



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**PLAN ESTRATÉGICO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA EL CENTRO
AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, COSTA RICA.**



Por:

Lic. Carla Janeth Ramírez Amador

Para obtener el grado de:

Maestría en Restauración Ecológica

Junio, 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**PLAN ESTRATÉGICO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA PARA EL
CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y
ENSEÑANZA, COSTA RICA.**

Por:

Lic. Carla Janeth Ramírez Amador

Para obtener el grado de:

Maestría en Restauración Ecológica

Director Interno
**Dr. Eduardo Alanís
Rodríguez**

Director Externo
**M. Sc. Christian Herrera
Martínez**

Junio, 2020

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	1
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
ANTECEDENTES	3
ENFOQUE CONCEPTUAL	4
Generadores de cambio	4
Resiliencia vs. degradación	5
Restauración ecológica	7
Restauración activa y pasiva	7
Monitoreo y manejo adaptativo en los procesos de restauración ecológica	10
Evaluación de oportunidades de restauración	10
GUÍA METODOLÓGICA PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN BOSQUES HÚMEDOS TROPICALES	13
Fase diagnóstica	14
Fase de ejecución	17
Fase de monitoreo	18
PLAN DE ACCIÓN	22
Objetivo General	22
Objetivos Específicos	22
ESTRUCTURA DEL PLAN DE ACCIÓN	22
BIBLIOGRAFÍA	23

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de uso de suelo del CATIE.	4
Figura 2. Resiliencia, puntos de inflexión y umbrales de ecosistemas.	6
Figura 3. Alternativas de restauración ecológica comparadas con la regeneración de ecosistemas. 8	
Figura 4. Ruta para aplicación de las herramientas de apoyo en la metodología ROAM	11
Figura 5. Secuencia y relación entre los 11 pasos fundamentales propuestos para los procesos de restauración ecológica en el CATIE.	13
Figura 6. Representación esquemática de las diferentes estrategias de restauración y su nivel proporcional de demandas de intervención y costos que aumentan gradualmente.	17
Figura 11. Esquema de desarrollo de un plan efectivo de restauración que involucre el monitoreo.	18
Figura 12. Esquema guía de monitoreo adaptativo.	21
Figura 13. Esquema guía para llevar a cabo las acciones a partir de los objetivos planteados.	22

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Servicios económicos y ecológicos que se derivan de los bosques secundarios restaurados.	9
Cuadro 2. Interpretación de escalas y niveles de organización.	15
Cuadro 3. Tipos de disturbios naturales y antrópicos.	15
Cuadro 4. Listado de indicadores para ecosistemas restaurados.	20

PRESENTACIÓN

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) con sede en Costa Rica, por su misión, realiza acciones para la gestión sostenible de la agricultura y la conservación de los recursos naturales a través de educación, investigación y proyección externa. Como organización internacional es clave para el desarrollo del bienestar humano sostenible e inclusivo de los países de América y el Caribe.

Trabajando en la línea de acuerdos internacionales que responden a la recuperación de los ecosistemas, se desarrolla el presente Plan de Restauración Ecológica para el CATIE, que pretende, a través de instrumentos utilizados en bosques húmedos tropicales, asistir a las zonas que han sido dañadas, degradadas o destruidas para mejorar su estructura, composición y función.

A partir de la priorización de zonas para la restauración ecológica dentro del CATIE, se pretende contar con un plan que permitirá tener una estrategia que sume a los proyectos de conservación de la institución. Así también, se enfocan esfuerzos en establecer un plan de monitoreo y manejo adaptativo para las zonas destinadas a restauración, tanto activa como pasiva, con el fin de alcanzar los objetivos y hacer medible dicha recuperación.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas dañados se restablecen con el tiempo, pero la recuperación natural puede no ser tan rápida en relación con las necesidades de los habitantes locales, tanto humanos como silvestres (Ferguson y Golicher 2013). La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) establece que la supervivencia de muchas especies, y el bienestar de mucha gente, dependen de nuestra capacidad de ayudar en la recuperación de los ecosistemas dañados, siendo este el reto de la implementación de la Restauración Ecológica (RE).

Costa Rica aún no cuenta con un plan nacional de restauración ecológica, sin embargo, se han desarrollado diferentes proyectos, con apoyo de financiación extranjera, que dan respuesta a la Iniciativa 20 x 20, así como, al Reto de Bonn. De manera regional, el CATIE es una institución ejemplar en las prácticas de conservación y manejo sustentable de los recursos naturales, tiene incidencia de manera local, nacional y a nivel de América Latina.

Los tipos de uso de suelo de la superficie total del campus son áreas de conservación de bosque, fincas de producción de café, caña y cacao (en su mayoría), potreros, agricultura, agroforestería, colecciones arbóreas, áreas destinadas a ensayos, infraestructura, zonas de reforestación y otras que están sin uso. A finales del año 2019, se realizó un recorrido en las diferentes zonas de la finca del CATIE, donde se identificaron algunas áreas que ya no tienen un uso definido, anteriormente fueron plantaciones que, ahora, están en abandono.

En este documento se presentan las bases teóricas establecidas por organizaciones internacionales, la comunidad científica y académica, acerca de la degradación, recuperación y manejo de los

ecosistemas. Posteriormente, se presenta una guía metodológica para la evaluación, ejecución y monitoreo de proyectos de restauración ecológica para bosques tropicales. Guía desarrollada a partir de trabajo de consulta, que establece una ruta para la proyección de los procesos de restauración ecológica dentro del centro de investigación. Dadas las implicaciones ecológicas y temporales en los proyectos de RE, no es posible desarrollar dichos procesos si no se incluye desde su planteamiento y en su presupuesto, un programa de monitoreo (Aguilar-Garavito et al. 2015).

Se presenta, por último, la propuesta de un plan de acción, que responda al objetivo posicionar a CATIE como una institución ejemplar en la aplicación y evaluación de prácticas de Restauración Ecológica.

JUSTIFICACIÓN

Múltiples formas de degradación de los ecosistemas han marcado un impacto severo a nivel mundial. Según la evaluación más reciente de recursos forestales de la FAO (2020) África tuvo la mayor tasa anual de pérdida neta de bosques en el período 2010-2020, con 3,9 millones de hectáreas, seguida por América del Sur, con 2,6 millones de hectáreas.

Diferentes iniciativas a nivel mundial han surgido para revertir la dinámica de degradación tanto a nivel global como regional. Por ejemplo, en el 2010 fue aprobada la Meta de Aichi en la conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, establece un conjunto de 20 metas agrupadas en cinco objetivos estratégicos, que deberían alcanzarse en 2020. Otra iniciativa es El Desafío de Bonn, el cual es un esfuerzo global para traer 150 millones de hectáreas de tierras deforestadas y degradadas a la restauración para 2020 y 350 millones de hectáreas para 2030 (UICN, 2017).

Un acuerdo que compete a Latinoamérica es la Iniciativa 20 x 20, respaldada por más de 40 organizaciones e instituciones técnicas, dirige su esfuerzo a cambiar la dinámica de degradación de la tierra en América latina y el Caribe, esto mediante la restauración de 20 millones de hectáreas en el año 2020 (WRI, 2014). Sin embargo, en los avances y omisiones de estos acuerdos internacionales para Latinoamérica, analizados por Méndez, Martínez, Ceccon y Guariguiata (2017), son pocos países los que cuentan con un plan de restauración que les permita lograr las metas propuestas. Se hace énfasis en que solo cuatro países de los 13 que se comprometieron con el reto de Bonn o la Iniciativa 20 x 20 cuentan con un plan nacional de restauración: Brasil, Colombia, Ecuador y Guatemala.

En cuanto a Costa Rica, Barrientos y Monge (2010), recalcan que se ha desarrollado más la reforestación que la restauración ecológica en el país. Hace referencia a la meseta central, en la cual se arborizaron lugares como La Sabana, el Parque del este, el Monte de la cruz, entre otros, con especies introducidas como eucaliptos (*Eucalyptus spp*), cipreses (*Cupressus lusitanica*) y jacarandas (*Jacaranda mimosifolia*). Menciona que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) contempla dentro de sus procesos la protección y restauración de la cuenca del Río Virilla, el cual atraviesa la Meseta Central de este a oeste, sin embargo, no existe un plan de RE y las acciones se

limitan a sembrar algunas especies arbóreas nativas. Se puede decir que no existen proyectos serios de restauración en el país, ya que la sustitución de especies introducidas por nativas no garantiza la recuperación de la funcionalidad del ecosistema.

Como parte de la Iniciativa a la Protección Climática Internacional (IKI) el Ministerio Federal de Medio Ambiente Protección de la Naturaleza Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB), de la República Federal de Alemania, en 2010 estableció el diálogo para realizar trabajos conjuntos con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). Para ello el gobierno alemán actuó por medio de la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) e inició en 2014 el Programa Gestión del Paisaje y de los Recursos para Aumentar las Reservas de Carbono en Centroamérica, conocido como REDD+ Landscape/CCAD-GIZ, el cual cuenta con proyectos piloto en Guatemala, El Salvador y Costa Rica (Pancel 2016). En Costa Rica el proyecto piloto fue establecido en el cantón de Puriscal, en donde la GIZ, ente solicitante de este trabajo es quien aporta el financiamiento y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) es el ente ejecutor del proyecto.

De manera institucional el CATIE está desarrollando instrumentos que permitirán ejecutar objetivos internos, y a su vez, darán cumplimiento a metas regionales y nacionales. Como ejemplo, el Plan de Manejo Reserva CATIE 2020 – 2025 que propone dos objetos de conservación: el bosque ribereño de espavel y ramón (adyacentes y a lo largo del Río Reventazón), y los mamíferos medianos. Este plan surge con el objetivo de recuperar funciones del ecosistema de zonas degradadas dentro de la finca del CATIE, que permita a los tomadores de decisiones y a los técnicos, evaluar disturbios y actuar concretamente en pro de la regeneración.

ANTECEDENTES

Con una extensión de 1,000 hectáreas aproximadamente, ubicado en el centro-este de Costa Rica, en el cantón de Turrialba, el CATIE se encuentra en una zona de vida de bosque húmedo tropical a 650 m snm, con una temperatura que oscila entre los 22 y 28 °C y una precipitación media anual de aproximadamente 2,635 mm. La lluvia es un actor presente todo el año, pero la precipitación menor es durante los meses de febrero y marzo. El tipo de uso de suelo está dividido en áreas de conservación de bosque, fincas de producción de café, caña y cacao (en su mayoría), potreros, agricultura, agroforestería, colecciones arbóreas, áreas destinadas a ensayos, infraestructura, zonas de reforestación y otras que están sin uso, como se muestra en el mapa (Figura 1). La delimitación de estas zonas, sucede de acuerdo a la disponibilidad de cada departamento para su manejo y mantenimiento.

El Jardín Botánico del CATIE, cuenta con fincas destinadas a la conservación y trabajo científico en mejoramiento genético y seguridad alimentaria. Colindante a esta zona, se identificaron, por parte del equipo técnico y administrativo, algunas zonas que se encuentran en estado de abandono y con potencial para aplicar procesos de RE.

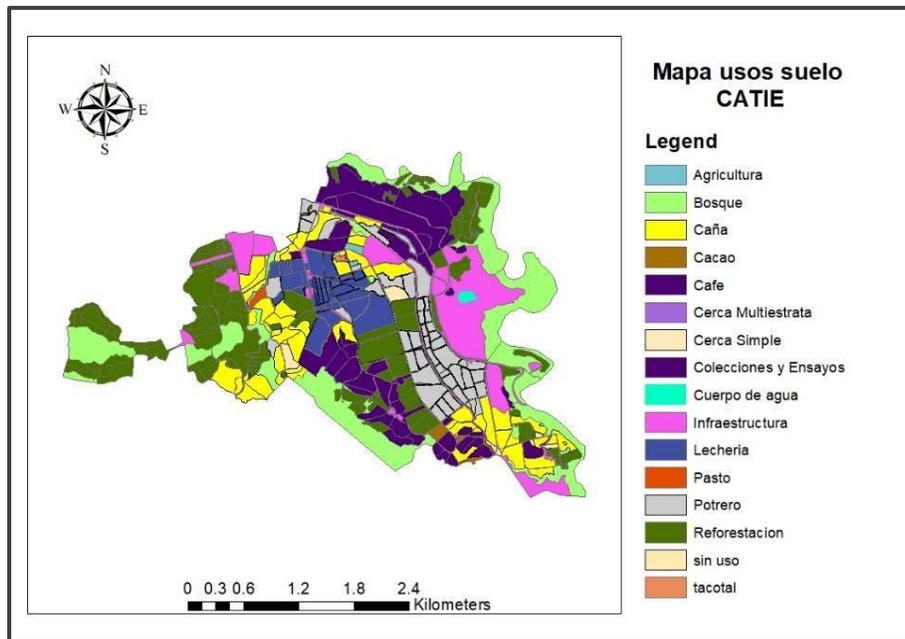


Figura 1. Mapa de uso de suelo del CATIE.

Dentro del CATIE existe un mosaico de condiciones, entre ellas plantaciones experimentales activas y abandonadas. Existen plantaciones abandonadas de cacao (*Theobroma cacao*), pejibaye (*Bactris gasipaes*) y caimito (*Chrysophyllum cainito*). En el caso específico de la plantación de cacao, fue invadida por un hongo hemibiotrófico conocido como monilia, por las condiciones de alta humedad y temperatura, el hongo penetra en el fruto ocasionando daños internos, este es un ejemplo de zona en abandono que no ha sido intervenida en aproximadamente 20 años. Las otras dos zonas han sido destinadas para regeneración natural, sin embargo, no existen proyectos fijos para medir la efectividad de la regeneración natural en estas zonas.

Por parte de personal administrativo del campus, se identifica el abandono de estas áreas por baja productividad, pero en su mayoría, falta de financiación para un adecuado mantenimiento. Algunos de los disturbios identificados en la zona del CATIE son: erosión, uso de agroquímicos (para manejar malezas), intensificación agrícola, cacería en zonas donde no hay vigilancia, tránsito de vehículos, altas precipitaciones en poco tiempo que provocan inundaciones y licuefacción de suelos (por carga o deslizamiento de taludes).

ENFOQUE CONCEPTUAL

Generadores de cambio

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) define como “generadores de cambio” a las perturbaciones naturales y antrópicas que afectan la estructura y la función de los ecosistemas generando áreas disturbadas. Estos generadores pocas veces operan de manera independiente, es más común que ocurran en sinergia. Los principales generadores de cambio son:

- a) *Transformación del hábitat (cambio de uso de suelo)*: afecta todos los componentes climáticos del ecosistema; composición, estructura y función de la biota y el suelo; cambios en la dinámica hídrica, flujo y lixiviación de nutrientes, además de pérdida de materia orgánica que conducen a la disminución de la capacidad regenerativa natural del ecosistema. Se consideran los disturbios antrópicos ocasionados por los sistemas productivos agrícolas, pecuarios, pesqueros y agroindustriales; la deforestación por cultivos ilícitos, extracción de madera, la extracción de materiales a cielo abierto y minería en general, la expansión urbana originada por el desarrollo de obras e infraestructura de gran impacto y el incremento de la densidad poblacional, los incendios forestales y quemas.
- b) *Invasiones biológicas*: reconocidas como la segunda causa global de pérdida de biodiversidad, van desde eliminar poblaciones nativas hasta alterar funciones de los ecosistemas como el ciclo de nutrientes. En los procesos de restauración ecológica es posible identificar qué especies pueden ser introducidas y manejadas adecuadamente, sin embargo, se recomienda el uso de especies nativas que apoyen en la recuperación de las funciones del ecosistema.
- c) *Sobreexplotación de recursos naturales*: se refiere al uso indiscriminado de gran cantidad de individuos que hacen inviables las poblaciones de flora y fauna, la EM identifica a la pesca como el principal escenario de sobreexplotación.
- d) *Contaminación*: el crecimiento poblacional y económico se están dando de manera acelerada, esto afecta directamente al índice de contaminación del suelo, agua y aire. Dentro de los principales contaminantes se encuentran el derrame de hidrocarburos, las fumigaciones y aspersiones de productos para erradicación de cultivos ilícitos, los vertimientos municipales e industriales orgánicos, los detergentes y fertilizantes agrícolas, los residuos industriales, y los vertimientos humanos producidos por la actividad doméstica.
- e) *Cambio climático*: este factor ha sido analizado como una causa adicional de pérdida de biodiversidad, es más bien, un acelerador del resto de generadores. Los sistemas naturales y humanos funcionan de manera acoplada a las fluctuaciones climáticas que se dan en diferentes ciclos, diarios, anuales, etc. Estos cambios provocan la alteración en los sistemas ecológicos, que deben responder, reorganizarse y adaptarse en estas nuevas condiciones.

Resiliencia vs. degradación

La degradación se relaciona con cambios graduales o sutiles que reducen la integridad y la salud ecológica (SER, 2004). La pérdida de especies y de diversidad genética disminuye la capacidad de resiliencia de los ecosistemas, que es el nivel de perturbación que puede tolerar un ecosistema sin atravesar el umbral hacia una estructura o funcionamiento diferente. Este concepto puede definirse como la capacidad que tiene un bosque o un sistema, de recuperarse tras una perturbación (Thompson 2012). Según esto, si la perturbación es muy fuerte puede llegar a darse un cambio de

estado en el ecosistema; dicho cambio podría generar una pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos relacionados (Sierra, 2018).



Figura 2. Resiliencia, puntos de inflexión y umbrales de ecosistemas. Tomado de Thompson (2012).

Bajo este escenario, el sistema puede llegar a un punto de inflexión o umbral ecológico en donde pierde su capacidad de recuperación y se modifica la estructura y composición del ecosistema original (Figura 2). Este proceso da como resultado una reducción de los bienes y servicios provenientes de los sistemas naturales (Thompson 2012).

Según Thompson (2012), se han elaborado once principios con el fin de mantener e intensificar la resiliencia forestal (dentro de procesos de restauración ecológica), evitar degradación a largo plazo y con ello también favorecer la adaptación al cambio climático. Éstos son:

1. Elaborar planes de aprovechamiento que permitan mantener la biodiversidad; deben basarse en principios ecológicos y conocimiento de expertos.
2. Mantener la diversidad genética.
3. No reducir las poblaciones de ninguna de las especies arbóreas que conforman el paisaje.
4. Mantener la complejidad estructural del paisaje utilizando bosques naturales como referencia, al aplicar métodos silvícolas adecuados a los principales tipos de perturbación natural.
5. Mantener la conectividad, reduciendo la fragmentación, recuperando bosques y expandiendo las áreas protegidas.
6. Mantener la diversidad funcional.
7. Disminuir competencia no natural, mediante el control de especies invasoras.
8. Asignar áreas de regeneración asistida con especies cuyas características sean similares a las condiciones deseadas en un futuro (por ejemplo, en aquellas zonas climáticas que según pronósticos de clima puedan convertirse en zonas más secas, sería conveniente sembrar especies con mayor resistencia a la sequía).

9. Proteger las poblaciones de especies aisladas, ya que podrían constituir posibles hábitats futuros capaces de responder al cambio climático.
10. Asegurar que existan redes nacionales y regionales de áreas protegidas, que, respaldadas científicamente, puedan llegar a lograr conectividad a nivel de paisaje.
11. Elaborar un plan de seguimiento que proporcione datos sobre perturbaciones naturales, condiciones climáticas, consecuencias de intervenciones silvícolas y ordenación forestal posterior a la explotación, así como adaptar planes futuros y prácticas de aplicación según sea necesario.

Restauración ecológica

La sucesión ecológica, es considerada como el marco conceptual en el cual se basa la RE. Consiste básicamente en cambios cronológicos en aspectos como la composición, estructura y función de la vegetación, en un espacio y tiempo determinado (Martínez Romero 1996; Almazán-Núñez et al. 2012).

La RE se define como el proceso intencional de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SERI, 2004). La restauración trata de retornar un ecosistema a su trayectoria histórica. Por lo tanto, las condiciones históricas son el punto de partida ideal para diseñar la restauración (SER, 2004). La meta final del proceso no es recuperar integralmente el estado anterior al disturbio, pero si garantizar que las funciones y los procesos ecológicos sean similares al ecosistema original a través del tiempo (SERI, 2004).

Este proceso tiene por objeto recuperar la funcionalidad ecológica en ecosistemas degradados a través de diferentes acciones y prácticas como: silvicultura, agrosilvicultura, plantaciones de árboles, reemplazo de especies, reforestación, o el incremento de la cubierta forestal de manera natural a través de la sucesión; bajo metas como por ejemplo aumentar la capacidad de secuestro de carbono atmosférico global, mediante la modificación de prácticas de gestión forestal (Montagnini 2004; Salazar et al. 2011)

Dependiendo de sus objetivos, la restauración también puede incluir la recuperación de hábitat para la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos, que, en el caso del bosque húmedo, corresponden a la protección del suelo contra erosión, conservación de la fertilidad e influencia sobre el balance hídrico entre otros (Chazdon 2008; Celentano et al. 2011; Reyes-Cordero 2012).

Restauración activa y pasiva

Existen diferentes métodos de restauración ecológica y la selección del más apropiado depende de los objetivos, los resultados deseados, el presupuesto disponible, el entorno sociocultural y el marco político, del estado inicial de la degradación de bosques y suelos, así como de la vegetación remanente, entre otros (Chazdon 2008; Celentano et al. 2011).

Para recuperar ambientes degradados, se pueden utilizar tres técnicas (Bradshaw 1983): 1) la restauración, con el fin de llegar a las condiciones originales del sitio, 2) la rehabilitación, donde se

incluyen algunas especies exóticas para superar la degradación y 3) la recuperación, donde se utilizan sólo especies exóticas.

Uno de los métodos más sencillos es la restauración pasiva (RP), la cual implica eliminar la fuente de disturbio y permitir la recuperación progresiva y natural del sistema en un periodo de tiempo prolongado (Celentano et al. 2011). Prach et al. (2007) sostienen que la sucesión natural, también es el método que resulta en una mayor diversidad estructural y funcional del ecosistema. No obstante, el abandono no siempre dará lugar al desarrollo sucesional deseado (Schrautzer et al. 2007). Muchos factores bióticos y abióticos afectan el restablecimiento del bosque en un área alterada. La ausencia de dispersores de semillas, la falta de nutrientes en los suelos y la competencia de plántulas con gramíneas agresivas son considerados obstáculos importantes (Figura 3) (Uhl et al. 1988, Nepstad et al. 1996, Holl 2002).

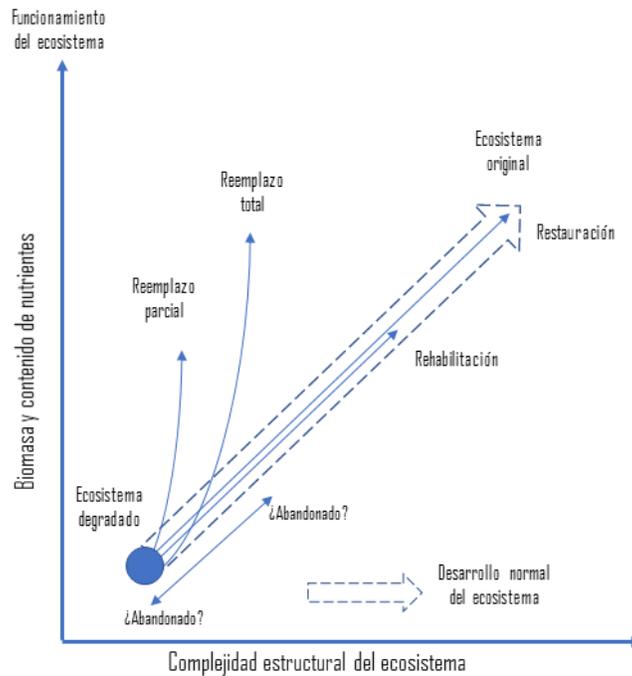


Figura 3. Alternativas de restauración ecológica comparadas con la regeneración de ecosistemas. Modificado de Bradshaw (1984), citado por Martínez Romero (1996).

Por ello, para realizar cualquier proceso se debe tener en cuenta el “éxito” de la restauración, que, de acuerdo con Martínez-Romero (1996), “es aquel capaz de acelerar un proceso sucesorio en un tiempo relativamente corto, comparado con otro evento en el que no se haya llevado a cabo manipulación”.

La restauración asistida y activa (RA), representa entonces una práctica en la cual hay intervención humana, que puede facilitar y acelerar la recuperación, rehabilitación o el restablecimiento de

procesos ecológicos como ciclos de nutrientes y secuestro de carbono y también favorecer la generación de servicios ecosistémicos de regulación, aprovisionamiento y culturales, entre otros (Cuadro 1), en un tiempo relativamente menor que el que tomaría el sistema para llegar a su estado original sin ningún tipo de alteración o disturbio provocado (Celentano et al. 2011).

Cuadro 1. Resume los principales servicios económicos y ecológicos que se pueden derivar de los bosques secundarios restaurados; razones por los cuales dichos procesos son importantes para el ser humano y la naturaleza. Tomado de Sierra (2018), modificado de Smith *et al.* (1997)

Importancia ecológica (para la producción y la conservación ambiental)	Importancia económica (como fuente de)
<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de la productividad del sitio (reservorio de materia orgánica y nutrientes en el suelo para fines de producción agrícola) • Reducción de poblaciones de malezas/pestes • Regulación de flujos de agua (beneficios hidrológicos) • Reducción de la erosión del suelo y protección contra el viento • Mantenimiento de la biodiversidad, especialmente cuando la intensidad de uso de la tierra es alta y mayor fragmentación de bosques (Ej.: refugio / hábitat para ciertas especies de fauna cinegética) • Acumulación de carbono (reservorio de carbono atmosférico) • Servir como ecosistema para el establecimiento de especies de plantas y animales que requieren de condiciones de bosque • Servir de reserva para áreas a ser usadas para agricultura y /o ganadería • Contribuir a reducir la presión sobre los bosques primarios residuales (zonas de amortiguamiento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Frutos comestibles • Plantas alimenticias o medicinales, estimulantes, alucinógenas, productoras de venenos, etc. • Materiales para construcción rural y cercas • Combustibles (leña y carbón) • Tecnología: materiales para teñir, para elaborar utensilios domésticos y de caza, para servir de adorno • Madera de valor • Madera para uso industrial (madera aserrada, traslapada, laminada, tableros de fibra y partículas) • Carne silvestre • Germoplasma de especies útiles para fines de domesticación • Ramoneo de animales y preparación de alimento para ganado • Transformación química de la biomasa (fabricación de pulpa y papel, plásticos y fibras celulósicas)

Cuadro 1. Servicios económicos y ecológicos que se derivan de los bosques secundarios restaurados.

Algunas de las estrategias que permiten llevar a cabo una RA exitosa, podrían ser las plantaciones de especies arbóreas -por ejemplo-, (que pueden suprimir gramíneas) y crear condiciones para establecer comunidades más diversas (Reay y Norton, 1999). Igualmente, otra estrategia es la de nucleación aplicada (islas de regeneración) (Reis et al.; Holly y Aide; Corbin y Holl citados por Ceccon y Martínez-Garza 2016).

La selección del método más apropiado depende del estado inicial de la degradación, los resultados deseados y del presupuesto disponible (Chazdon 2008); además del entorno sociocultural y el marco político. Esta decisión debe estar fundamentada en conocimiento ecológico sobre la resiliencia de los ecosistemas o capacidad de recuperación. Los aspectos que determinan esta capacidad son: la historia de uso del suelo que afecta las condiciones iniciales después del abandono (vegetación,

microambiente, banco de semillas, dispersión) y la calidad de la matriz del paisaje (disponibilidad de propágulos dispersados por viento y fauna (Ceccon y Martínez-Garza 2016).

Monitoreo y manejo adaptativo en los procesos de restauración ecológica

El monitoreo es la recolección sistemática y repetida de datos, observaciones y estudios sobre un área o fenómeno determinado con el fin de caracterizar el estado actual y documentar los cambios que ocurren a lo largo del tiempo. Es una herramienta que ayuda a analizar la información del ecosistema y permite verificar si los objetivos o metas en cada etapa del proyecto o del programa están siendo cumplidos o no y en qué medida (Aguilar-Garavito *et al.* 2015).

En toda evaluación de éxito de procesos de restauración se deben incluir al menos dos de los siguientes parámetros: diversidad (riqueza, abundancia de especies y grupos funcionales), estructura de la vegetación (densidad, área basal, altura) o procesos ecológicos (reciclaje de nutrientes, micorrizas, interacciones) (SERI 2004). De igual manera es importante tener una descripción, un punto de comparación antes de los procesos de restauración o varios sitios de referencia (Ceccon y Martínez-Garza 2016; Wortley *et al.* 2013).

En los procesos de restauración ecológica, con un sistema de monitoreo que brinde información oportuna y se dirija a la toma de decisiones; la asistencia continua y el manejo adaptativo son fundamentales (Aguilar-Garavito *et al.* 2015).

El concepto de manejo adaptativo se basa en la propuesta de Holling (1978), respecto a que las respuestas de los ecosistemas a las intervenciones humanas tienen un importante grado de incerteza. Por tanto, la base fundamental del manejo adaptativo es que las intervenciones del ser humano en la naturaleza deben ser experimentales y graduales.

Por ejemplo, en los ecosistemas terrestres lo que define muchos aspectos de la estructura, composición y función es la vegetación, además, es el componente por el cual se define la sucesión en la restauración ecológica. A partir de la vegetación se diseñan muchas de las estrategias para acelerar la sucesión natural (Block *et al.* 2001). Por lo tanto, los objetivos de monitoreo deberán tener relación en corto y mediano plazo con la evaluación y establecimiento de los cambios estructurales de la vegetación y a largo plazo en aspectos funcionales del ecosistema, que podrán significar más adelante el alcance de otros objetivos de restauración (Herrick *et al.* 2006).

Evaluación de oportunidades de restauración

Se debe considerar, en cualquier proyecto de restauración ecológica, una visión holística que involucre diferentes escalas espaciales, niveles de organización y diversas disciplinas dentro de un marco específico (Herrmann y Osinski, 1999).

La metodología para la evaluación de oportunidades de restauración (ROAM), desarrollada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2014), es una metodología dirigida a equipos técnicos que están participando en la restauración ecológica de los ecosistemas dentro de

un marco flexible y razonable para que se puedan identificar y analizar el potencial de restauración del paisaje forestal y ubicar áreas de oportunidad específicas.

Esta metodología implica, esencialmente, la aplicación por pasos y paulatina de una serie de análisis para identificar el mejor conjunto de oportunidades de restauración del paisaje forestal aplicables al área en cuestión. Se basa en tres fases i) preparación y planificación; ii) recolección y análisis de datos; y iii) resultados de las recomendaciones.

Chadzon y Guariguata (2018) describen las herramientas de apoyo en la elaboración de los primeros pasos del proceso de restauración con base en la metodología ROAM (Figura 4).

Dentro de los productos principales que se pueden generar, para efectos de este plan, se encuentran:

- Selección de los tipos de intervenciones de restauración más pertinentes y factibles para el área a evaluar.
- Áreas prioritarias identificadas para restauración.
- Cuantificación de los costos y beneficios de cada tipo de intervención.
- Análisis de las opciones de finanzas y recursos para la restauración en el área en cuestión.

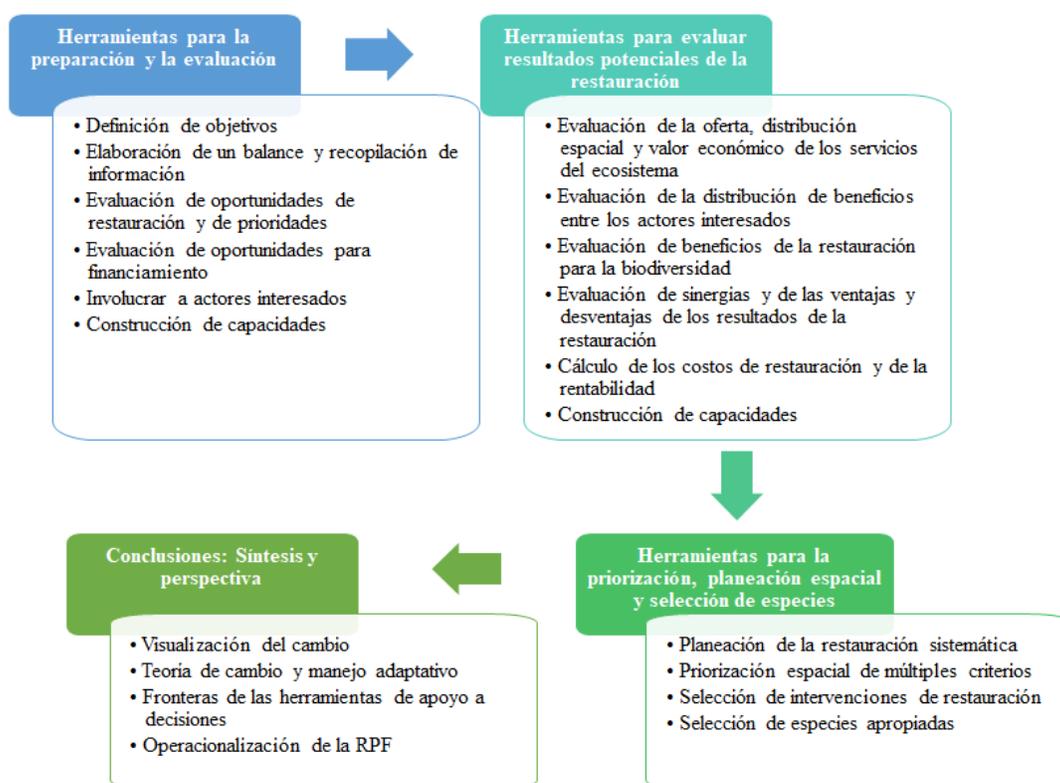


Figura 4. Ruta para aplicación de las herramientas de apoyo en la metodología ROAM elaborado por Chadzon y Guariguata (2018).

GUÍA METODOLÓGICA PARA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN BOSQUES HÚMEDOS TROPICALES

Por la particularidad intrínseca de cada sitio, existen recomendaciones generales basadas en las bases teóricas y conceptuales de la Restauración Ecológica y en las experiencias acumuladas en los intentos de restaurar diferentes ecosistemas en el mundo (Vargas, 2007).

Con base en la guía desarrollada por Vargas (2007), se presenta una serie de pasos fundamentales (Figura 4), adaptados para la implementación de proyectos de restauración en bosques húmedos tropicales.

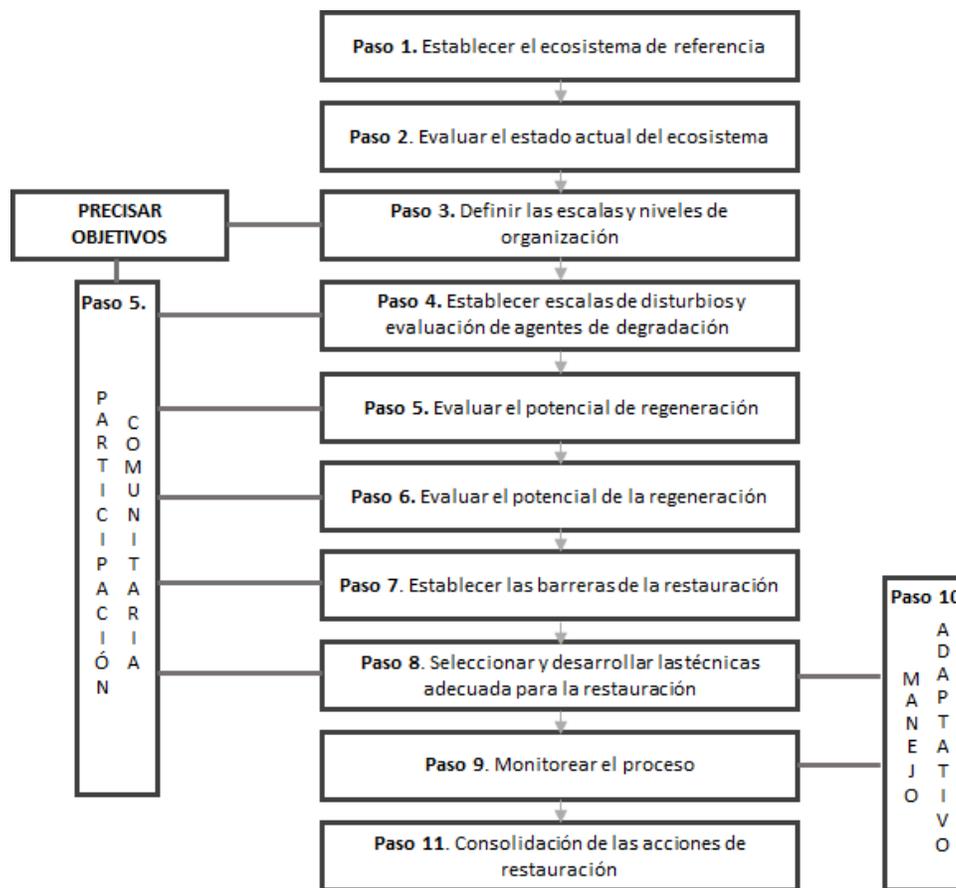


Figura 5. Secuencia y relación entre los 11 pasos fundamentales propuestos para los procesos de restauración ecológica en el CATIE.

Elaboración propia, adaptado de Vargas (2007)

Considerando las características que se presentan en el CATIE, y tomando en cuenta sus particularidades, se propone aplicar en las diferentes fases una serie de recursos tomados y adaptados de Vargas (2007), Porrás-Mora (2018) y Ceccon (2014).

Fase diagnóstica

1. Establecer ecosistema de referencia

- Descripciones ecológicas y listas de especies antes de la perturbación.
- Fotografías históricas y recientes, tanto aéreas como terrestres.
- Mapas del sitio del proyecto antes del daño.
- Historia de uso de la tierra y dinámicas sociales.
- Caracterización de áreas adyacentes e interpretación de la dinámica actual de la vegetación.

Se deberá indagar en documentación y archivos del departamento al que pertenezca el área en cuestión, involucrar a trabajadores, tanto administrativos como técnicos, relacionados con la zona. Si es posible, implementar encuestas semiestructuradas.

2. Evaluar los atributos del ecosistema

A) CONDICIONES DEL PAISAJE <ul style="list-style-type: none">• Relictos o parches del ecosistema original• Patrones y estructura: Número, tamaño, forma, conectividad.• Tipos de Matrices (potreros, cultivos, plantaciones)	B) CONDICIONES BIÓTICAS <ul style="list-style-type: none">• Tipos de comunidades: Composición de especies, dinámica de la vegetación, estratificación, estructura trófica.• Poblaciones de especies sucesionales tempranas y tardías.• Organismos: estado fisiológico, estrés, enfermedades.
C) CONDICIONES ABIÓTICAS <ul style="list-style-type: none">• Estado del suelo y el agua: Valoración físico-química, contaminación, erosión.• Hidrología y geomorfología: Flujo de agua superficial, hidrodinámica estacional, cambios en niveles freáticos, acumulación de sedimentos.	
D) PROCESOS ECOLÓGICOS <ul style="list-style-type: none">• Flujo de energía: Productividad Primaria.• Flujo de Materia: Ciclos de nutrientes.	E) RÉGIMEN NATURAL DE DISTURBIOS <ul style="list-style-type: none">• Frecuencia.• Intensidad.• Extensión.• Duración.

3. Definir escala y nivel de organización

A partir de este paso se van **precisando los objetivos** del proyecto de restauración y sus escalas. Se va definiendo el estado deseado dentro de las posibles trayectorias sucesionales del ecosistema (Vargas, 2007). En este momento es importante que inicien activamente su participación personal técnico, administrativo y residentes involucrados del CATIE para definir los objetivos.

De acuerdo con Porras-Mora (2018), en los procesos de restauración ecológica se definen diferentes objetivos o metas, consecuentemente la escala y nivel de organización varía (Cuadro 2). Dentro de la finca de CATIE se deberá establecer la escala y nivel a trabajar en cada proceso, sin embargo, se propone realizar proyectos de restauración a nivel ecosistémico.

ESCALA Y NIVEL	INTERPRETACIÓN
Escala local y nivel de especie	Pretende la recuperación de poblaciones de una especie en particular tratando de recrear su hábitat, por lo que su objetivo es específico y claro.
Escala local y nivel de comunidad	La restauración hace énfasis en el restablecimiento de la comunidad original, especialmente con fines de preservación de comunidades raras o en peligro de extinción, o la restauración de trayectorias sucesionales de especies pioneras
Escala regional o nivel ecosistémico	En este caso el objetivo de la restauración es la recuperación de algunas funciones del ecosistema, lo implica que lo que se debe retornar a su estado pre-disturbio son las condiciones ecológicas que garantizan la recuperación de la composición, estructura y función del ecosistema, integrando procesos a gran y pequeña escala. Es la escala más recomendada para establecer los objetivos de la restauración.
Escala de paisaje	Implica la búsqueda de la reintegración de ecosistemas fragmentados y paisajes más que el enfoque sobre un único ecosistema.

Cuadro 2. Interpretación de escalas y niveles de organización.

Elaborado por Porras-Mora (2018) tomado de Vargas (2011).

4. Establecer escalas de disturbios y evaluación de agentes de degradación

Los disturbios generan diferentes patrones en los paisajes y generan procesos ecosistémicos que deben ser explicados en términos de mecanismos. En la comprensión y manejo de ecosistemas se define la escala espacial de análisis como la unidad de manejo (p. e. cuenca) y la escala temporal incorpora disturbios que ocurren a diferentes escalas de tiempo (Vargas, 2007). Los disturbios son naturales o antrópicos (Cuadro 3).

Naturales	Antrópicos
<ul style="list-style-type: none"> • Erosión • Lluvias y vientos • Heladas • Disturbios producidos por animales • Fuego 	<ul style="list-style-type: none"> • Ganadería y agricultura • Explotación de minas • Construcción de obras civiles e infraestructura • Uso de especies (corte para leña) • Uso del suelo (siembra de especies forestales)

Cuadro 3. Tipos de disturbios naturales y antrópicos.

En los ecosistemas tropicales, los disturbios antrópicos generalmente son de mayor escala, intensidad y frecuencia que los disturbios naturales y, por ende, su recuperación puede ser más lenta e incierta (Uhl et al., 1990; Chazdon, 2008). Existen métodos que se utilizan son descritos por Cecon, 2014 en Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales

Al momento de evaluar zonas disturbadas **dentro de la finca del CATIE**, se propone desarrollar **índices multicriterio** a partir de las aproximaciones de los primeros tres métodos (evaluación de expertos e indicadores bióticos y de actividad humana), es de suma importancia resaltar el papel que desarrollan los expertos, tanto científicos como técnicos en la evaluación de la degradación, ya que existe un amplio conocimiento de la zona desde su origen científico y, a través de la experiencia, desde su conocimiento empírico.

5. Participación comunitaria

El nuevo paradigma de participación define como una buena decisión ambiental aquella que logra un medio ambiente sustentable en un proceso justo y participativo. Pimbert y Pretty (1995) consideran que la sostenibilidad ambiental consiste en actividades que no dañan, degradan o amenazan a largo plazo la viabilidad de los sistemas ecológicos. En este enfoque, las personas son vistas como una parte integral del ecosistema, por tanto, el bienestar de uno está ligado al bienestar del otro (Ceccon, 2014).

Al ser un centro de investigación, en el CATIE, la toma de decisiones es administrativa. Se propone contar con un departamento o comité especializado en los procesos de restauración. La comunidad de habitantes que se encuentran dentro del CATIE, aunque es una población rotativa, puede involucrarse en algunas de las fases de cada proyecto. Esto con la finalidad de generar conocimiento, documentación y apropiación en los procesos de restauración.

6. Evaluación del potencial de regeneración

Desde escalas regionales y locales, se debe evaluar:

- a. La oferta de mosaicos de vegetación o trayectorias sucesionales posibles (p. Ej. herbácea, arbustiva, arbórea) producto de diferentes disturbios.
- b. Los tipos sucesionales de especies vegetales que potencialmente se pueden utilizar en el proyecto de restauración.

En la etapa de evaluación del potencial de regeneración, en bosques tropicales, se debe obtener como línea base:

- ✓ Inventario forestal
- ✓ Colecta e identificación de material botánico
- ✓ Estructura vertical (estrato superior, estrato medio y estrato inferior)
- ✓ Estructura horizontal (frecuencia, abundancia y clases de frecuencia)

7. Establecer las barreras de la restauración

Es necesario definir hasta qué punto las condiciones actuales pueden garantizar la recuperación del ecosistema hacia una trayectoria sucesional posible, tomada como meta (Vargas, 2007).

Ceccon (2014) identifica los siguientes factores como las barreras más importantes para la regeneración en bosques tropicales:

- a. La falta de fuentes de semillas y dispersores.

- b. Las barreras bióticas (una puede ser la presencia de ciertas especies exóticas).
- c. La compactación del suelo.
- d. Incertidumbre en la direccionalidad.
- e. Dificultad en obtener bosques con alta diversidad de especies.
- f. Tiempo requerido (para alcanzar el estadio de bosque maduro).

Fase de ejecución

8. Seleccionar las técnicas adecuadas para la restauración

Conforme al grado de degradación local y del paisaje que se tenga, las estrategias de restauración pueden involucrar ya sea una mínima intervención —como en el caso de la regeneración natural o pasiva, donde la principal acción es proteger el área de las perturbaciones— hasta una máxima intervención, como en el caso de la implantación, que involucra los mayores costos (Figura 6).



Figura 6. Representación esquemática de las diferentes estrategias de restauración y su nivel proporcional de demandas de intervención y costos que aumentan gradualmente.
Elaborado por Ceccon, 2014

Estas técnicas son descritas por Ceccon, 2014 en Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales.

9. Monitorear el proceso

El monitoreo consiste en el seguimiento y evaluación continuos de los cambios que experimenta el ecosistema bajo los diferentes tratamientos de restauración aplicados. Con base en una serie de pasos simple, se tiene una guía sobre la relación del monitoreo con las etapas del proceso de restauración (Figura 11). Se resalta el monitoreo como proceso ayudante, paralelo e interactuante con la restauración del ecosistema.

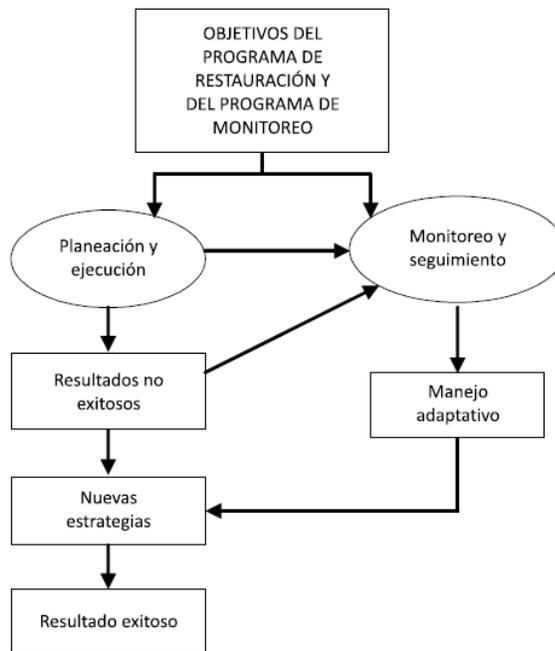


Figura 7. Esquema de desarrollo de un plan efectivo de restauración que involucre el monitoreo. Elaborado por Vargas (2007).

La SER propone criterios que caracterizan los ecosistemas restaurados (SER, 2004). Estos criterios representan aspectos generales del ecosistema, los cuales son ajustados mediante la selección de algunos indicadores clave para la evaluación de la restauración (Turnhout et al. 2007, Heink y Kowarik 2009). Se recomienda que los criterios incluyan características del ecosistema de referencia a nivel de biodiversidad, estructura, composición, función, procesos ecológicos (Ruiz-Jaen y Aide 2005) y aspectos estructurales y composicionales del suelo Aguilar-Garavito *et al.* (2015) propone algunos indicadores relacionados con los niveles de organización y sugerencias generales para la toma de datos en campo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Listado de indicadores que contemplan los niveles de organización de la biodiversidad y criterios de composición, estructura, función y socio económicos. Tomado de Aguilar-Garavito *et al.* 2015

Crterios (atributos ecosistémicos y de la biodiversidad)	Indicadores escala del paisaje	Indicadores para comunidades y ecosistemas	Indicadores para especies	
Funcionamiento	Regímenes de disturbios (tipo, área, origen, frecuencia, predictibilidad, intensidad, magnitud, etc.)	Disponibilidad hídrica y eficiencia en la interpretación y uso de las aguas pluviales	Procesos demográficos	
		Temperatura y humedad relativa sobre el suelo		
	Tasas de ciclado de nutrientes, flujo de Energía	Eficiencia en el uso de nutrientes (N y P)		
		Aporte de nutrientes: K, Ca, N, P, Mg		
		Desnitrificación		
		Captura de carbono		
		Capacidad de intercambio catiónico		
	Tasas de cambio de los elementos del paisaje	Micorrización		Fisiología
		Producción de hojarasca y de materia orgánica		
	Tasas de erosión	Contenido de materia orgánica y de nutrientes del sustrato		Historias de Vida
	Procesos geomorfológicos e hidrológicos	Herbivoría, parasitismo, depredación		Tasas de crecimiento
Tendencias de uso del paisaje	Productividad de biomasa y densidad de madera. Productividad primaria neta	Fenología		
	Tasas de colonización o extinción local	Tasa de adaptación		
	Dispersión de semillas y polinización			
	Recambio de especies y ensamble de poblaciones en el tiempo			
Composición	Identificación de tipos de elementos del paisaje	Riqueza, abundancia, frecuencia y diversidad de familias, géneros y especies y gremios	Riqueza y diversidad de especies	
	Distribución de elementos del paisaje	Proporción de especies endémicas, nativas exóticas y amenazadas	Riqueza de especies anuales frente a especies perennes	
		pH del suelo, densidad, fósforo total, nitrógeno, carbono orgánico, calcio, potasio, magnesio, cationes intercambiables de Ca, K y Mg Riqueza y abundancia de fauna edáfica		
	Patrones colectivos de distribución de especies	Curvas de dominancia y diversidad	Frecuencia y abundancia absoluta o relativa	
		Riqueza y viabilidad del banco de semillas	Sobrevivencia	
	Riqueza, abundancia y diversidad de plántulas de especies o grupos funcionales de interés			

		Diversidad local frente diversidad regional	Cobertura
		Proporción de formas de vida	Diversidad biológica edáfica
		Coefficientes de similaridad	Presencia de especies clave
Estructura	Heterogeneidad del paisaje	Biomasa epigea o hipogea Dispersión	Presencia de especies clave
	Conectividad y fragmentación	Espectro de biotipos	Dispersión
	Relación perímetro área	Número de individuos	Variabilidad morfológica
	Tamaño	DAP, cobertura, altura de la vegetación e Índices estructurales (IVI, IPF) o fitosociológicos	
	Configuración espacial y patrones de distribución del hábitat	Disponibilidad de recursos	
		Abundancia y distribución de poblaciones	
	Frecuencia y distribución de unidades de paisaje	Densidad de follaje	

Cuadro 4. Listado de indicadores para ecosistemas restaurados.

10. Manejo adaptativo

Es importante tener en cuenta que el éxito de un proceso de restauración ecológica puede verse como un continuo desde el éxito en el establecimiento de los tratamientos iniciales, hasta el éxito en la restauración ecológica del mismo, entendida como la recuperación de las características estructurales y funcionales del ecosistema que aseguran que sea capaz de mantenerse a sí mismo y que pueda recuperarse luego de disturbios naturales de intensidad leve o moderada; de esta manera, se asegura que el proceso de regeneración natural continúe sin asistencia humana (Vargas, 2014).

Con el monitoreo permanente se pretende evaluar la trayectoria del proceso de restauración, con relación a los criterios del ecosistema de referencia y ayudar en la selección de técnicas adaptativas para aseguren el éxito de las medidas de restauración ecológica adoptadas (Figura 12) (Díaz-Martín 2007).

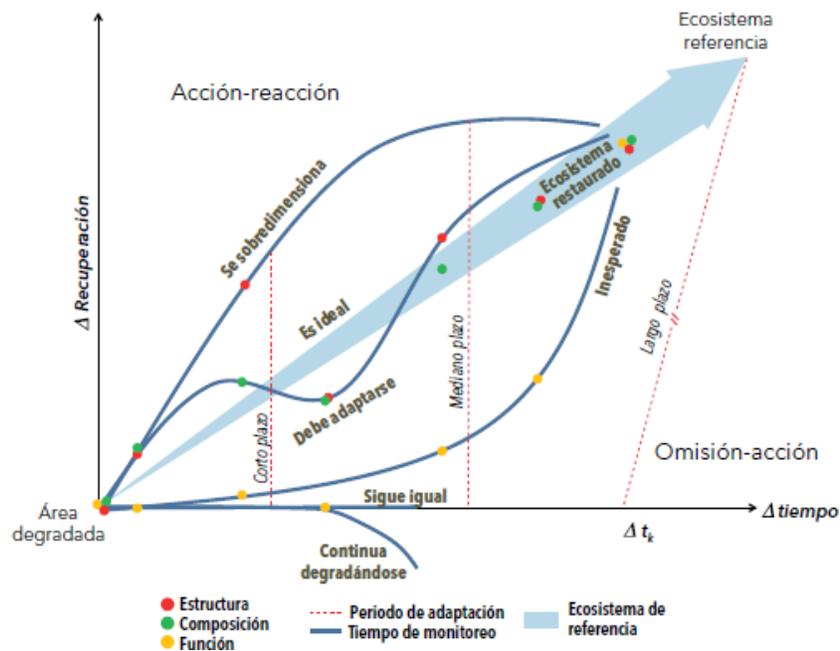


Figura 8. Esquema guía de monitoreo adaptativo. Desarrollado por Aguilar-Garavito et al. (2015).

11. Consolidación de proceso de restauración

Un proyecto de restauración se puede considerar exitoso cuando ha cumplido con los objetivos que se propuso. En la medida en que se pueden plantear objetivos de corto y largo plazo, el éxito puede verse como un continuo que va desde los tratamientos iniciales planteados para la superación de las barreras a la restauración, hasta la recuperación de la dinámica y los atributos funcionales del ecosistema, así como de su capacidad de resistencia, resiliencia y estabilidad, de modo que sea autosostenible (Vargas, 2007).

Vargas (2007) establece que la evaluación del éxito de la restauración puede realizarse usando tres estrategias diferentes:

- Comparación directa, en la que algunos parámetros son determinados tanto en el ecosistema de referencia como en el restaurado. El problema de esta aproximación es la definición de que tan parecidos han de ser los valores de los parámetros para que se considere al ecosistema como restaurado.
- Análisis de atributos, que consiste en la determinación de parámetros que permitan establecer si los criterios definidos han sido alcanzados.
- Análisis de trayectorias, en la cual se determina el comportamiento de diferentes parámetros en el tiempo para el ecosistema en restauración, con el fin de determinar si muestran una tendencia que conduzca a la consecución de los criterios establecidos.

PLAN DE ACCIÓN

Objetivo General

Encaminar y promover las acciones de recuperación de áreas deterioradas dentro del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), posicionándose como una institución ejemplar en la aplicación y evaluación de prácticas de Restauración Ecológica.

Objetivos Específicos

1. Conformar un comité específico para la gestión y administración de procesos de restauración ecológica.
2. Determinar áreas con prioridades para restauración ecológica dentro del CATIE.
3. Establecer lineamientos y protocolos para cada una de las zonas prioritarias, a partir de la guía metodológica para implementación de proyectos de restauración ecológica en bosques húmedos tropicales.
4. Desarrollar una estrategia de financiación para los proyectos de restauración ecológica del CATIE.

ESTRUCTURA DEL PLAN DE ACCIÓN



Figura 9. Esquema guía para llevar a cabo las acciones a partir de los objetivos planteados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Garavito, M., & Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Editorial Alexander von Humboldt.
- Almazán-Núñez, R; del Coro Arizmendi, C; Eguiarte, LE; Corcuera, P. 2012. Changes in composition, diversity and structure of woody plants in successional stages of tropical dry forest in southwest Mexico (en línea). *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(4):1096-1109.
- Barrientos Llosa, Z., & Monge-Nájera, J. (2016). Restauración ecológica en la meseta central de Costa Rica. *Biocenosis*, 23(2).
- Barrientos-Llosa, Z., & Monge-Nájera, J. (2010). Especies introducidas en la Meseta Central de Costa Rica. *Biocenosis.*, 23(2), 32-37.
- Block W. M., A. B. Franklin, J. P. Ward, J. L. Ganey y G. C. White. 2001. Design and Implementation of Monitoring Studies to Evaluate the Success of Ecological Restoration on Wildlife. *Restoration Ecology* 9 (3), 293-303.
- Bojórquez Tapia, L. A. , L. A. Brower, G. Castilleja, S. Sánchez-Colón, M. Hernández, W. Calvert, S. Díaz, P. Gómez Priego, G. Alcantar, E. D. Melgarejo, M. J. Solares, L. Gutiérrez y M. L. Juárez (2003), "Mapping Expert Knowledge: Redesigning the Monarch Butterfly Biosphere Reserve", *Conservation Biology*, 17: 367-379.
- Bradshaw AD. 1987. Restoration: an acid test for ecology. En: Jordan MG & JD Aber, eds. *Restoration Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 23-29.
- Campos, D. S. (2013). Contribución a la fase inicial de la planificación del desarrollo territorial del territorio clave Inder: Turrialba-Jiménez, Costa Rica.
- CDB (Convention on Biological Diversity). (2010). Strategic plan for biodiversity 2011 – 2020 and the Aichi targets.
- Ceccon, E. (2014). *Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Ceccon, E; Martínez-Garza, C. 2016. Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Universidad Autónoma del Estado de Morelos; Ciudad de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Celentano, D; Zahawi, RA; Finegan, B; Casanoves, F; Ostertag, R; Cole, RJ; Holl, KD. 2011. Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto de varios modelos en la producción, acumulación y descomposición de hojarasca *Revista de Biología Tropical*
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *science*, 320(5882), 1458-1460.
- Chazdon, R. L., & Guariguata, M. R. (2018). Herramientas de apoyo a decisiones para la restauración del paisaje forestal: Estado actual y futuro.
- Chazdon, RL. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands
- Díaz-Martín R. M. 2007. El monitoreo en la restauración ecológica en Vargas O. (ed.). 2007. Guía metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino. Grupo de Restauración

- Ecológica. Departamento de Biología–Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- FAO. 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma.
- Ferguson, BG; Golicher, DJ. 2013. Restauración ecológica a la chiapaneca. La Biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Vol. 1: 497-505
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015.
- García, D., & Zamora, R. (2003). Persistence, multiple demographic strategies and conservation in long-lived Mediterranean plants. *Journal of Vegetation Science*, 14(6), 921-926.
- Heink U. y I. Kowarik. 2009. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*. 10: 584-593.
- Herrick J. E., G. E. Schumanb y A. Rango. 2006. Monitoring ecological processes for restoration projects. *Journal of Nature Conservation* 14: 161-171.
- Herrmann, S., y Osinski, E. 1999. Planning sustainable land use in rural areas at different spatial levels using GIS and modelling tools. *Landscape and Urban Planning*. 46: 93-101.
- Holl, K.D. 2002. Tropical moist forest restoration, p. 539- 558. In M.R. Perrow & A.J. Davy (eds.). *Handbook of ecological restoration*. Cambridge, Cambridge, Inglaterra.
- Holling, C. S. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. John Wiley & Sons.
- Karr, J. R. (1999), "Defining and Measuring River Health", *Freshwater Biology*, 41 : 221-234
- Laestadius, L., Maginnis, S., Rietbergen-McCracken, J., Saint-Laurent, C., Shaw, D., & Verdone, M. (2014). Guía sobre la metodología de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM). Evaluación de las oportunidades de restauración del paisaje forestal a nivel nacional o subnacional.
- Martínez Romero, E. 1996. La restauración ecológica *Ciencias*(43):56-61.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Montagnini, F. 2004. Plantaciones forestales con especies nativas: una alternativa para la producción de madera y provisión de servicios ambientales
- Murrieta, E., Finegan, B., Delgado, D., Villalobos Soto, R., & Campos Arce, J. J. (2007). Identificación y caracterización florística de bosques naturales en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica.
- Nepstad, D., C. Uhl, C.A. Pereira & J.M.C. da Silva. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 76: 25-39.
- Pancel, L. (2016). Basic outline of tree plantations in the tropics.
- Pimbert, M. y J. Pretty (1995), *Parks, People and Professionals Putting "Participation" into Protected Area Management*, Geneva, The United Nations Research Institute for Social Development.
- Porrás-Mora, G. (2018). Plan de restauración ecológica en la finca La Lucha, San Cristóbal de Desamparados, San José Costa Rica.
- Prach, K., R. Marrs, P. Pysek & R. van Diggelen. 2007. Manipulation of succession, p. 121-149. In L.R. Walker, J. Walker & R.J. Hobbs (eds.). *Linking restoration and ecological succession*. Springer, Nueva York, EEUU.

- Reay, S.D. & D.A. Norton. 1999. Assessing the success of restoration plantings in a temperate New Zealand forest. *Rest. Ecol.* 7: 298-308.
- Reay, S.D. & D.A. Norton. 1999. Assessing the success of restoration plantings in a temperate New Zealand forest. *Rest. Ecol.* 7: 298-308.
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., & Zurek, M. B. (2005). Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis. *World Resource Institute. Washington DC*, 1-43.
- Reyes-Cordero, D. 2012. Análisis de los procesos de restauración pasiva para un bosque seco tropical en la Estación Experimental Forestal Horizontes Guanacaste
- Ruiz-Jaén M. C. y T. M. Aide. 2005 b. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. *Forest Ecology and Management* 218: 159-173
- Salazar, M; Campos, J; Villalobos, R; Prins, C; Finegan, B. 2011. La restauración y conservación del bosque y los procesos sociales en Hojancha, Costa Rica
- Sanchun, A., & Botero, R. (2016). Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas (No. 634.956/U58). UICN (Union Internacional para la Conservacion de la Naturaleza y de los Recursos Naturales).
- SERI, (Society for Ecological Restoration International and Policy Working Group) 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration (en línea). Washington, D.C., EEUU. (Science and Policy Working Group). Disponible en www.ser.org
- Sierra Parra, A. M. (2018). Evaluación de estrategias de restauración ecológica en el Corredor Biológico Rincón Cacao, Costa Rica.
- Sierra Parra, A. M. (2018). Evaluación de estrategias de restauración ecológica en el Corredor Biológico Rincón Cacao, Costa Rica.
- Society for Ecological Restoration. (2004). Principios de SER International sobre la restauración ecológica.
- Thompson, I. 2012. Biodiversidad, umbrales ecosistemicos, resiliencia y degradacion forestal (en línea). *Unasylva Revista Internacional de silvicultura e industrias forestales* v. 62(238):25-30.
- Toribio, M. M., Martinez, C., Cecconc, E., & Guariguata, M. R. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30.
- Turnhout E., M. Hisschemöller y H. Eijsackers. 2007. Ecological indicators: Between the two fires of science and policy. *Ecological Indicators*. 7: 215-228.
- Uhl, C., R. Buschbacher & E.A.S. Serrao. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. Patterns of plant succession. *J. Ecol.* 75: 663-681.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2017). El desafío de Bonn: Catalizando Liderazgo en América Latina.
- UICN y WRI (2014). Guía sobre la Metodología de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM): Evaluación de las oportunidades de restauración del paisaje forestal a nivel nacional o subnacional.
- Vargas, O. (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Wortley, L; Hero, J-M; Howes, M. 2013. Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature *Restoration Ecology* 21(5):537-543.

WRI (World Resources Institute) (2014). Initiative 20x20. Recuperado de <https://www.wri.org/our-work/project/initiative-20x20/about-initiative-20x20#project-tabs>

Yarranton, G. A. y R. G. Morrison (1974), "Spatial Dynamics of a Primary Succession: Nucleation", *Journal of Ecology*, 62: 417-428.

Yarranton, G.A. y R. G. Morrison (1974), "Spatial Dynamics of a Primary Succession: Nucleation", *Journal of Ecology*.