de un sitio a otro. Con base en ello, una estrategia para la restauración ecológica está integrada por una serie de acciones técnicas encaminadas a cumplir con los objetivos de restauración previamente planteados (MAC 2003, Vargas y Velasco 2011).

El desarrollo de estrategias de restauración en el páramo es una necesidad que -cada día- cobra mayor importancia debido a la acelerada tasa de degradación de este ecosistema (Vargas et al. 2010). A pesar de que en nuestro país, los ejercicios de restauración de páramos son muy escasos se puede tomar las experiencias exitosas de otros países, adaptadas a la realidad por la que atraviese el páramo a restaurar.

Restauración Pasiva y Activa

De acuerdo con el estado de las áreas de restauración se pueden formular acciones de restauración activa y/o pasiva.

La **restauración pasiva** (van Andel & Aronson 2006) implica eliminar o modificar las intervenciones, filtros (Temperton et al. 2004) tensionantes o limitantes a la recuperación natural del sistema, tales como: talas, caza, quemas intencionales, ganadería. Consiste en permitir que los componentes y procesos ecológicos se recuperen por sí solos. Este tipo de restauración es una aproximación válida cuando el daño del ecosistema es bajo y la resiliencia es alta (Lamb & Gilmour 2003; Vallejo et al. 2006). En el caso que algunos componentes y procesos ecológicos no se recuperen al quitar los limitantes (o filtros) se deben tomar acciones artificiales que impulsen y generen el proceso de sucesión para lograr la recuperación del ecosistema

La restauración ecológica es una disciplina reciente que se fundamenta en la experimentación y el análisis de estrategias propuestas, por lo tanto, resulta difícil prescribir fórmulas infalibles...

En algunos casos, dadas las condiciones de degradación puede ser necesaria la alteración del ambiente físico y/o químico para recuperar un ecosistema, removiendo barreras abióticas como la hidrología, el suelo o dinámica de nutrientes (incluso el microclima) (van Andel & Aronson 2006). En estos casos se denomina **restauración activa** y se emplea en donde las trayectorias sucesionales están desviadas o se encuentran, las

sucesiones, detenidas debido a que el sistema se mantiene en un estado inadecuado (Suding et al. 2004) por el tipo y extensión del daño del ecosistema.

Después del abandono de un área, la sucesión puede ser considerada inapropiada si, por ejemplo, un área praderizada de páramo se mantiene por muchos años en este estado sin pasar a pajonal arbustivo o si el sistema se vuelve dominado por especies invasoras o indeseables, las cuales pueden dominar las coberturas por mucho tiempo e impedir la sucesión (Figura 11).

La restauración pasiva tiene mayores ventajas técnicas y económicas frente a la restauración activa y la rehabilitación mediante reforestación (Figura 12), no obstante la decisión de optar por una u otra depende de las características del sitio, del objetivo del área y del estado de degradación, la resiliencia local, inversión económica, asistencia externa, el tiempo necesario para los resultados y conservación de la diversidad genética (Tabla 5).



Figura 11. Acciones de restauración pasiva en pajonales mediante la barrera del pastoreo mediante un cercado, que impida la entrada del ganado. En este caso suprimiendo el pastoreo, se da lugar a la recuperación de la vegetación del pajonal

La restauración pasiva tiene mayores ventajas técnicas y económicas frente a la restauración activa y la rehabilitación mediante reforestación...



Figura 12. La restauración activa implica la aplicación de estrategias y técnicas para activar los procesos sucesionales. En la imagen observamos la reintroducción de arbustos de Chuquiraga *Jusieu* en un pajonal.

Tabla 5 Tabla comparativa entre la restauración pasiva y activa

Restauración Pasiva	Restauración activa
No presenta elevados costos, generalmente, se espera que las especies colonizadoras estén adaptadas a las condiciones locales del sitio, los estados sucesionales dan refugio a la fauna y la vegetación establecida presenta una diversidad más alta que los sitios restaurados activamente (Prach & Pyšek 2001; Hodačová & Prach 2003).	Las restauración activa presenta costos notables asociados con la adquisición de plantas, transporte al área (muchas veces a lugares de difícil acceso), remplazo de plantas muertas y horas de trabajo.
La asistencia externa es mínima ya que se prioriza el proceso natural de sucesión, recurriendo en algunos casos sólo a una pequeña acción inicial para que se inicie el proceso.	La necesidad de asistencia externa es muy alta y prolongada en el tiempo, exigiendo asistencia en la plantación, exclusiones, riego y a veces sombreado y fertilización. La alta dependencia del sistema de la asistencia humana arriesga el principal objetivo de la restauración

Modificado de: MAC (2003), Vargas (2011)

Selección de las estrategias de restauración activa en páramos

Para establecer cuáles son las estrategias más adecuadas para la restauración, es importante tener en cuenta las características del escenario de alteración, las diferentes barreras y proponer una estrategia adecuada para superar cada barrera (Figura 13). Las estrategias de restauración activa tienen como fines específicos superar las barreras ecológicas de la regeneración por la disminución en las fuentes de semillas y activar los mecanismos de dispersión aumentando la llegada de propágulos, mediante la reintroducción de hierbas y arbustos.

Existen estrategias de restauración que se basan en el manejo de la vegetación, algunas de estas son objeto de experimentación en parcelas piloto en la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu y otras ya fueron evaluadas en otros páramos y con las cuales logrado obtener resultados satisfactorios. Algunas de las principales estrategias para la restauración de páramos son (Vargas y Velasco 2010):

- Reintroducir hierbas, arbustos o árboles en diferentes combinaciones de plantas (mediante propagación vegetativa o siembra de semillas o plántulas directamente en el suelo), dependiendo de las condiciones ecológicas del páramo a restaurar.
- Construir perchas con materiales propios del páramo (ramas secas, paja, etc.) para aves y refugios artificiales para mamíferos.

- Construir barreras o miniterrazas para la disminución de suelo y control de la erosión.
- Instalar biomantos para la retención del suelo y procesos erosivos,
- Descompactar el suelo y adicionar enmiendas orgánicas, previo conocimiento de sus características y necesidades mediante un análisis de las condiciones del suelo.



En este documento, se explicará de manera más extensa dos de ellas, la reintroducción de especies leñosas y herbáceas y la instalación de biomantos.

- Estrategias de manejo de la vegetación para superar las barreras bióticas

Tiene como objetivo aumentar la cobertura vegetal mediante la reintroducción de especies importantes para la restauración, a su vez la vegetación introducida, contribuirá -mediante la creación de barreras naturales o artificiales- a la disminución de la escorrentía del suelo y creará micrositos para la germinación y el establecimiento de otros individuos.

Reintroducción de plántulas de especies leñosas y herbáceas

La función básica de esta técnica es la introducción de especies pioneras que se desarrollarán y se proliferarán en núcleos, atrayendo la fauna consumidora ya sea de herbívoros, polinizadores como de dispersores de semillas. La técnica de transposición puede ser utilizada con el fin de introducir en las zonas alteradas especies pioneras para que formen un banco de semillas permanente.

La reubicación o trasplante de individuos para el enriquecimiento de áreas degradadas con miras a la restauración ecológica, es una estrategia que es ampliamente probada en diversos ecosistemas y ambientes desde hace varias décadas y, en general, puede considerarse Es una estrategia eficaz para ecosistemas en donde los procesos de regeneración son lentos debido a la baja productividad primaria neta, las bajas temperaturas, las altas variaciones de temperatura día - noche, y los suelos ácidos, tal como ocurre en la alta montaña tropical (Sturm & Rangel 1985, Rangel & Sturm 1995 en Zamora et al. 2012).



Figura 14. Aspecto de la reintroducción de macollas de paja en un área praderizada de ladera. a. Se realiza la reintroducción de las pajas previa remoción superficial del suelo. b. Aspecto de las macollas tres meses después de su reintroducción, el suelo se le adicionó hojarasca de paja disminuir la pérdida de humedad.

Esta técnica tiene como finalidad superar la barrera de dispersión de semillas, la germinación y el crecimiento de las plántulas, por medio de la reintroducción de plántulas de especies presentes en el sector (Figura 14). Las plantas de interés son aquellas de fácil propagación, capaces resistir a las condiciones de fertilidad del suelo y las características ambientales, de rápido crecimiento y de elevada producción de materia orgánica. Es deseable que presenten nódulos fijadores de nitrógeno o micorrizas que compensen los bajos niveles de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes de los suelos y que sean capaces de crear islas de fertilidad para elementos de flora y fauna, facilitando la recuperación de los microhábitats (Velasco & Cardona 2007).

Consideraciones edafológicas: En algunos suelos en ladera una limitante podría ser el viento, lo que puede contribuir a aumentar la evaporación y transpiración además de ejercer presión sobre las plántulas escogidas dentro de la estrategia de relocaliza-

ción. En cuanto a humedad del suelo, en el momento de implementar tanto la técnica de bloqueo y traslado y/o cualquier otra técnica de reintroducción de vegetación, se debe evitar que el suelo esté sin vegetación alrededor de las plántulas, expuesto, por tanto la medida principal será cubrir estas partes expuestas con material vegetal seco tipo "mulch" para evitar el secamiento alrededor de la zona radicular. En las zonas de pendientes fuertes, se evitaría pérdidas de suelo por escorrentía (Borja, 2013) (Figura 14).

Métodos para la selección de los individuos y obtención del material vegetal

Para el caso de las plántulas de arbustos los individuos se extraerán de zonas de páramo sin alteraciones y que en donde las poblaciones de las especies seleccionadas presenten alta densidad poblacional ; a una distancia no menor de 1km del área de estudio o la zona de implementación (Zamora et al.2012). La extracción se realizará con mucha precaución de tal forma que se genere el menor impacto a las raíces, tomando la para el caso de los individuos leñosos, se seleccionarán individuos de entre 20 y 15 cm de altura (Vargas y Velasco 2010). Para el caso de los pajonales, los individuos serán retirados con una porción de suelo de 400 cm² alrededor de la planta y de 20 cm de profundidad (Zamora et al.2012).

Traslados de tapetes de plantas

La técnica de introducción de tapetes de vegetación busca revegetalizar mediante una cobertura de plantas resistentes la disminución de la escorrentía superficial y erosión, al igual que minimizar el efecto de los vientos mediante la reintroducción de especies herbáceas de rápida germinación y crecimiento adaptadas a la zona en donde se va a intervenir.

La función básica de esta técnica es la introducción de especies pioneras que se desarrollarán y se proliferarán en núcleos, atrayendo la fauna consumidora ya sea de herbívoros, polinizadores como de dispersores de semillas.

Adicionalmente con esta técnica, se introduce microfauna del suelo, así como semillas, propágulos, vástagos, microorganismos, hongos, bacterias, lombrices, algas, a través de la adición de porciones superficiales de suelo proveniente de las áreas conservadas (Vieira 2004, Basso en prensa 2006).

Métodos de selección de los individuos y obtención del material

En sectores que presenten una buena cobertura de las especies seleccionadas se puede extraer un área de 0,04m² de tapete de suelo (0,20 x 0,20 m), tomando totalmente la vegetación rasante hasta el nivel de las raíces (aproximadamente 15 - 20 cm), trasladando también el suelo.



Figura 15. Aspecto del montaje de la parcela piloto para la evaluación de la estrategia de traslado de tapetes de plantas. a. Trazado de la parcela. b. Reintroducción del tapete dentro de la zona desprovista de vegetación. c. Crecimiento de la vegetación introducida mediante la técnica de tapete tres meses después de ser plantada

Dado que no se conoce mucho sobre los requerimientos de especies nativas de suelos de páramo se dificulta realizar recomendaciones sobre enmiendas de fertilizantes. La mejor opción es considerar el mismo suelo de páramo como “sustrato” y agregarlo junto con las especies escogidas y que deben ser resistentes a condiciones difíciles y no muy exigentes en cuanto a nutrientes (Figura 15). Algunas especies de plantas de la familia fabáceas son recomendables para estas condiciones. El pH en las áreas desprovistas de vegetación a menudo es superior a los valores de otras coberturas y zonas consideradas, lo que puede ser un condicionante para que la parte química del suelo alcance un estado nutricional ideal, sin embargo la prioridad sería estabilizar la situación y permitir que las especies vegetales y edafo-fauna cumplan su función como parte de los factores formadores del suelo.

- Estrategias de manejo de la vegetación para superar las barreras abióticas

Biomantos

Uno de los limitantes para la germinación y el establecimiento de las especies en sitios donde se ha perdido la cobertura vegetal, son los procesos erosivos, a causa del viento o generados por la escorrentía de la lluvia. Mediante la aplicación de una capa o biomanto, construido a partir de un biotextil (yute, fique o cualquier otra fibra natural) podemos generar una barrera física que sirve para el control de erosión sobre los taludes o zonas desprovistas de vegetación. Por medio de la instalación de este manto, se frena el impacto de las gotas de lluvia, uno de los principales agentes erosivos, del agua, nieve o granizo, evitando que salpique y que se pierda suelo por efectos del viento. , permitiendo que el suelo quede húmedo un mayor tiempo, y se produzca la resequedad y marchitez de las plantas.

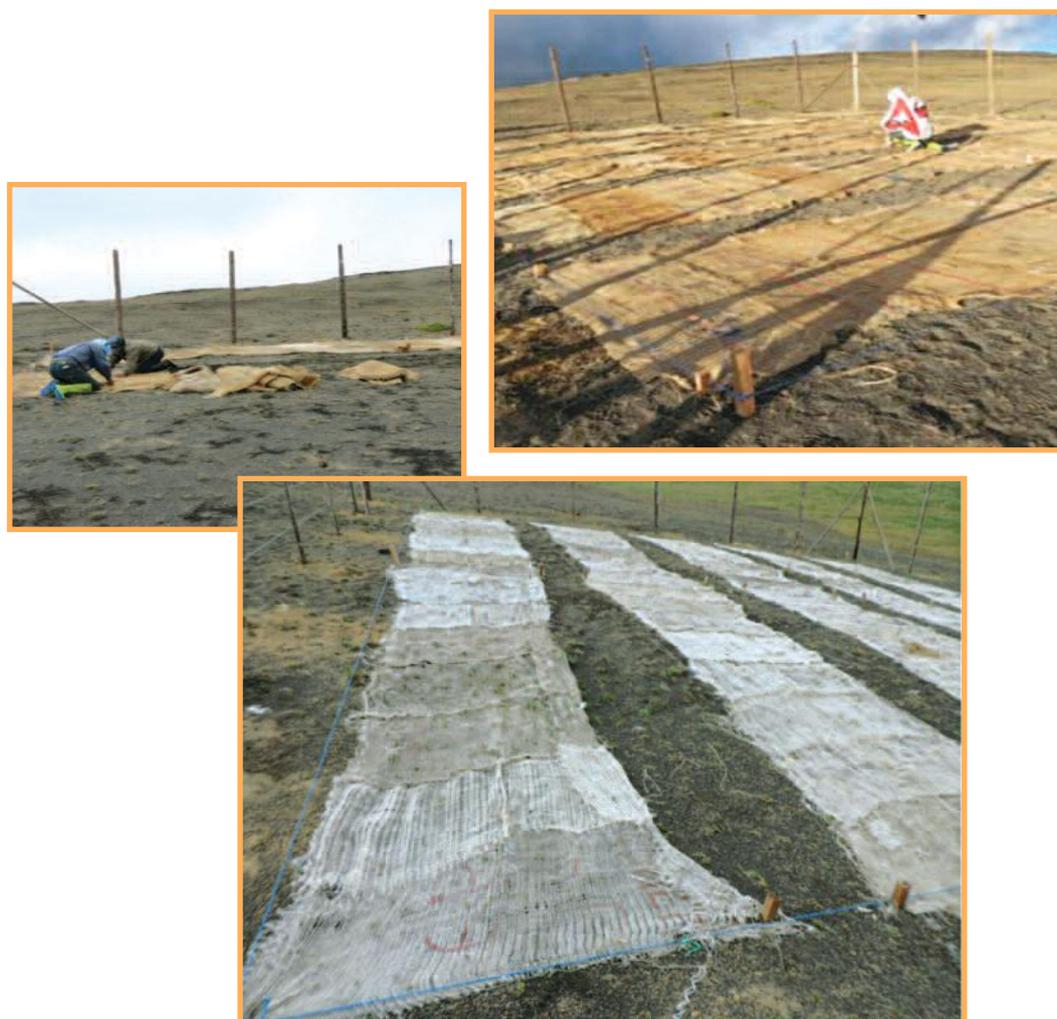


Figura 16. a y b. Instalación de biomantos a manera de un tapete o franja de yute. c Aspecto del crecimiento de la vegetación dentro de las franjas de yute, tres meses después de haber instalado el biomanto.

Consideraciones edafológicas

Las zonas desprovistas de vegetación son las que presentan un elevado grado de alteración y degradación tanto física como química del suelo lo que plantea un gran reto al momento de escoger estrategias adecuadas para su manejo. Los bajos contenidos de arcilla y predominio del grado textural franco arenoso evidencian problemas a nivel de humedad del suelo a lo que se suma una porosidad baja, compactación (densidades aparentes muy altas para el promedio de estos suelos) y bajo contenido de materia orgánica. Es necesario aumentar la infiltración, incrementar la rugosidad del suelo para disminuir la velocidad de escorrentía superficial y proteger la superficie. . Con esto se lograría que aumente la humedad en el suelo y disminuye la erosión y el secamiento por exposición a los rayos directos del sol.



5

Recomendaciones para el monitoreo y evaluación de zonas de páramo restauradas



Recomendaciones para el monitoreo y evaluación de zonas de páramo restauradas

Dentro del proceso de restauración ecológica, el monitoreo y evaluación consisten en el seguimiento continuo de los cambios que experimenta el ecosistema degradado, con las estrategias de restauración aplicadas. El monitoreo y las evaluaciones constantes tienen como meta asegurar el éxito de la restauración ecológica, ya que nos permite obtener la información necesaria para ajustar las estrategias, de modo que puedan ser ajustadas en cualquier momento en el cual los resultados obtenidos sean negativos o indeseables. Con un buen programa de monitoreo y evaluación se garantiza la posibilidad de adaptar las estrategias a los cambios observados en el ecosistema, de tal manera que se tomen las medidas necesarias para alcanzar los objetivos previamente establecidos.

Importancia y planteamiento de un programa de monitoreo y evaluación para la restauración ecológica de páramo

Durante la planificación de un proyecto de restauración se debe prever mecanismos logísticos y técnicos concernientes al registro de datos, que en un horizonte temporal, demuestren el éxito de las estrategias y por ende el cumplimiento de los objetivos de la restauración ecológica de páramo (MAC 2003, Vargas y Velasco 2011, Van Andel y Aronson 2013).

La SER (2004) plantea nueve atributos que hay que tomar en cuenta para evaluar cuándo se logró la restauración de un ecosistema. Estos atributos son:

- El ecosistema restaurado contiene un conjunto característico de especies que habitan en el ecosistema de referencia.
- Consta de especies autóctonas hasta el grado máximo factible.
- Todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo y/o la estabilidad continua del ecosistema restaurado se encuentra representados.
- El ambiente físico tiene la capacidad de mantener poblaciones reproductivas de especies necesarias para su continua estabilidad o desarrollo.
- No presenta señales de disfunción.
- Se ha integrado adecuadamente con el paisaje con el cual interactúa.

Con un buen programa de monitoreo y evaluación se garantiza la posibilidad de adaptar las estrategias a los cambios observados en el ecosistema, de tal manera que se tomen las medidas necesarias para alcanzar los objetivos previamente establecidos.

- Se ha eliminó o redujó tanto como sea posible, las amenazas potenciales del paisaje.
- El ecosistema restaurado tiene de la capacidad de recuperarse como para resistir los eventos estresantes periódicos.
- El ecosistema restaurado es auto-sostenible al mismo grado que la referencia y tiene el potencial para persistir bajo las condiciones ambientales existentes.

El ecosistema restaurado contiene un conjunto característico de especies que habitan en el ecosistema de referencia.

No es necesaria la expresión de todos estos atributos para demostrar la restauración. Pero, si se necesita que los atributos demuestren una trayectoria apropiada de desarrollo ecosistémico hacia la meta o la referencia deseada. Algunos de los atributos son de fácil medición, pero otros, se tendrán que evaluar indirectamente (SER 2004).

Tipos de seguimiento y evaluación en la restauración ecológica

Uno de los aspectos importantes que hay que tomar en cuenta al momento de diseñar un programa de evaluación y seguimiento de la restauración ecológica del ecosistema páramo, es que existen dos tipos (1) implementación o de corto plazo; y, (2) efectividad o de largo plazo (Díaz 2007).

El primero evalúa si las estrategias se implementaron tal y como fueron diseñadas, cuantificando los cambios que ocurren en el páramo inmediatamente luego de la aplicación de las estrategias. También determina si las estrategias cumplen con los objetivos planteados, de tal forma que se puede realizar ajustes cuando los cambios en el ecosistema tomen otras direcciones. El segundo tipo de monitoreo se evalúa los principales patrones y proceso ecológicos del páramo restaurado. Esta información permite redefinir los objetivos de restauración ecológica y ajustar la estrategia de manejo (Díaz 2007).

• Lineamientos a considerar en el seguimiento y evaluación

Durante la planificación de la restauración de un páramo, es imprescindible aclarar algunos aspectos que serán la estructura del programa de monitoreo. Esto evitará esfuerzos infructuosos y el aumento de costos (MAC 2003, Díaz 2007, Van Andel y Aronson 2013).

En el diseño de un programa de monitoreo hay que tener presente al menos los siguientes aspectos (Díaz 2007, Vargas et al. 2010):

- Definir los objetivos.
- Establecer las escalas espaciales y temporales (monitoreo a corto y largo plazo) en las cuales se desarrollarán las estrategias de restauración y su monitoreo.
- Seleccionar los parámetros e indicadores ecológicos (medibles, pertinentes, eficiente, confiables y susceptible a cambios del sistema) que permitirán la evaluación del desempeño de las estrategias de restauración.
- Escoger la metodología adecuada para el monitoreo de los indicadores ecológicos.

Además, el plan de monitoreo y evaluación debe tener las siguientes características (Díaz 2007, Vargas 2010):

- Las estrategias de restauración deben estar disponibles para ser adaptadas en futuras restauraciones de otras áreas de páramo.
- Los datos obtenidos deben ser acumulativos y estar disponibles en futuras restauraciones.
- La eficiencia de los datos debe ser maximizada y los costos minimizados para garantizar un menor esfuerzo.
- Los atributos que se seleccionen deben ser monitoreadas, es decir, deben tener datos que se puedan medir varias veces en el tiempo.
- El monitoreo debe ser intensivos y debe desarrollarse antes y luego de la aplicación de las estrategias.
- La metodología o protocolos de monitoreo y evaluación deben ser claros, para asegurar la continuidad en el tiempo.

A más de estos aspectos hay que tener claro cómo se analizará, interpretará, presentará y validará los datos y la información que resulte del monitoreo. Por otro lado, el aspecto logístico también es importante, en el se debe definir cuándo y quién realizará el monitoreo, el modo de almacenamiento y consulta de la información recabada, el tipo de información requerido por personas, actividades y decisiones involucradas en el proyecto, canales de transmisión de la información y a quién se le presentan los resultados, cuándo y cómo se producen (MAC 2003).

Algunos indicadores ecológicos que se puede monitorear y evaluar en la restauración ecológica de páramos son (Vargas et al. 2010):

- Suelo: recuperación de la estructura física y nivel de compactación; niveles y composición de nutrientes, presencia de micorrizas, banco de propágulos existentes, niveles de infiltración de agua, cantidad de materia orgánica.
- Flora: supervivencia y crecimiento de plantas trasplantadas, sembradas o resemebradas; presencia de semillas y plántulas de especies colonizadoras como especies del género *Hypericum* sp.; potencial de regeneración de especies claves como *Calamagrostis intermedia*.
- Fauna: recuperación de especies locales como pequeños mamíferos (conejo de páramo *Sylvilagus brasiliensis*); artropofauna presente en el suelo; registro de la presencia de grandes como el venado de cola blanca *Mazama Rufina* o el oso de anteojos *Treemarctos ornatus*.

En los proyectos de restauración ecológica es muy importante seguir los cambios que presentan

los ecosistemas luego de desarrollar las estrategias de restauración que permite, además, verificar si realmente se consiguió o no el restablecimiento del área alterada.

La importancia del diseño e implementación de un estudio de seguimiento y evaluación para el proceso de restauración ecológica, radica en el hecho de que solamente a través del seguimiento de los cambios en la composición, estructura y función de los ecosistemas generados por las acciones de restauraciones implementadas es posible determinar si se cumplen o no los objetivos planteados. De hecho, solamente a través del monitoreo es posible validar los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos de restauración ecológica (Reay & Norton 1999, Block et al. 2001, Korb et al. 2003).

Un programa de evaluación y seguimiento de la restauración ecológica del ecosistema páramo, consta de dos tipos: implementación o de corto plazo; y, efectividad o de largo plazo.

Como punto de partida del monitoreo, en el marco de esta consultoría, se expone la línea de base realizada en las parcelas de restauración correspondientes al: análisis de las diferentes estrategias aplicadas con respecto a las coberturas vegetales y al análisis de los suelos, esto en lo que respecta a la escala de parcela. En cuanto a la escala de microcuena, la línea de base recién se la podrá obtener a partir de dos años, sin embargo, se explica la ruta a seguir en cada microcuena seleccionada dentro de las haciendas.



⋮

6

Ejemplo práctico de
restauración para la
Unidad Hidrográfica
Jatunhuaycu



Ejemplo práctico de restauración para la unidad hidrográfica jatunhuaycu

Se presenta un ejemplo práctico ilustrativo para la caracterización, priorización y selección de escenarios y estrategias de restauración en el páramo, para que sirva de modelo para otras acciones que se deseen realizar en cualquier otra área degradada.

• Características generales de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

El área fue seleccionada por ser una microcuenca importante ya que es uno de los aportantes hídricos de la laguna La Micacocha, la misma que junto con la laguna Papallacta, abastecen de agua a parte de la ciudad de Quito (ECOLAP y MAE 2007). Por otro lado, históricamente, fue un espacio sometido al pastoreo intensivo, factor principal que generó degradación, principalmente pérdida de la cobertura vegetal, erosión y compactación del suelo y alteración de su funcionalidad hídrica. Es en este punto donde radica la importancia de recuperar esta zona, porque sus aguas contribuyen a abastecer de agua a parte de la ciudad de Quito.

La Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu posee una extensión de 1476,2 hectáreas, el clima que predomina es húmedo y muy húmedo, la temperatura media oscila alrededor de los 8°C; con lluvias anuales irregulares que oscilan alrededor de los 1 600 mm, son de duración larga y de débil intensidad; la humedad relativa es casi siempre superior a 90 %. La expresión topográfica y formas de relieve, obedecen a diferentes condiciones morfo-climáticas de procesos endógenos y exógenos sobre la Cordillera Oriental de la Cordillera de los Andes. El suelo son andosoles, los cuales son suelos jóvenes con horizontes poco diferenciados y ricos en materia orgánica, lo que les da un color negro característico. Posee tres formaciones vegetales: páramo herbáceo, de almohadillas y de pajonal, distribuido en un rango altitudinal que va desde los 3900 hasta los 4600 m. (Hofstede et al. 2003, FA 2005).

Caracterización de los disturbios

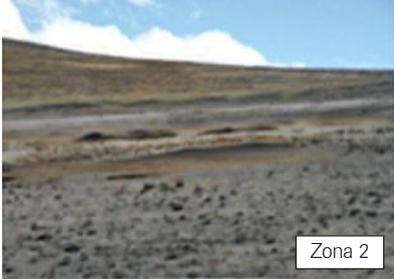
Históricamente las heladas, lluvias, vientos, pastoreo intensivo y quemadas son los principales disturbios que condicionaron el estado actual del páramo del sitio de estudio, originando una franja de suelo erosionada y compactada que lleva ese estado por más de 100 años y que afectó principalmente la zona baja y media de la microcuenca (ver detalles en Aguirre y Torres 2013a),

Los disturbios que han ocasionado la degradación del sitio de estudio, por su origen son una combinación entre naturales y antrópicos; por la dimensión espacial es grande, ya que la franja de suelo erosionada y compactada cubre alrededor de 89 ha; por la magnitud es grave, ya que se ha modificado su estructura; y, por la dimensión temporal gradual y continuo, ya que el ecosistema ha evolucionado con agentes externos al mismo, tal como el pastoreo intensivo.

A partir de la zonificación de la microcuenca y de los sitios afectados por los disturbios (ver detalles en Aguirre y Torres 2013b), se lograron identificar tres zonas con diferentes niveles de degradación: (1) **zona uno**: con pendientes mayores a 45 % y con un porcentaje de vegetación entre 0 a 10 % de vegetación; (2) **zona dos**: con pendientes entre 10 a 45 % y con un porcentaje de vegetación

entre 10 y 15 %; y, (3) **zona tres**: con pendientes entre 0 a 10 % y con 40 % de porcentaje de vegetación (Tabla 6).

Tabla 6. Descripción de la zona de degradación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Descripción	
<p>Presenta cuatro formaciones vegetales: (1) almohadilla, (2) regeneración natural en el valle, (3) franja de suelo erosionado, y (4) regeneración natural en la cumbre. En esta zona, la franja de suelo erosionado presenta pendientes mayores a 45 % y el porcentaje de suelo desnudo es de 100 %, esto como consecuencia de una mayor compactación y erosión del suelo. El suelo superficial es arenoso hasta 5 o 10 cm de profundidad y es areno-limoso de un color negro a profundidades mayores a 10 cm.</p>	
<p>Presenta seis formaciones: (1) almohadilla del valle (cubierto principalmente <i>Azorella pedunculata</i>), (2) regeneración natural en el valle (dominado por <i>Lachemilla orbiculata</i>, <i>Poa subpicata</i> y <i>Azorella pedunculata</i>), (3) franja de suelo erosionado (ya con un 10 a 15 % cubierto por vegetación, principalmente <i>Poa subpicata</i>), (4) regeneración natural de la cumbre (dominado por <i>Azorella pedunculata</i> y <i>Lachemilla orbiculata</i>), (5) almohadilla, y (6) pajonal. El suelo superficial es arenoso hasta 5 o 10 cm de profundidad y es areno-limoso de un color negro a profundidades mayores a 10 cm. A pesar de que el nivel de compactación del suelo es igual a la zona uno, la reducción de las pendientes (entre 10 a 45 %) hacen que la erosión sea menor.</p>	
<p>Presenta seis formaciones: (1) almohadilla del valle (cubierto principalmente <i>Azorella pedunculata</i>), (2) regeneración natural en el valle (dominado por <i>Lachemilla orbiculata</i> y <i>Azorella pedunculata</i>), (3) franja de suelo erosionado (ya con un 40 % cubierto por vegetación, principalmente <i>Lachemilla orbiculata</i>, <i>Poa subpicata</i> y <i>Fuirena</i> sp.), (4) regeneración natural de la cumbre (dominado por <i>Azorella pedunculata</i> y <i>Calamagrostis intermedia</i>), (5) almohadilla, y (6) pajonal. El suelo superficial es arenoso hasta 20 o 30 cm de profundidad y es areno-limoso de un color negro a profundidades mayores a 30 cm. La erosión es menor dadas las características del terreno (pendientes entre 0 y 10 %).</p>	

Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

Caracterización de las limitantes

Las principales barreras ecológicas a la restauración identificadas fueron la pérdidas de individuos y coberturas vegetales de páramo, la ausencia de plantas facilitadoras, las cuales afectan a la dispersión de propágulos mientras que las condiciones abióticas, como ausencia de micrositios, las condiciones de compactación del suelo, y las características climáticas, influyen sobre el establecimiento y la persistencia (Tabla 7).

Tabla 7. Barreras ecológicas de la restauración de la UHJ

Fase	Factores		Consecuencias o efectos
	Bióticos	Abióticos	
Dispersión	Pérdida de individuos y/o coberturas vegetales.	-	<ul style="list-style-type: none"> • Poca disponibilidad de micrositios. • Cambios en la composición y estructura de la vegetación. • Cambios en los procesos hidrológicos.
	Ausencia de plantas niñeras o plantas facilitadoras (como <i>Callamagrostis intermedia</i>).	-	
Establecimiento	-	Ausencia de micrositios para el establecimiento de las plántulas (los cuales se pueden generar a través de las especies facilitadoras).	
	-	Restricciones climáticas (heladas).	
	-	Suelo inadecuado (erosión, compactación y pérdida de materia orgánica).	
Persistencia	-	Restricciones climáticas (heladas).	

Fuente: Cano y Zamudio (2007), Vargas (2011)

Escenario de referencia de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Se identificaron tres zonas de páramo que presentan diferentes estados de conservación, razón por la cual fueron seleccionados como escenarios de referencia. Para su caracterización, se aplicó una evaluación ecológica rápida (ver detalles en Aguirre y Torres 2013a) cuya metodología se resume en los siguientes pasos:

- Revisión de información secundaria sobre tipos de páramos, características biofísicas y biodiversidad.

- Caracterización en campo a través de transectos rectangulares de 30 x 2 m. la información que se colectó se analizó en función de la curva de acumulación de especies, es por ello que de forma inicial se instaló tres transectos por zona con cinco parcelas de 2 x 2 m (4 m²) con una separación de 5 m entre parcela (Figura 6).

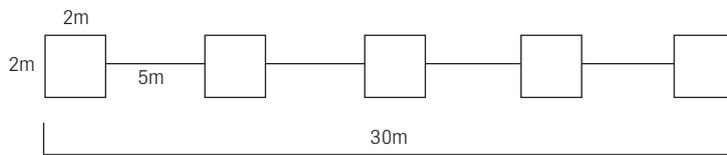


Figura 17. Diseño del transecto para la caracterización florísticas de los escenarios de referencia de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Los datos colectados fueron porcentaje de cobertura de las especies sobre el suelo, número de individuos por especie, hábito de crecimiento y altura (en el caso de arbustos). Se elaboró una base de datos que

sirvió para determinar los siguientes parámetros ecológicos: abundancia, riqueza, diversidad relativa por familia, densidad, densidad relativa, frecuencia relativa, cobertura, diversidad alfa y beta, a partir de los cuales se determinaron los siguientes escenarios de referencia para cada zona (Tabla 8).

Tabla 8. Escenarios de referencia de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Escenario de referencia	Descripción	
Zona baja	<p>Altitud: 3 900 a 4 100 m</p> <p>Pendiente: entre 0 a 10 %.</p> <p>Formaciones vegetales: páramo de almohadillas y páramo de pajonal.</p> <p>Estratos: herbáceo</p> <p>Especies dominantes: <i>Werneria nubigena</i>, <i>Azorella pedunculata</i> y <i>Poa subspicata</i></p> <p>Estado de conservación: condicionado por el pastoreo intensivo (ganado vacuno y ovino) y la quema del pajonal, lo que resultó en una franja de suelo erosionada y compactada.</p>	
Zona media	<p>Altitud: 4 101 a 4 300 m</p> <p>Pendiente: entre 10 % y 30 %.</p> <p>Formaciones vegetales: páramo de pajonal.</p> <p>Estratos: herbáceo y arbustivo.</p> <p>Especies dominantes: <i>Calamagrostis intermedia</i>.</p> <p>Estado de conservación: es mayor con respecto a la zona baja, ya que se puede evidenciar la presencia de especies arbustivas.</p>	

	También estuvo condicionada el pastoreo intensivo (ganado vacuno y ovino) y la quema del pajonal, lo que resultó en una franja de suelo erosionada y compactada.	
Zona alta	<p>Altitud: mayor a 4 301 m</p> <p>Pendiente: entre 10 % y 30 % y mayores a 30 %.</p> <p>Formaciones vegetales: páramo de pajonal.</p> <p>Estratos: herbáceo y arbustivo.</p> <p>Especies dominantes: <i>Calamagrostis intermedia</i> y <i>Chuquiraga jusseui</i>.</p> <p>Estado de conservación: es el escenario con el mejor estado de conservación, ya que no se observa efectos de disturbios.</p>	

Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

Parámetros ecológicos

En cuanto a abundancia y riqueza, la zona baja presentó 2 413 individuos, 11 familias y 17 especies; en la zona media se registró 601 individuos, 11 familias y 25 especies; y, en la zona alta 1 625 individuos, 14 familias y 28 especies. A continuación en el Cuadro 6 se detalla los resultados que se obtuvo en la determinación de los parámetros ecológicos.

Por otro lado, la curva de acumulación de especies (Figura 18), demostró que los 20 m² muestreados si permitieron abarcar una diversidad florística representativo de la zona de estudio, ya que la curva muestra una leve estabilización a partir de esta área muestral (Aguirre y Torres 2013a).

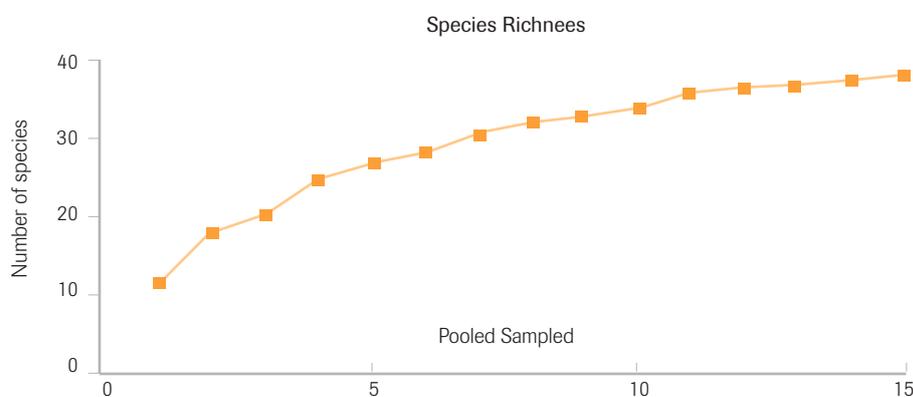


Figura 18. Curva de acumulación de especies de los escenarios de referencia de la UHJ.

Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

Tabla 9. Parámetros ecológicos de los escenarios de referencia de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Escenario	Diversidad por familia	Densidad y densidad relativa	Frecuencia (%)	% de cobertura	Diversidad alfa	Diversidad beta
Z. Baja		Werneria nubigena (35 050 ind/ha); Poa subspicata (8 900 ind/ha); Hypochaeris sp. (8 150 ind/ha).	Azorella pedunculata, Valeriana rigida, Poa subspicata, Geranium multipartitum, Werneria nubigena, Hypochaeris sp. y Lachemilla orbiculata con 100 % cada una.	Plantas vasculares (93,6 %); suelo desnudo (6,8 %).	Media (0,6)	Similitud del 48 % con la zona alta
Z. Media	Las familias con mayor número de especies son Asteraceae, Poaceae y Apiaceae	Werneria nubigena (6 700 ind/ha).	Azorella multifida con 100 % y Azorella pedunculata, Calamagrostis intermedia, Elymus cordilleranus y Werneria nubigena con 80 %.	Plantas vasculares (98,0 %); briofitos cubiertos por plantas vasculares (30 %).	Alta (0,86)	No hay similitud con ninguna zona
Z. Alta		Werneria nubigena (18 150 ind/ha).	Calamagrostis intermedia, Elymus cordilleranus, Geranium multipartitum, Helogyne sp., Hypochaeris sp., Senecio aratum, Uncinia sp. y Werneria nubigena con 100 %.	Plantas vasculares (98,0 %); líquenes cubiertos por plantas vasculares (0,1 %); briofitos cubiertos por plantas vasculares (1,1 %); briofitos no cubiertos por plantas vasculares (0,4 %); suelo desnudo (2,0 %).	Alta (0,87)	Similitud del 48 % con la zona baja

Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

En cuanto al nivel de endemismo, hay dos especies que entran dentro de esta categoría: *Geranium antisanae* y *Diplostephium ericoides*. La primera se encuentra en los tres escenarios, mientras que la segunda solamente en la zona alta y media (Aguirre y Torres 2013a).

Zonificación y priorización de sitios a restaurar en la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

El indicador que se utilizó para identificación de sitios prioritarios a restaurar en la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu fue el nivel de degradación de la microcuenca. Dentro de los métodos de análisis para determinar áreas prioritarias se empleó el análisis multicriterios que en un solo índice que permite evaluar cuales son las mejores alternativas para solucionar un problema específico (Chen et al, 2010).

Para ello se siguió la una metodología de dos fases: (a) zonificación de la microcuenca; y, (b) zonificación de degradación. A continuación se detalla cada una de ellas (ver detalles en Aguirre y Torres 2013b):

Zonificación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Para esta primera zonificación se utilizó información cartográfica digital escala 1:25000 (generada por el FONAG), procesada en el programa ArcGis 9.3. Los criterios usados para esta zonificación fueron: (1) altitud y (2) uso histórico de la tierra.

Posteriormente se visitó la microcuenca y se aplicó una evaluación ecológica rápida (EER), en las zonas identificadas, metodología que se basó en la propuesta desarrollada por Aguirre y Aguirre (1999), Eguiguren y Ojeda (2009), Guzmán y Salinas (2010) y The Nature Conservancy (Guamán 2010). El resultado de esta zonificación se puede observar en la Figura 6.

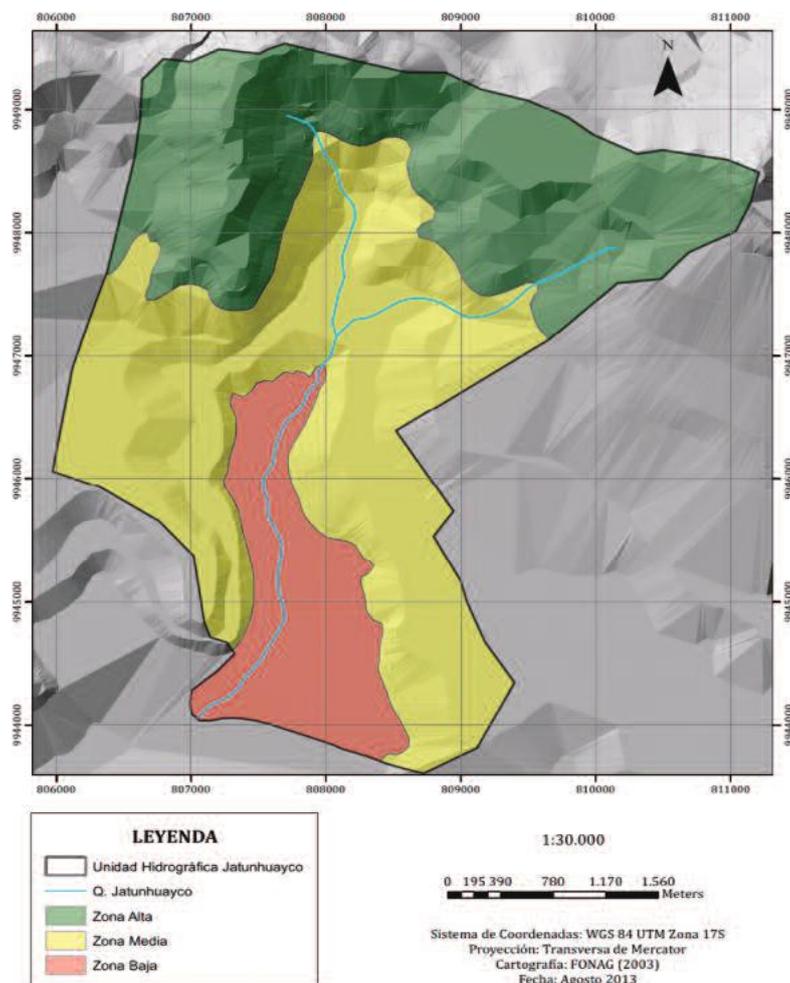


Figura 19. Zonificación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

• Zonificación de la degradación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Junto con la zonificación y la línea histórica de degradación (Aguirre y Torres 2013a) se logró determinar que la zona baja y media del sitio de estudio son los sitios más degradados afectados por el pastoreo intensivo desde hace dos siglos. Se utilizó los insumos generados en la primera zonificación y se complementó con la aplicación de dos criterios indicadores de degradación (1) pendiente (0-20 %; 20-44 %; > 45%); y, (2) cobertura de vegetación (0-100 %) (Aguirre y Torres 2013a), identificando tres zonas degradadas potenciales a ser restauradas, las cuales se presentan en la Figura 7.

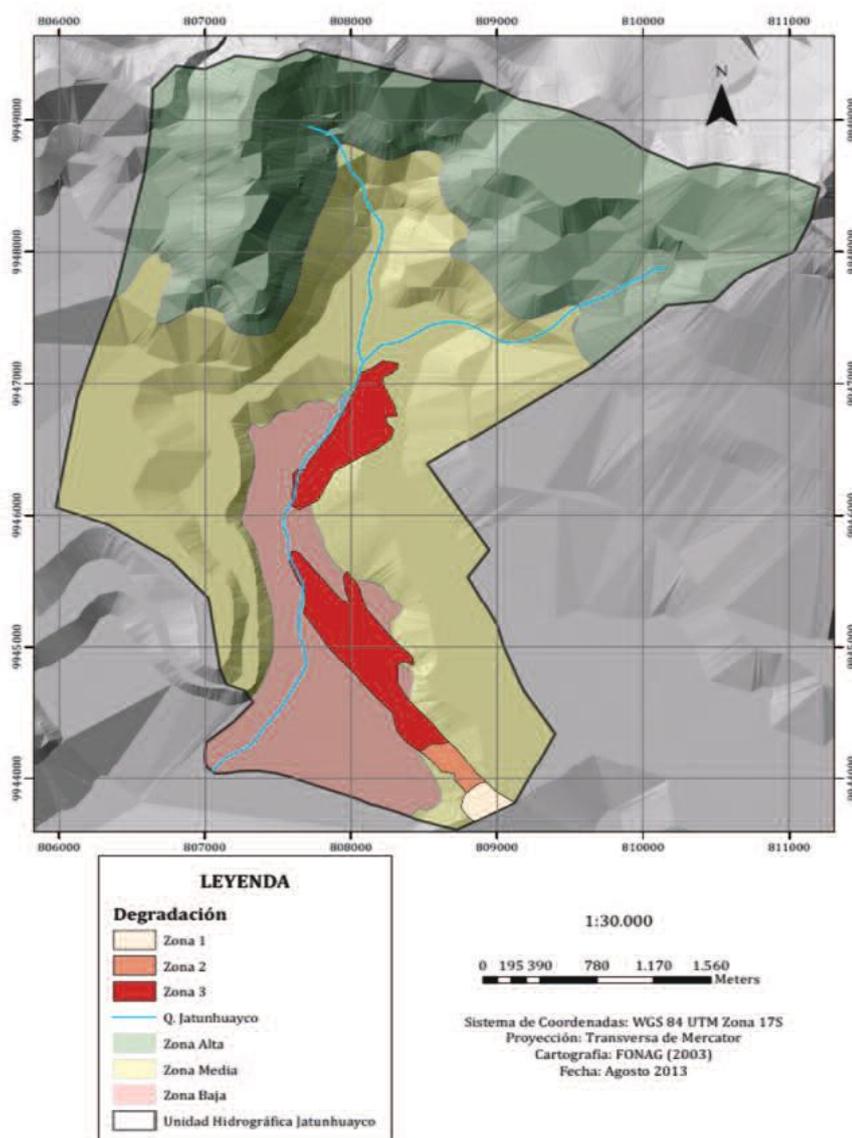


Figura 20. Distribución espacial de las tres zonas degradadas de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu. Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

Fuente: Aguirre y Torres (2013a)

• Estrategias para la restauración ecológica del páramo de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Con base en la información presentada anteriormente sobre la degradación y escenarios de referencia, a continuación en la Figura 21 se presenta un modelo general de las estrategias de restauración ecológica del páramo degradado de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu.

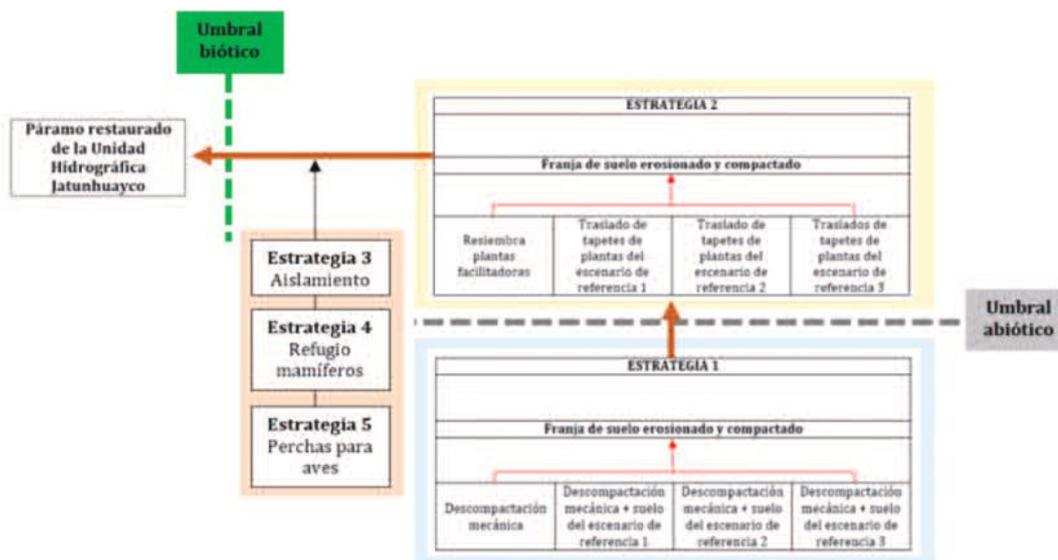


Figura 21. Modelo conceptual para la restauración ecológica del páramo degradado del a UHJ

Este modelo general puede ser aún más específico para cada zona de degradación., respondiendo a la situación actual que cada una ellas presenta. A continuación en el Cuadro 7 se presenta la aplicabilidad de las estrategias que servirán para superar el umbral biótico y abiótico de degradación de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu (ver detalles en Aguirre y Torres 2013b).

Cuadro 7. Estrategias de restauración ecológica para el páramo de la Unidad Hidrográfica Jatunhuaycu

Estrategia	Descripción	Zona de degradación en la que se aplica		
		1	2	3
Descompactación mecánica y traslado de suelo de los escenarios de referencia	La descompactación sirve para promover la colonización y establecimiento de especies pioneras. Con el trasplante de suelo de sitios sin disturbios (escenarios de referencia) se pretende introducir microfauna, fuentes de propágulos, enriquecimiento de nutrientes (Vargas et al. 2010, Torres et al. 2011, Vargas y Velasco 2011).	X	X	X
Resiembra de macollas de pajonal y traslado de tapetes de plantas	Se pretende que las especies facilitadoras ejerzan un efecto positivo sobre el crecimiento, supervivencia y desarrollo de otras especies. Aumenta la diversidad y forma núcleos de restauración con la fisonomía típica del páramo (Ávila et al. 2013, Torres et al. 2013)	X	X	

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Z; Aguirre, N. 1999. Guía para realizar estudios en comunidades vegetales. Herbario Reinaldo Espinoza. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ec. 50 p.
- Aide, T.M. & J. Cavelier. 1994. Barriers to lowland tropical forest restoration in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Restor. Ecol.* 2: 219-229.
- Aguirre N. 2011. Avances de la restauración en el Ecuador. 13 p.
- Aguirre N. 2012. Conservación y restauración de ecosistemas tropicales: estrategias para la conservación de los bosques tropicales y los páramos andinos. II curso internacional de ecohidrología tropical 2012. Medellín, Colombia. 40 diapositivas.
- Aguirre N., J. Aronson, M. Moens, G. Calatayud, V. García, A. Pérez, M. Hofmann, B. Santana, C. Cajas, J. Salgado, J. Muñoz. 2013. Educación y transferencia sobre restauración del capital en el contexto neotropical (en prensa). 21 p.
- Aguirre N., J. Torres. 2013a. Informe de la línea base del estado de degradación de los páramos de Jatunhuayco: escenario de degradación y caracterización de sistemas de referencia. FONAG (Fondo para la Protección del Agua). Quito, Ecuador. 62 p.
- Aguirre N., J. Torres. 2013b. Diseño conceptual y técnico de estrategias para la restauración ecológica del páramo degradado de la Unidad Hidrográfica Jatunhuayco. FONAG (Fondo para la Protección del Agua). Quito, Ecuador. 57 p.
- Aronson J., A. Nikolay, J. Muñoz. 2010a. Ecological restoration for future conservation professionals: training with conceptual models and practical exercises. *Ecological Restoration* 28 (2): 175 – 181.
- Aronson J., J. Blihnaut, S. Milton, D. Le Maitre, K. Esler, A. Limouzin, C. Fontaine, M. De Wit, A. Murgido, P. Prinsloo, L. Van der Elst, N. Lederer. 2010b. Are socioeconomic benefits or restoration adequately quantified? A meta-analysis of recent papers (200-2008) in *Restoration Ecology* and 12 other scientific journals. *Restoration Ecology* 18 (2): 143-154 pp.
- Ávila L., F. Castiblanco, O. Rojas, J. Torres, O. Vargas. 2013. Control de gramíneas exóticas y reubicación de plantas para conformar núcleos de restauración ecológica en pastizales de páramo (PNN Chingaza, Colombia). Pp. 73. En: Barrera J., N. Garzón, J. Rubio, M. Aguilar (Eds). III Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica. Bogotá, Colombia.
- Bazzaz, F.A. & Pickett, S.T.A. 1980. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. *Annual review on ecology and systematics* 11: 287-310.
- Beltrán K., M. Bustamante, F. Cuesta, B. de Bièvre, M. Albán, M. Castro. 2011. Áreas prioritarias para la conservación y el manejo de los páramos en la provincia de Chimborazo. Pp- 65-87. En: Bustamante M., M. Albán, M. Argüello (Eds). Los páramos de Chimborazo. Un estudio socioambiental para la toma de decisiones. Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo/EcoCiencia/CONDESAN/Programa-BioAndes/Proyecto Páramo Andino. Quito, Ecuador.
- Bestelmeyer, B. T., J. R. Brown, k. M. Havstad, r. Alexander, g. Chavez & j. E. Herrick. 2003. Development and use of state-and-transition models for rangelands *J. Range Manage.* 56:114-126 March 2003
- Buytaert, W.; Céleri, R.; De Bièvre, B.; Cisneros, F.; Hofstede, R.: 2008. Impacto Humano en la Hidrología de los Páramos Andinos. Cuadernos Docentes. Serie: Gestión de Cuencas Hidrográficas y Población. PYDLOS Ediciones. Cuenca, Ecuador.
- Buytaert, W., B. De Bièvre, F. Cuesta, R. Céleri, R. Hofstede, J. Sevink, 2007a. Letter response to "Threats to water supplies in the tropical Andes" (R. Bradley et al. *Science* (2006); 312: 1755-1756), *Science*.
- Buytaert, W., Iñiguez V., De Bièvre, B. 2007b The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecol. Manage.*
- Cano J., N. Zamudio. 2007. Barreras sociales: ausencia de articulación social en los proyectos de restauración ecológica. Pp. 83-84. En: Vargas O. (Ed). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Céleri, R. 2010. Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes. En Quintero, M., (Ed), *Servicios Ambientales Hidrológicos en la Región Andina*. CONDESAN, IEP. Lima, pp. 25-45.

- Chapman & Hall. London – New York – Tokio Melbourne- Madras 11-59 Ecociencia-Abya Yala Quito, Ecuador (también disponible en línea http://www.ecociencia.org/archivos/gente_paramo-091128.pdf).
- Clewell, A., J. Rieger and J. Munro. 2000. Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects. A Society for Ecological Restoration Publication. 11 p.
- Clewell A., J. Rieger, J. Munro (Eds). 2005. Guidelines for developing and managing ecological restoration projects. 2da Edi. SocietyforEcologicalRestoration International. 16 p.
- Crespo, P.; Célleri, R.; Buytaert, W.; Feyen, J.; Iñiguez, V.; Borja, P.; De Bièvre, B.: 2010. Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems. En Status and Perspectives of Hydrology of Small Basins (Proceedings of the Workshop held in Goslar-Hahnenklee, Germany, 30 March-2 April 2009), International Association for Hydrological Sciences Publ., 336, pp. 77-83.
- Díaz R. 2007. El monitoreo en la restauración ecológica. Pp. 119-122. En: Vargas O. (Ed). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- ECOLAP, MAE. 2007. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador: Reserva Ecológica Antisana. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador. 11 p.
- Eguiguren P., T. Ojeda. 2009. Línea base para el monitoreo a largo plazo del impacto del cambio climático, sobre la diversidad florísticas en una zona piloto del ecosistema páramo del Parque Nacional Podocarpus. Tesis Ingeniería Forestal. Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 101 p.
- FA (Fundación Antisana). 2005. Diagnóstico socioambiental del Corredor de Páramo El Tambo-Antisana. USAID/TheNatureConservancy. 179 p.
- Forman KDT & M Godron. 1986. Landscape ecology. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 619 pp
- Geneletti D., F. Orsi, E. Lanni, A. Newton. 2011. Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos. En: Newton A., N. Tejedor (Eds). Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: estudios de caso en las zonas secas de América Latina- Gland, Suiza: UICN y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas. 409 p.
- Glenn- Lewin, D & E van der Maarel, 1992. 1: Patterns and processes of vegetation dynamics. En plant Succession theory and prediction population and community biology.
- Guamán Y. 2010. Evaluación ecológica rápida para la priorización de áreas estratégicas y restauración vegetal en las parroquias Yanayacu y Rumipamba, cantón Quero, provincia de Tungurahua. Tesis Ingeniera Forestal. Escuela de Ingeniería Forestal, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 98 p.
- Guzmán P., L. Salinas. 2010. Patrones de diversidad florística en función de la gradiente altitudinal de los páramos del Parque Nacional Podocarpus. Tesis Ingeniería Forestal. Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador. 84 p.
- Holl K.D. 2002. Effect of shrubs on tree seedling establishment in an abandoned tropical pasture. Journal of Ecology 90:179-187.
- Hobbs R., J. Harris. Repairing the Earth's Ecosystems in the New Millennium. Restoration Ecology 9 (2): 239-246.
- Hobbs R.J y J.A. Harris 2001 Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. Restoration ecology 9 (2), 239-246
- Hofstede, R.; Segarra, P.; Mena, P. V: 2003. Los Páramos del Mundo. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Eco-Ciencia, Quito.
- Hofstede R., P. Segarra, P. Mena. (Eds). 2003. Los páramos del mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global PeatlandInitiative/NC-IUCN/EcoCiencia. Quito, Ecuador. 297 p.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2002. Estimación del costo de oportunidad del uso del suelo forestal en ejidos a nivel nacional. Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental. México, México. 13 p.
- Insuasty J., P. Gómez, O. Rojas, C. Cárdenas, O. Vargas. 2013. Estrategias para la restauración ecológica en áreas de páramo transformadas por ganadería: bases para un modelo de restauración. Pp. 101-102. En: Barrera J., N. Garzón, J. Rubio, M. Aguilar (Eds). III Congreso Iberoamericano y del Caribe de Restauración Ecológica. Bogotá, Colombia.

- Jørgensen, P; León Yáñez, S. 1999. Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 75.1181 p.
- Lamb, D. & Gilmour, D. 2003, *Rehabilitation and Restoration of Degraded Forests*, International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland & Cambridge, UK, and World Wildlife Fund, Gland, Switzerland.
- Laska G. 2001. The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework. *Plant Ecology* 157:77-99.
- Lindig-Cisneros, R. y L. Zambrano. 2009. Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. & L. Zambrano eds. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Primera edición, Instituto Nacional de Ecología, México. Pp: 167-188.
- Linding R. 2011. La restauración ecológica como una construcción social. Pp. 41-49. En: Vargas O., S. Reyes (Eds). *La restauración ecológica en la práctica: Memoria del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Llambí L., A. Soto, R. Céleri, R. De Bievre, B. Ochoa, P. Borja. 2012. *Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino*. 283 p.
- MAC (Ministerio del Ambiente de Colombia). 2001. Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de la alta montaña colombiana: Páramos. Dirección General de Ecosistemas. Bogotá, Colombia. 69 p.
- MAC. 2003. *Guía Metodológica sobre la restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación*. Bogotá, Colombia. 96 p.
- Martínez-Ramos, M. & X. García-Orth. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80 (supl.): 69-84.
- Meffe, G. K. & R. Carroll 1997. *Principles of conservation biology*. Second edition. Sinauer associates publishers. Sunderland, Massachusetts. pp:148 -152; 290-299.
- Miller S., B. Pruitt, C. Thelling, J. Fisichenich, S. Komlos. 2012. Reference concepts in ecosystem restoration and environmental benefits analysis (EBA): principles and practices. EMRRP Technical Notes Collection. ERDC TN-EMRRP-EBA-12. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. 18 p.
- Martín, E- 2007. Sucesión ecológica temprana en un deslizamiento de ladera de grandes dime Universidad de Alcalá. Departamento de Ecología. Pág. 181.
- Morales J., J. Estévez. 2006. El páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción?. *Revista Luna Azul* N° 22. Disponible en: <http://lunazul.ucaldas.edu.com> (Consultado: Abril 22, 2013).
- Morin P. J. 1999. *Community Ecology*. Blackwell Science, Oxford. Pickett S.T.A.; White P.S. 1985. Patch dynamics: a synthesis. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, pp. 371-383, Academic Press, NuevaYork.
- Pickett, S. T. A., J. Kolasa, J.J. Armesto, and S. L. Collins. 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* 54:129-136.
- Perrow, M.R. and A.J. Davy. 2002. Eds.: *Handbook of ecological restoration*. Volume 1: Principles of restoration. Cambridge University Press.
- Sánchez, Ó. 2000. Programas de conservación de vida silvestre: diseño, ejecución y seguimiento. Pp. 19-34 en: Sánchez, O., M. C. Donovarros-Aguilar y J. E. Sosa-Escalante (Eds.), *Conservación y Manejo de Vertebrados en el Trópico de México*. INE-Semarnap, U. S. Fish & Wildlife Service, UPC, A. C., Universidad Autónoma de Yucatán y Conabio. México, D. F., 190 pp.
- . 2003. *Biología de la conservación a escala de ecosistemas: algunas bases para el seguimiento de unidades del paisaje*. Pp. 195-236 en: Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (Eds.). 2003. *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*, Diplomado en Conservación, Manejo y Aprovechamiento de Vida Silvestre. 2003. Semarnat; Instituto Nacional de Ecología; U. S: Fish & Wildlife Service; UPC; IGUNAM; Ford Foundation, Conanp, CIRB, SEGEM; Conabio; Sierra Madre; Fondo Pro-Cuenca de Valle de Bravo. México, D. F., 315 pp.
- Shrader-Frechette, K. S. y E. D. McCoy. 1995. Natural landscapes, natural communities, and natural
- Schaefer V. 2006. Science, Stewardship, and Spirituality: The Humna Bosdy as a model for Ecological Restoration. *Restoration Ecology* 14 (1): 1-3.

- SER (Society for Ecological Restoration International – Sociedad internacional para la restauración ecológica). 2004. Principios sobre SER International sobre la restauración ecológica. Grupo de Trabajo sobre Ciencia y Política. 15 p.
- Suarez, E. 2008. Integridad ecológica frente a salud ecosistémica: reflexiones sobre enfoques de conservación en ecosistemas de páramo, p.39-51. In P. Mena Vásconez, M. Morales, P. Ortiz, G. Ramón, S. Rivadeneira, E. Suarez, J.F. Terán & C. Velásquez. Gente y Ambiente de páramo: Realidades y Perspectivas en el Ecuador.
- Suding, K.N. & R.J. Hobbs. 2009. Models of Ecosystem Dynamics as Framework for Restoration Ecology. En: Hobbs, R. J. y K. N. Suding (eds.). New Models for Ecosystem Dynamics and Restoration. Society for Ecological Restoration International. Island Press. Washington. United States of America. Vallejo
- Simula M., E. Mansur. 2011. Un desafío mundial que reclama una respuesta local. *Unasylva* 62 (238): 3-7 p.
- Temperton, V. & R. Hobbs. 2004. The search for ecological assembly rules and its relevance to restoration ecology. En V. Temperton, R. Hobbs, T. Nuttle & S. Halle (eds). Assembly rules and restoration ecology – Bridging the gap between theory and practice. Island Press. Washington D.C.
- Romero, E. 1996. La restauración Ecológica. *Revista Ciencia*. México. N. 43:-61-
- Van Andel J., J. Aronson (Eds). 2012. Restoration Ecology: The new frontier. Wiley-Blackwell. Oxford, Reino Unido. 368 p.
- Vargas O. 2007. El ecosistema de referencia. Pp. 38-37. En: Vargas O. (Ed). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Vargas O. 2007. Los pasos fundamentales en la restauración ecológica. Pp. 17-29. En: Vargas O. (Ed). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Vargas O. 2011. Los pasos fundamentales en la restauración ecológica. Pp. 19-40. En: Vargas O., S. Reyes (Eds). La restauración ecológica en la práctica: Memoria del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Vargas O., P. Velasco. 2011. Reviviendo Nuestro Páramos: Restauración Ecológica de Páramos. Proyecto Páramo Andino. 183 p.
- Vargas O., S. Reyes, P. Gómez, J. Díaz. 2010. Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 92 p.
- van der hammen T. 2002. Diagnóstico, cambio global y conservación. Congreso Mundial de Páramos
- Velasco-Linares P & A. Cardona. 2007. Planteamiento de estrategias de restauración. En Recuperar el páramo. Restauración Ecológica en la Laguna del Otún Parque Nacional Natural Los Nevados. Lotero Echeverri, Jorge Hernán. 173p. UAESPNN Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial CARDER-
- Velázquez E. 2007. Sucesión ecológica temprana en un deslizamiento de ladera de grandes dimensiones en ambiente tropical seco (Volcán Casita, Nicaragua). Tesis de Doctorado. Universidad de Alcalá. España. 181.pg.
- Whisenant, S. G. 1999. Repairing damaged wildlands: a process-oriented, landscape-scale approach. Cambridge University Press. 312 pages.
- Zamora, O. 2012. Reubicación de plantas para el enriquecimiento con especies nativas en la restauración ecológica de áreas potrerizadas de páramo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 100 pp.



El Fondo para la Protección del Agua-FONAG es un fondo patrimonial creado en enero del 2000, con el desafío de rehabilitar, proteger y conservar las cuencas hídricas desde donde se abastece de agua el Distrito Metropolitano de Quito y sus áreas de influencia.

Compartimos tu responsabilidad de velar para que siempre haya agua... para todos y todas

www.fonag.org.ec



Fondo para la Protección del Agua



@fonag

