



HERRAMIENTAS PARA ABORDAR LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ÁREAS DISTURBADAS EN COLOMBIA

J. I. Barrera-Cataño, C. Valdés-López

*Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS)
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Pontificia Universidad Javeriana. Carrera 7ª No. 43-82, Bogotá,
Colombia barreraj@javeriana.edu.co cvaldes@javeriana.edu.co*

RESUMEN

Este artículo presenta una revisión sobre los temas de la ecología de la restauración, la restauración ecológica de áreas disturbadas y la aplicación de dichos conceptos para abordar la restauración ecológica de los ecosistemas disturbados, en especial los terrestres.

Los Andes colombianos comprenden diversos ecosistemas que se encuentran fuertemente sometidos a la presión antrópica por tratarse de la región más altamente poblada del país. En consecuencia, la colonización y establecimiento del hombre en la montaña genera una gran cantidad de disturbios que han dado origen a un variado y numeroso repertorio de áreas disturbadas, entre las que sobresalen bosques fragmentados, parches con ausencia de vegetación, áreas construidas, áreas cultivadas y pastoreadas, áreas con procesos erosivos, ríos y quebradas con disminución de caudales, suelos y cuerpos de agua contaminados, entre otros.

La restauración ecológica de las áreas alteradas obliga al diseño e implementación de tácticas y técnicas de restauración basadas en conceptos claros y aplicables de la ecología, de tal modo que contribuyan, con el tiempo, a desarrollar una estrategia de restauración que responda al restablecimiento de ambientes degradados y garantice su sostenibilidad.

Para abordar la restauración ecológica es necesario considerar los niveles de complejidad con un enfoque jerárquico supraorgánico que involucre escalas espaciales y temporales del área disturbada; las etapas a considerar comprenden: a) definición del objetivo del proyecto, b) caracterización del área disturbada, c) implementación de las técnicas y procedimientos más adecuados y d) la definición de las variables para realizar el seguimiento.

Palabras clave: ecología de la restauración, restauración ecológica, tensión, disturbio, perturbación.

ABSTRACT

This paper is a revision about different topics related to restoration ecology, ecological restoration of disturbed areas, and application of concepts to carry out the ecological restoration of disturbed ecosystems, especially in high mountain ecosystems.

Colombian Andes comprises various ecosystems that are seriously exposed to human activities because this is the most populated area in the country. As a consequence, these mountains present a wide range of disturbed areas, such as fragmented forests, derelict lands, urban centres, cultivated areas and grazed areas, areas experiencing erosive processes, rivers and streams with reduced water flow rates, and contaminated soils and water bodies, amongst others.

Restoration of these areas would require designing and implementing techniques based on applicable concepts from Ecology, in order to develop an effective restoration strategy to assist the recovery of degraded environments and ensures their sustainability.

Initiatives on ecological restoration require considering complexity levels. That means a hierarchical supraorganismic approach involving spatial and temporal scales of the disturbed area. Stages to be considered are: a) defining the objective of the project, b) diagnosis of disturbed area, c) implementing the most appropriate techniques and procedures, and d) defining variables to monitor.

Key words: ecological restoration, disturbance, restoration ecology, stress, perturbation.

INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica de áreas disturbadas es un tema de mucha actualidad y al mismo tiempo uno de los más complejos de abordar, debido a vacíos en el conocimiento sobre las poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes naturales. Otros componentes adicionales fundamentales están representados en lo social, político y económico, en la medida que constituyen fuerzas responsables de alteración y profunda transformación de los ecosistemas.

En el mundo, los temas de la restauración ecológica y ecología de la restauración comenzaron a ser desarrollados a finales de la década de los ochenta del siglo XX por investigadores como Jordan, Cairns, Bradshaw y Harper; pero su desarrollo más importante fue dado, durante la década de los noventa con el nacimiento de la Sociedad de Ecología de la Restauración (SER), y con ella la aparición de dos importantes revistas: *Restoration Ecology* y *Ecological Restoration*, cada una con objetivos muy diferentes: mientras la primera está dedicada a publicar los resultados de las investigaciones realizadas sobre el tema, la segunda tiene como objetivo mostrar to-

das las experiencias prácticas y los métodos propuestos.

En Colombia el tema de la restauración ecológica ha sido trabajado desde mediados de la década de los noventa del siglo pasado y es la Fundación Bachaqueros quien da los primeros pasos, pero es a finales de esa década y principios de este siglo que el tema se empieza a poner de moda, promovido mediante cursos y seminarios organizados por diferentes instituciones, como la Fundación Restauración de Ecosistemas Tropicales (FRET), el Ministerio del Medio Ambiente, el DAMA, el Jardín Botánico, la Universidad Nacional (Departamento de Biología) y la Pontificia Universidad Javeriana (Departamento de Biología - Escuela de Restauración Ecológica).

Pese a que hoy se han incrementado los escenarios para discutir las bondades del tema y se han escrito algunos documentos, todavía existe bastante confusión entre los técnicos sobre su objetivo y sobre todo de cómo abordarla, cuando de restaurar áreas se trata.

La responsabilidad que tienen los investigadores y los técnicos especialistas en el

desarrollo del tema y el montaje de las prácticas de restauración ecológica es muy grande. Se debe evitar a toda costa que un tema tan complejo y de tanta relevancia para el futuro del país sea asumido por quienes no tienen en consideración que es un ecosistema, como es su composición y su funcionamiento y, sobre todo, que es un ecosistema alterado y cómo podría restablecerse.

El presente artículo pretende colocar a disposición de los técnicos (biólogos, ecólogos, manejadores del medio ambiente, ingenieros, arquitectos y sociólogos) algunos de los conceptos claves que son utilizados en el abordaje de la restauración ecológica, así como dar herramientas para el desarrollo de la investigación pura y aplicada, y los montajes de prácticas de restauración propiamente dicha.

Ecología de la restauración y restauración ecológica

Para hablar del nuevo concepto o tema de la “Ecología de la restauración” es fundamental recordar que se entiende por ecología en el contexto de las ciencias puras y específicamente de la biología. De acuerdo con Stiling (1996) y Chapman & Reiss (2001) es definida como “la ciencia que estudia los organismos vivos, sus interacciones y las interacciones con el entorno”. Por su parte la ecología de la restauración toma los conceptos de la ecología básica y los provee de manera clara a los técnicos de la restauración, junto con los modelos, herramientas y métodos (Bradshaw, 1993; Cairns Jr., 1993; Clewell, 1993; SER, 2004). En conclusión, la ecología de la restauración puede ser definida como la rama de la ecología que estudia las áreas disturbadas en proceso de restablecimiento de manera natural o asistida.

Por su parte, se ha considerado a la “Restauración ecológica” como:

“el proceso de asistir el recubrimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido. En la restauración ecológica se tiene como objetivo el restablecimiento de la función y la estructura de las áreas que han sido disturbadas, utilizando como referencia los ecosistemas predisturbio” (National Research Council, 1992; SER 2004).

Para fortalecimiento de la ecología de la restauración en nuestro país se hace necesario implementar experimentos que ayuden a entender cómo se ensamblan y funcionan los componentes de los compartimentos de los ecosistemas y, en general, del ecosistema en proceso de restablecimiento. En este sentido, cuando se desarrolla un proyecto de investigación es indispensable considerar los niveles jerárquicos supraorganísmicos, (especie, población, comunidad, ecosistema, paisaje y bioma) y la escala espacial y temporal. A nivel espacial pueden presentarse eventos que suceden en áreas pequeñas (hasta una hectárea) y en áreas grandes (mayores de 10 hectáreas), mientras que a nivel temporal existen eventos que pueden presentarse en fracciones de segundos, días, meses, años, siglos y milenios.

A continuación se plantean algunas de las variables que pueden ser consideradas en cada uno de los niveles jerárquicos cuando se aborda un proyecto de restauración (Hobbs & Norton 1996; SER 2004):

- a) **Especie:** Formas de reproducción, ciclo de vida, distribución, función en el ecosistema, estado fenológico, requerimientos básicos para su desarrollo.

- b) Poblaciones:** Estructura de la población (hembras, machos, juveniles, adultos, tasa de migración, tasa de reproducción y época de reproducción, entre otros).
- c) Comunidades:** Estructura (la riqueza de especies, diversidad, tamaño de las poblaciones, cobertura y su distribución vertical y horizontal), función (el nivel trófico de la especie, biomasa, productividad primaria e interacciones entre otros).
- d) Ecosistema:** Estado sucesional, estructura (estado de los compartimentos, diversidad, riqueza), función (producción de biomasa, productividad primaria y secundaria y el flujo de energía y materia entre ecosistemas y áreas adyacentes (Ehrenfeld & Toth 1997; Ehrenfeld, 2000; Barrera & Ríos, 2002).
- e) Paisaje:** Conectividad, composición, heterogeneidad, tipo de matriz, flujos, ecotónos (Hobbs 2002, en: Perrow & Davy 2002), patrones de variación a través de la caracterización de la tendencia, amplitud de oscilación, ritmo y frecuencia de los disturbios (Forman & Grodron 1986; Forman, 1995).

En el abordaje de la restauración ecológica de las áreas disturbadas es necesario tener buenos conocimientos sobre ecología básica, es decir, cómo se organizan las especies en el tiempo y en el espacio (ensamblaje o asociación), los tipos de interacción entre las especies, la importancia del clima en el repoblamiento y desarrollo de las especies, y el papel de la topografía y el substrato en dicho repoblamiento (Temperton *et al.*, 2004).

Tensión, disturbio, perturbación y limitación

Los conceptos de tensión, factor tensionante, sistema tensionado, limitación, factor

limitante, disturbio y perturbación han sido manejados, de manera independiente, por diversos autores, pareciera que las diferencias respondieran a enfoques diferentes. A finales de la década de los ochenta se planteó todo un debate sobre el concepto de tensión y la estabilidad de los ecosistemas pero poco se habló del tema de disturbios y perturbaciones (Grime, 1989).

Posteriormente, Beeby (1993) basado en los trabajos de Grime (*op. cit.*) y Bender (1984) definió el término de tensión como un estímulo aplicado que es medido por su capacidad para desviar algún componente viviente del ecosistema de su proceso de desarrollo; además, planteó la existencia de dos tipos de tensión de acuerdo a la existencia del control o no, sobre el sistema afectado: *los disturbios y las perturbaciones*. Mientras los disturbios fueron definidos como eventos no planeados que afectan la estructura y función de los ecosistemas, las perturbaciones fueron consideradas como manipulaciones planeadas que son producto de un proceso de experimentación.

La confusión en la interpretación de las definiciones de tensión y disturbio, radican en lo siguiente: 1) que la tensión es definida como un estímulo que tiene la capacidad de desviar la trayectoria de un ecosistema y 2) el disturbio es definido como un evento discreto que rompe la estructura y la función. Cuando se analizan bien dichas definiciones se termina pensando que la tensión es una cosa y el disturbio es otra, es decir, primero es el estímulo y luego el evento que genera el área disturbada. No obstante, la confusión se hace más evidente cuando plantea que tanto el disturbio como la perturbación son dos categorías de tensión (Beeby, 1993).

El hecho es que quienes han hablado o hablan de tensión (estrés) no tocan el tema de

disturbio o lo hacen tangencialmente (Odum, 1971; Lugo, 1982; Grime, 1989; Beeby, 1993; Brown & Lugo, 1994; Rapport & Whitford, 1999) y los que trabajan el tema de disturbio no tocan el tema de tensión o lo hacen muy poco (Mooney & Godron, 1983; Pickett & White, 1985; Baker, 1992b; Bornette & Amoros, 1996; Turner *et al.*, 1998, White & Jentsch, 2001).

En este artículo, para efectos de abordar con mayor claridad lo que es un proyecto de restauración ecológica, se hará referencia al término disturbio como el evento que genera las áreas disturbadas; y la tensión como los estímulos generadores o no de disturbios para cualquier sistema biológico. Los términos de factor tensionante y sistema tensionado son considerados como en Brown y Lugo (1994). Los factores tensionantes son los diferentes tipos de estímulo externo que pueden dañar o no los

sistemas naturales; mientras que los sistemas tensionados son aquellos que no pueden desarrollarse normalmente debido a que están sometidos permanentemente a estímulos externos que retrasan o dañan su proceso de desarrollo (figura 1).

Entre los autores que, de una manera u otra, han trabajado el tema de los disturbios y sus consecuencias sobre poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisaje, se destacan: Grime (1979), quien define el disturbio como el mecanismo que limita la biomasa de las plantas debido a que causa su destrucción parcial o total; Forman y Godron (1986), quienes definen el disturbio como un evento que causa un cambio significativo del patrón normal de un sistema ecológico; van Andel y van den Bergh (1987) que explican el disturbio como un cambio de condiciones que interfiere con el funcionamiento normal de un sistema

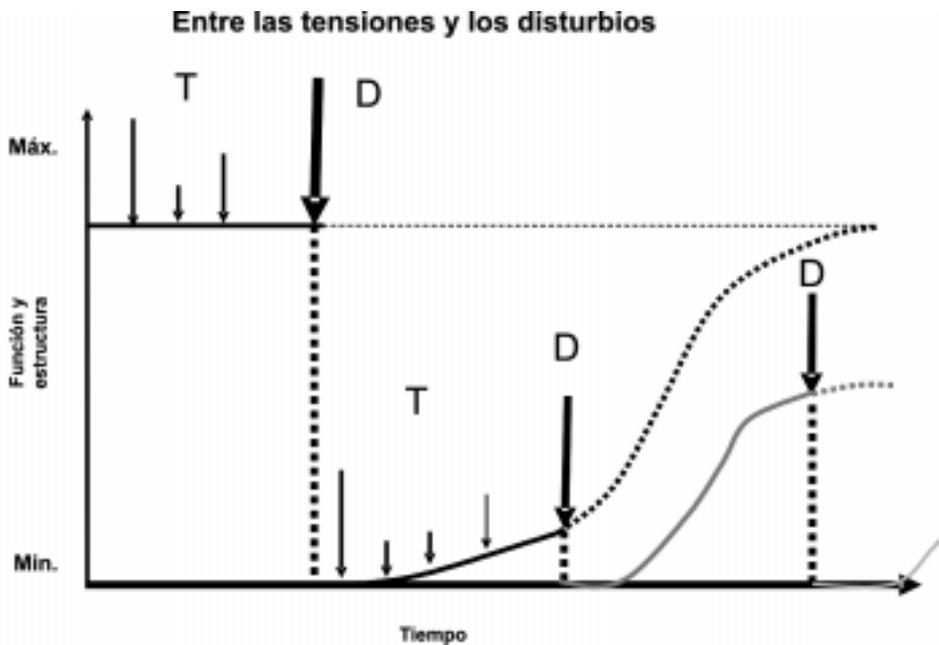


FIGURA 1. Esquema en dos dimensiones que explica el efecto de las tensiones (T) y los disturbios (D) sobre un sistema.

biológico. Existe coincidencia entre algunos investigadores respecto de que el disturbio es un proceso que conduce a un incremento en la disponibilidad de recursos a la que responden los sobrevivientes o los nuevos colonizadores (Marks, 1974; Mooney & Godron, 1983; Sousa, 1984; White & Pickett, 1985; Tilman, 1985; Denslow, 1987; Runkle, 1989).

De acuerdo con el origen los disturbios pueden ser clasificados en: 1) naturales (incendios forestales, huracanes, inundaciones y deslizamientos de tierra, entre otros) y 2) antrópicos (incendios forestales, tala, extracción de materiales a cielo abierto, uso agrícola, uso pecuario, las construcciones urbanas, descarga de sedimentos, descarga de contaminantes). Cada uno de estos tipos de disturbio da origen a un tipo de área o ecosistema disturbado.

De otra parte, tanto los disturbios naturales como antrópicos, de acuerdo al tamaño, pueden clasificarse en: a) grandes distur-

bios (mayores de 10 hectáreas), b) medianos (1 a 10 hectáreas) y c) pequeños (menores de una hectárea). Asimismo, de acuerdo a la intensidad o daño que ocasionan a los ecosistemas, los disturbios se pueden clasificar en: graves o severos, medianos y leves.

Con la ocurrencia de un disturbio se pueden evidenciar diferentes consecuencias, tales como: a) la aparición de un claro, b) pérdida total o parcial del suelo, c) cambios en las condiciones microclimáticas (luz, temperatura, humedad, precipitación), d) pérdida total o parcial del banco de semillas, e) disminución del reclutamiento de plántulas, f) pérdida o disminución en la riqueza de las especies y g) disminución del tamaño de las poblaciones (figura 2).

Las limitaciones son condiciones propias de los sistemas debidas a los factores o agentes limitantes, que impiden su normal desarrollo. En el caso del suelo se pueden presentar limitaciones por ausencia de

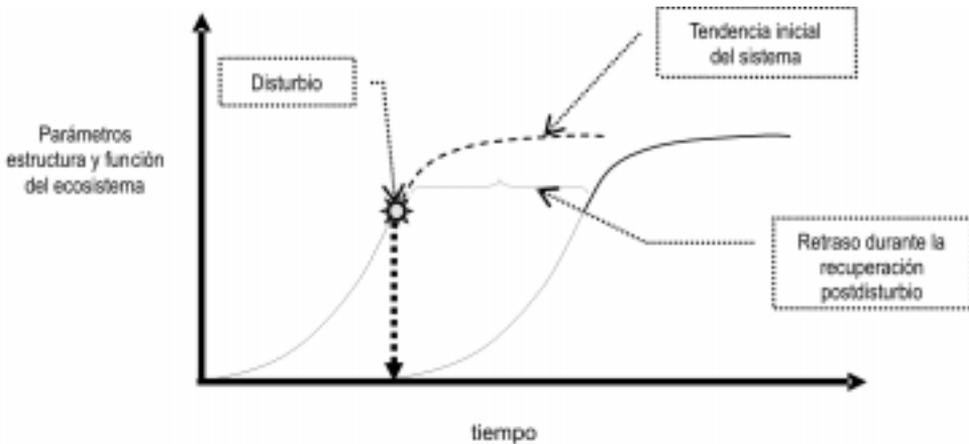


Figura 2. Efecto del disturbio sobre el proceso de desarrollo del ecosistema. Nótese que se pierde totalmente la riqueza, abundancia de individuos, productividad y se afecta la organización espacial, entre otros.

nutrientes como: fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), materia orgánica (M.O.). De igual manera, se pueden presentar limitaciones por valores de pH muy altos o muy bajos, ya que incide de manera directa en la movilidad de los nutrientes. Tanto los contenidos muy bajos como muy altos de agua pueden incidir de manera negativa en el desarrollo de los ecosistemas o de sus componentes (Terradas, 2001).

Características de las áreas disturbadas

Un área disturbada es aquella que ha perdido total o parcialmente sus atributos, o en otras palabras su función (productividad, interacciones, polinización, regulación hídrica) y su estructura (organización espacial de las especies, número de especies, estado de las poblaciones), existen varios ejemplos al respecto:

- 1) **Áreas disturbadas por la extracción de materiales a cielo abierto.** Se afectan todos los compartimientos del ecosistema (suelo, vegetación y fauna) y las condiciones microclimáticas.
- 2) **Áreas disturbadas por incendios forestales.** Se afectan el compartimiento de la vegetación y de la fauna principalmente.
- 3) **Áreas disturbadas por tala rasa.** Se afectan los compartimientos de la vegetación, la fauna y el suelo, y las condiciones microclimáticas.
- 4) **Áreas disturbadas por tala selectiva.** Se afectan parcialmente los compartimientos de la vegetación, la fauna y el suelo, así como las condiciones microclimáticas.
- 5) **Áreas disturbadas por uso agropecuario.** Se afectan todos los compartimen-

tos del ecosistema y las condiciones microclimáticas.

- 6) **Áreas disturbadas por expansión y uso urbano.** Se afectan todos los compartimientos drásticamente y las condiciones microclimáticas.
- 7) **Áreas disturbadas por expansión agrícola.** Se afectan todos los compartimientos del ecosistema. Como consecuencia de la tumba, quema y siembra.
- 8) **Áreas disturbadas por especies exóticas.** Se afectan todos los compartimientos. En especial se afecta la riqueza de especies nativas.
- 9) **Áreas disturbadas por procesos erosivos.** Se afectan todos los compartimientos, pero principalmente el suelo.
- 10) **Áreas disturbadas por descargas de sedimento.** Se afecta, principalmente, el compartimiento suelo y el agua en los sistemas acuáticos.
- 11) **Áreas disturbadas por descarga de contaminantes.** Se afectan todos los compartimientos del ecosistema, pero fundamentalmente el suelo.
- 12) **Áreas disturbadas por inundaciones.** Se afectan todos los compartimientos, pero principalmente el suelo.

Un ejemplo de cómo se afectan los compartimientos en los ecosistemas como consecuencia de un disturbio, se presentan en un modelo de un bosque no disturbado y disturbado por un incendio forestal (figuras 3, 4 y 5).

Si el impacto del fuego es intenso, los componentes aéreos y superficiales del ecosistema se ven afectados severamente; particularmente, son evidentes los impactos sobre la flora y la fauna. Para el caso de la flora, todo el componente aéreo rápidamente se mineraliza bajo el efecto de la

Modelo básico de un ecosistema

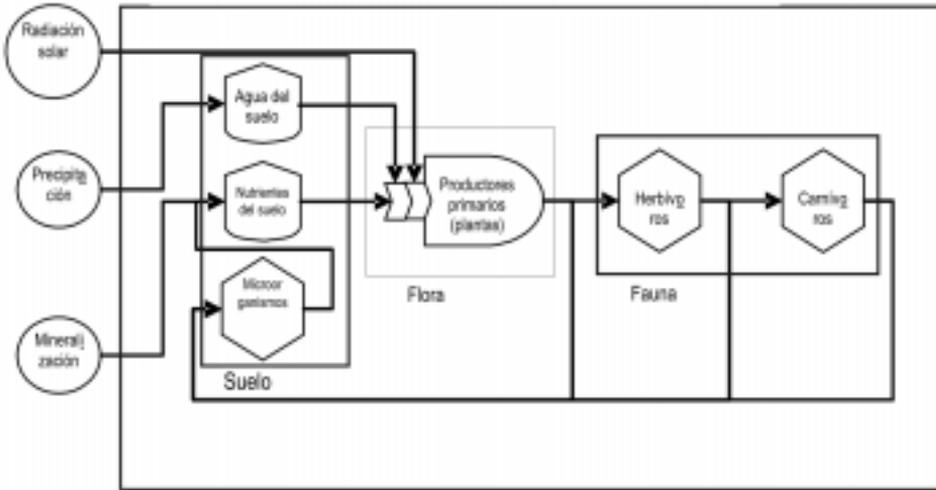


FIGURA 3. Representación de un bosque no disturbado, simbología de Odum (1971).

carbonización a altas temperaturas, afectando las vías de forrajeo y las vías detriticas dependientes de la necromasa. El componente faunístico se ve afectado tanto por la muerte de individuos bajo el efecto del calor y el humo, como por la emigración de los sobrevivientes que logren escapar del disturbio (figura 4).

Por su parte, el suelo es afectado diferencialmente de acuerdo a su profundidad. Hasta los primeros cinco centímetros puede verificarse el efecto del calor sobre los principales componentes de este subsistema. La materia orgánica, por ejemplo, es rápidamente mineralizada durante el proceso de carbonización, y con ello desaparece toda la mesofauna y microorganismos asociados; las altas temperaturas superficiales provocan un desecamiento de la parte superficial del suelo y la muerte de una alta proporción de las semillas viables que componen el banco de semillas.

Una vez finalizado el incendio, el suelo queda expuesto a las nuevas condiciones

climáticas dentro de las cuales la lluvia y el viento contribuyen activamente a la remoción de cenizas y materiales sueltos, que componen los restos de los componentes bióticos del ecosistema (figura 5). En consecuencia, tanto los materiales edáficos superficiales como la gran parte de los nutrientes, que rápidamente fueron dispuestos por la carbonización de la materia orgánica, pueden ser removidos y transportados a otros ecosistemas a través de los vectores agua y viento durante la acción combinada de los procesos de erosión pluvial, laminar y eólica.

Cómo abordar la restauración ecológica de áreas o sistemas disturbados

Para abordar un proyecto de restauración ecológica de un sistema disturbado, es fundamental, primero, preguntarse lo siguiente: ¿por qué y para qué se debe restaurar?, ¿cuándo se debe restaurar?, ¿con qué y con quiénes se debe restaurar?, ¿cómo y cuándo se deben realizar los procesos de eva-

Efecto del fuego sobre el ecosistema

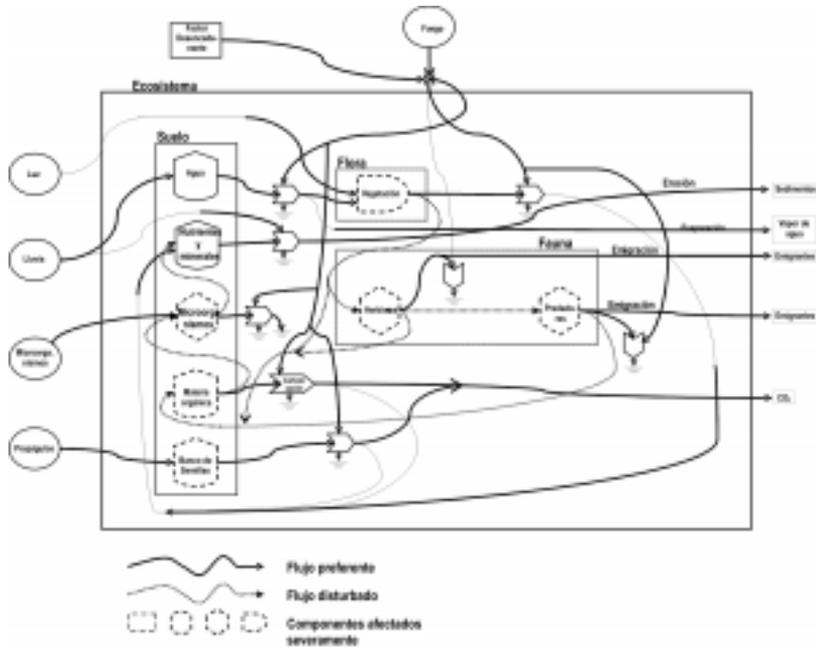


FIGURA 4. Diagrama general de los efectos del fuego sobre los componentes básicos de un ecosistema (véase explicación en el texto).

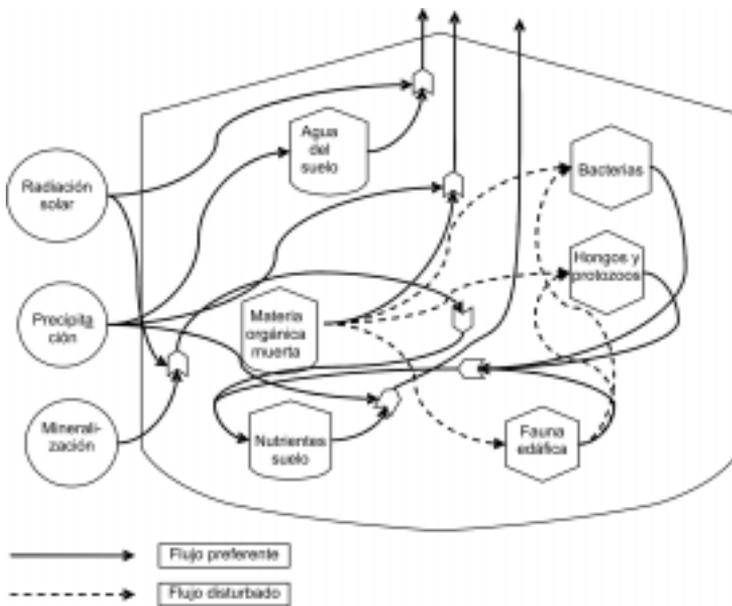


FIGURA 5. Representación del compartimento suelo de un bosque de roble disturbado por un incendio forestal. Simbología de Odum (1971).

luación y seguimiento? y por último ¿tiene sentido establecer experiencias piloto de restauración en dicho sistema?

A continuación se plantean una serie de pasos que deben ser seguidos en un proyecto de restauración ecológica:

1. Definición del objetivo de restauración. Dicho objetivo será definido de acuerdo a las características del área disturbada en el contexto del paisaje, los recursos económicos con que se cuenta y los requerimientos de la comunidad. Puede ser para una restauración propiamente dicha cuyo objetivo es un área de preservación, para una rehabilitación donde el sistema final tendrá un manejo sostenible o para una recuperación donde el sistema final podrá tener un uso muy diferente al predisturbio, por ejemplo un parque de recreación pasiva o activa.
2. Zonificación del área a restaurar. Este paso es fundamental previo a la caracterización del área disturbada y del sistema de referencia, y debe realizarse cuando el área a restaurar presenta dimensiones mayores a una hectárea. La zonificación es una buena herramienta para la planificación de la caracterización y de la restauración propiamente dicha y consiste en la caracterización con criterios climáticos, geomorfológicos, edáficos y de cobertura.
3. Caracterización, física, biótica y social, del sistema disturbado y del sistema de referencia. Con el propósito de equivocarse lo menos posible en el proceso de restauración es fundamental tener conocimiento de su composición y su estado, de igual manera, debe suceder con el sistema de referencia.
4. Definición de los factores tensionantes y limitantes que afectan el restablecimiento natural del sistema disturbado. En el momento de la realización de la caracterización diagnóstica deben definirse los factores propios y externos al sistema que podrían impedir o retrasar su restablecimiento.
5. Definición de los factores potenciadores de la restauración. También al momento de la caracterización diagnóstica se deben identificar todos los elementos internos y externos al sistema disturbado que pueden acelerar su restablecimiento (Barrera & Ríos, 2002).
6. Establecimiento de las prácticas de restauración. Deben ser implementadas con base en el objetivo u objetivos, la zonificación, la caracterización diagnóstica, los factores limitantes, los factores tensionantes y los factores potenciadores. En este paso se deben implementar las técnicas y estrategias que permitan asegurar el éxito del proyecto.
7. Montaje del sistema de evaluación y seguimiento. De acuerdo con los objetivos de la restauración y los recursos disponibles, se deben definir las variables e indicadores a utilizar para valorar el éxito o fracaso del proyecto. El sistema de evaluación y seguimiento debe ser implementado desde el mismo momento en que sean establecidas las prácticas de restauración.
8. Participación comunitaria. Para asegurar el éxito del proyecto de restauración ecológica se debe involucrar a la comunidad en todo el proceso, es decir, desde el diagnóstico hasta la fase de seguimiento y evaluación. Si no se da la apropiación por parte de la comunidad se habrán desperdiciado todos los recursos y perdido los propósitos de la restauración (sería como tirar dinero a la caneca de la basura).

El montaje de experimentos en el marco de la restauración ecológica. Aunque no es exactamente un paso, a seguir, en el montaje de las prácticas o experiencias de restauración, su realización es muy clave ya que los resultados obtenidos pueden ser replicados o tenidos en cuenta en áreas que presenten las mismas problemáticas. Como cada tipo de área disturbada, en proceso o no de restablecimiento, es un escenario óptimo para validar hipótesis sobre restauración ecológica, sucesiones y ensamblaje de comunidades, y permiten responder preguntas de investigación; deben ser aprovechados en la medida de lo posible para el montaje de experimentos. Cada proyecto de investigación cuenta también con unos pasos, como se enumeran a continuación:

- a) Definición del problema de investigación. El éxito de todo proyecto de investigación radica en la claridad con que se plantea y defina el problema de investigación. Para ello el investigador cuenta con dos herramientas fundamentales la información secundaria y las visitas de campo.
- b) La pregunta o preguntas de investigación. Surgen del entendimiento del problema y pueden tener diversos niveles jerárquicos (poblaciones, comunidades, ecosistemas o paisajes) y escalas (tiempo y espacio) de abordaje.
- c) Las hipótesis de investigación. Son planteadas con base en la pregunta de investigación y son suposiciones sobre los eventos, los procesos o las interacciones a ocurrir en el sistema manipulado.
- d) Los objetivos del experimento. Deben ser claros y deben apuntar a responder la pregunta o preguntas de investigación.
- e) El método o métodos, cronograma y costos. Deben ser acordes a cada objetivo específico del proyecto.

Los resultados obtenidos de las investigaciones posibilitarán a los técnicos de la restauración no cometer errores o minimizarlos a la hora de desarrollar experiencias o montajes. Es decir, se pueden aprovechar los mejores resultados de los tratamientos considerados en el experimento para su aplicación en extenso en las áreas disturbadas. Permiten además, fortalecer el desarrollo conceptual y metodológico en el campo de la restauración ecológica.

Seguimiento y evaluación de los proyectos de restauración Ecológica

El éxito del proyecto de restauración ecológica para los casos de la restauración propiamente dicha y rehabilitación será logro cuando el sistema en restauración pueda sostenerse sin ningún tipo de subsidio. Si los logros no son los esperados se debe pensar en un manejo adaptable que garantice que la restauración vaya por la trayectoria esperada (NRC 2004; NAS 2004a), este manejo permite hacer los ajustes necesarios para redireccionar el proyecto y obtener finalmente los resultados esperados. A continuación se presentan algunas variables que pueden ser útiles para el programa de seguimiento y evaluación del área en restauración.

- a. Compartimento de la vegetación: riqueza de especies, cobertura, abundancia, estado sucesional, atributos vitales de las especies, número y estado de los grupos funcionales.
- b. Compartimento de la fauna: riqueza de especies, abundancia, tipos de interacciones, atributos vitales de las especies, número y estado de los grupos funcionales, la estructura de las poblaciones (estados maduros, inmaduros, hembras, machos) y distribución.
- c. Compartimento del suelo: es importante considerar tanto el componente

biótico como abiótico. En el componente biótico variables como riqueza, la abundancia, distribución, número y estado de grupos funcionales. En el caso de los componentes abióticos es clave tener en cuenta los nutrientes básicos (NPK), CO, elementos menores (Mn, Mg, Fe, Ca, Na) y la relación C/N. La escogencia de las variables dependerá de los propósitos de la restauración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Pontificia Universidad Javeriana por permitir los tiempos para la escritura del presente artículo, en especial a las doctoras Ángela Umaña Decana Académica de la Facultad de Ciencias e Ingrid Schuler, directora del Departamento de Biología. A la bióloga Sandra Constantino por la traducción del resumen. Por último, agradecemos a los compañeros de la Unidad de Ecología y Sistemática en especial al profesor Julio Mario Hoyos por las motivaciones constantes para la escritura del presente artículo.

LITERATURA CITADA

- BAKER, W.L. 1992b. The landscape ecology of large disturbance in the design and management of nature reserves. *Landscape Ecology*, 7: 181-194.
- BARRERA, J.I. & RÍOS, H.F. 2002. *Acercamiento a la ecología de la restauración*. Pérez - Arbelaezia. No. 13: 33-46.
- BEEBY, A. 1993. *Applying ecology*. First edition. Chapman & Hall., London, Great Britain. 440 pp.
- BELL, S.S.; FONSECA, M.S. & MOTTEN L.B. 1997. Linking restoration and landscape ecology. *Restoration Ecology*, 5 (4): 318-323.
- BENDER, E.A.; CASE, T.J. & GILPIN M.E. 1984. Perturbation experiments in community ecology: Theory and practice. *Ecology*, 65: 1-13.
- BORNETTE, G. & AMOROS, C. 1996. Disturbance regimes and vegetation dynamics: role of floods in reverine wetlands. *Journal of Vegetation Science*, 7: 615-622.
- BRADSHAW, A.D. 1993. Restoration ecology as a science. *Restoration Ecology*, 1 (2): 71-73.
- BROWN, S. & LUGO A.E. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology*, 2 (2): 97-111.
- CAIRNS Jr. J. 1993. Is restoration ecology practical? *Restoration Ecology*, 1 (1): 3-7.
- CHAPMAN, J.L. & REISS, M.J.R. 2001. *Ecology principles and applications*. Cambridge University Press. U. K. 327 pp.
- CLEWEL, A.F. 1993. Ecology, restoration ecology and ecological restoration. *Restoration Ecology*, 1 (3): 141.
- CLEWEL, A.F. & RIEGER, J.P. 1997. What practitioners need from restoration ecologist? *Restoration Ecology*, 5 (4): 350-354.
- DENSLow, J.S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 431-451.
- EHRENFELD, J.G.; TOTH, L.A. 1997. Restoration ecology and the ecosystem per-

- spective. *Restoration Ecology*, 5 (4): 307-317.
- EHRENFELD, J.G. 2000. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8 (1) 2-9.
- FARNWORTH, E.G. & GOLLEY, F.B. 1977. *Ecosistemas frágiles*. Primera edición. México. Fondo de Cultura Económica, 381 pp.
- FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. 1986. *Landscape Ecology*, John Wiley, New York. 619 pp.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscape and regions*. Cambridge University Press. UK. 605 pp.
- GRIME, J.P. 1979. *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester. 222 pp.
- GRIME, J.P. 1989. The stress debate: symptom of impending synthesis? en Calow, P. and Berry, R.J. (eds.). *Evolution, ecology and environmental stress*. Academic Press, London, 3-17.
- Guhl, E. 1980. Efectos geocológicos en la dinámica de la vegetación antropogénica en los páramos y sus consecuencias biogeográficas en los Andes Ecuatoriales. *Revista Ecológica*. Bogotá 1: 40-45.
- HENDERSON, A.; CHURCHIL, S. & LUTEYN, J. 1991. Neotropical plant diversity. *Nature* 531: 21-22.
- HERNÁNDEZ-CAMACHO, J. 1984. Vistazo general sobre la protección de la naturaleza en Colombia. INDERENA. Bogotá. Mimeografiado, 75 pp.
- HOBBS, R.J. 2002. The ecological context: a landscape perspective, en PERROW, M.R. and DAVY, A.J. (eds.). *Handbook of ecological restoration: restoration in practice*. Cambridge University Press, 24-45.
- HOBBS, R.J. & NORTON, D.A. 1996. Towards a conceptual framework for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 4; 2: 93-110.
- LUGO A. & MORRIS G.L. 1982. *Los sistemas ecológicos y la humanidad*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Serie Biología. Monografía No. 23, 77 pp.
- MARKS, P.L. 1974. The role of pin cherry (*Prunus pensylvanica* L.) in the maintenance of stability in northern hardwood ecosystems. *Ecological Monographs* 44: 73-89.
- MONASTERIO, M.; SARMIENTO G. & SOLBRIG, O. 1984. Comparative studies on tropical mountain ecosystems. Biology International. International Union of biological Sciences. Barcelona, España, 23.
- MOONEY, H.A. & GODRON, M. 1983. *Disturbance and ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin and New York, 292 pp.
- NAS (National of Academic of Science). 2004a. Adaptive Monitoring and Assessment for the Comprehensive Everglades Restoration Plan. National Academic Press. 122 pp.
- National Research Council. 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy. Washington, D. C. National Academic Press.
- NRC (National Research Council). 2004. Adaptive management for water resources project planning. Panel on

- adaptive management for resource stewardship, committee to assess the U. S. Army Corps of Engineers Methods of Analysis and Peer Review for Water Resources Project Planning. 138 págs.
- ODUM, E.P. 1971. *Fundamentals of ecology*. Third edition. Saunders, Philadelphia.
- PERROW, M.R. & DAVY, A.J. 2002. *Handbook of ecological Restoration*, vol. 1. *Principles of Restoration*. Cambridge University Press. 433 pp.
- PICKETT, S.T.A. & WHITE, P.S. 1985. *The ecology of natural disturbance and pathways of succession*. Academic Press Inc. 472 pp.
- RAPPORT, D.J. & WHITFORD, W.G. 1999. How ecosystems respond to stress. *Bio-Science*, 49 (3): 193-203.
- RUNKLE, J.R. 1989. Synchrony of regeneration, gaps and latitudinal differences in tree species diversity. *Ecology* 70: 546-547.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- SOUSA, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.
- STILING, P.D. 1996. *Ecology: theories and applications*. Prentice Hall. New Jersey, USA. 517 pp.
- TEMPERTON, V.M.; HOBBS, R.J.; NUTTLE, T. & HALLE, S. 2004. *Assembly Rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*. Society for Ecological Restoration International. Island Press. USA. 429 pp.
- TERRADAS, J. 2001. *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de las comunidades y paisaje*. Barcelona, Ediciones Omega. 703 pp.
- TILMAN, D. 1985. The resource ratio hypothesis of succession. *American Naturalist* 125: 827-852.
- TURNER, G.M.; BAKER, W.L.; PETERSON, C.J. & PEET, R.K. 1998. Factors Influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems*, 1: 511-523.
- VAN ANDEL, J. & VAN DEN VERGH, J.P. 1987. Disturbance of grasslands. Outline of the theme, in *Disturbance in Grasslands, Causes, Effects and Processes* (eds. J. VAN ANDEL, J. P. BAKKER and R.W. SNAYDON), *Geobotany* 10, Junk, Dordrecht, 3-13.
- VAN DER HAMMEN, T. 1979. Historia y tolerancia de ecosistemas parameros. En M.L. SALGADO-LABOURIAU (editor). *El medio ambiente páramo*. Actas del seminario de Mérida, 55-66.
- WHITE P.S. & PICKETT, S.T.A. 1985. Natural disturbance and path dynamics: an introduction. En: S.T.A. PICKETT and WHITE, P.S. (eds.). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Orlando, 3-13.
- WHITE, P.S. & JENTSCH, A. 2001. The Search for Generality in Studies of Disturbance and Ecosystems Dynamics. *Progress in Botany*, 62: 399-450.

Recibido: 30-11-2006

Aprobado: 15-05-2007