

CAPÍTULO 2

ABORDAJE METODOLÓGICO PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS ANDINOS



Luis Fernando Prado-Castillo^{1,2}, David A. Luna-Sarmiento³, Alexander Sabogal-González³, Pablo Andrés Gil-Leguizamón², Jeison Adrián Olaya-Angarita², David Ricardo Hernández-Velandia^{1,2}, William Javier Bravo-Pedraza², Nohora Alba Camargo-Espitia², Wilderson Medina², Javier Andrés Muñoz-Avila^{1,2}, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco², Oscar Felipe Moreno-Mancilla², Andrés Felipe Morales-Alba^{1,2}, John Edison Reyes Camargo²

¹Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

²Sistemática Biológica, Herbario UPTC, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

³Centro de Investigación en Acarología SAS.

Los interesados en la restauración ecológica desde una perspectiva investigativa y de desarrollo, pretenden identificar las formas adecuadas para recuperar parcial o totalmente un ecosistema degradado (Cisneros, 2011). En este sentido, el método aplicado en la restauración define el éxito de la misma; sin embargo, dichas estrategias de recuperación de los ecosistemas no son estandarizadas, debido a la pluralidad de sistemas ecológicos, el régimen de disturbio y el potencial de regeneración (Vargas, 2011).

Los métodos en general contemplan la descripción del área a partir de la fase diagnóstica, que incluye la caracterización de la flora y la fauna, las condiciones climáticas, historia de disturbio, la identificación de factores limitantes y tensionantes, así como el potencial biótico de la zona (Vargas, 2007). No obstante, las estrategias de restauración dependen de la escala a la que se realice (paisaje, ecosistema, comunidad, o población). Tales escalas determinan que las técnicas de restauración sean únicas o combinadas, existiendo la regeneración natural, enriquecimiento, diseños de plantaciones, potencial de regeneración a partir del banco de semillas, núcleos de restauración, descompactación y trasplante de suelo, entre otras estrategias hasta hoy día propuestas (Block et al., 2001; Fuentes, 2011; Insuasty-Torres et al., 2011).

Los procesos de restauración ecológica se encaminan a reducir, controlar o mitigar factores limitantes, con el fin de promover la regeneración natural. Dentro de las técnicas más utilizadas y exitosas se encuentra la introducción de especies nativas por medio de la plantación, ya que permite recuperar la cobertura vegetal y favorece los procesos de sucesión natural. Se ha comprobado que la implementación de esta técnica favorece el establecimiento temprano de especies nativas, debido a que promueve el cambio de las condiciones microambientales, reduciendo el estrés ambiental. De igual forma, promueve la conectividad entre remanentes de vegetación y aumenta la riqueza de especies (Bertenss & Callaway, 1994; Castro et al., 2004; Vieira et al., 2009; Díaz-Peláez & Polanía, 2017).

Una forma de aplicar dicha técnica, es la nucleación, la cual implica la plantación de pequeños parches de especies nativas, como áreas focales para la recuperación de la cobertura vegetal (Corbin & Holl, 2012); favorece el establecimiento de nuevas especies vegetales, el arribo de la fauna y promueve procesos sucesionales que facilitan la regeneración natural de áreas degradadas (Yarranton & Morrison, 1974).

De acuerdo con Reis et al. (2010), la nucleación facilita y genera la creación de nuevos nichos de colonización. Esta técnica representa un potencial de integración de los paisajes fragmentados, una vez que genera efectos locales (en áreas degradadas a restaurar) y efectos de contexto (en áreas desconectadas por la fragmentación). Para que este proceso sea efectivo en el paisaje, y haga la promoción de la conectividad, es imprescindible que los flujos biológicos ocurran en los dos sentidos: entre los "fragmentos-área en restauración" y "área restaurada-paisaje", de aquí que, la fauna sea vector fundamental en la restauración como agente dispersor de semillas, de polinización y facilitador de los flujos ecológicos. Por lo anterior, en el presente capítulo se describen los métodos propuestos para la restauración ecológica en el flanco oriental de la cordillera Oriental de los Andes.

¿CÓMO SE ABORDÓ LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA?

Abordar la restauración ecológica implica integrar la espacialidad de los sistemas de referencia como consolidación de la dinámica natural y su distribución; esta actividad se realizó a escala paisajística con análisis a partir de la obtención de mapas temáticos como insumos para consolidar las actividades.

La restauración ecológica a escala de paisaje, ecosistemas y comunidades, pretende incorporar las unidades ecológicas del Páramo de Rabanal,

municipio de Ventaquemada (Boyacá), y las áreas de San Martín y Aguaclara, en el municipio de Sabanalarga (Casanare); como integradores de diferentes componentes espaciales (coberturas) que interactúan entre sí. Estas escalas definieron cambios espacio temporales, principalmente en las 80 ha del Páramo de Rabanal y las 25 ha en Sabanalarga. A continuación, se especifican las escalas de trabajo según proyecciones de restauración ecológica (Tabla 1).

Tabla 1. Definición de escalas (*sensu* Turner et al., 2001).

ESCALA	ÁREA DE INFLUENCIA	ATRIBUTO	COMPONENTES
Paisaje	Zona de páramo y bosque altoandino en la vertiente oriental de la cordillera oriental de los Andes colombianos	Composición/ Estructura	Vegetación
	Zona de piedemonte llanero colombiano	Composición/ Estructura	Vegetación -Vegetación
Ecosistemas	Páramo de Rabanal y sectores San Martín y Aguaclara	Función	-Fauna (entomofauna, herpetofauna, avifauna, mastofauna) -Suelo -Vegetación
Comunidades	Áreas de intervención 80 ha (Ventaquemada) y 25 ha (Sabalarga)	Composición	-Fauna (entomofauna, herpetofauna, avifauna, mastofauna) -Suelo

¿QUÉ FASES SE UTILIZARON PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA?

El proyecto de restauración ecológica en los dos sitios de intervención, se dividió en cuatro fases (Fig. 1): La primera fase que correspondió al diagnóstico desde una escala de paisaje, ecosistema y de comunidades, que permitió establecer las bases del proceso de restauración. La fase de diseño e implementación de las técnicas de restauración, en la que soportados con la información de línea base, se plantearon las estrategias para la consecución de los objetivos de

recuperación de las áreas deterioradas. La tercera fase donde se establecieron las pautas de evaluación por medio de monitoreos, que permiten determinar cambios ecológicos deseados y no deseados, y a su vez, tomar decisiones en cuanto a las condiciones del sistema de referencia. Finalmente, el proceso participativo local, en donde la comunidad fue enlazada de forma activa a las otras fases de la restauración ecológica.



Figura 1. Sinopsis de las fases utilizadas en la ejecución del proyecto de restauración ecológica.

1. FASE I. LÍNEA BASE (DIAGNÓSTICO RÁPIDO PARA LA RESTAURACIÓN)

Es la información base que se requirió para el inicio del proceso de restauración ecológica y la posterior evaluación de metas de corto (0-3 años), mediano (3-10 años) y largo plazo (más de 20 años). Inicialmente, se identificaron los usos y cambios de cobertura que ha experimentado el área de estudio; para ello, se efectuó un análisis temporal, este permitió, vincular la restauración al paisaje. También, se realizó la caracterización de la vegetación, entomofauna, herpetofauna y aspectos físico-químicos y microbiológicos del suelo, información clave para la valoración del proceso de restauración.

1.1 Análisis temporal de las coberturas vegetales

El monitoreo espacio temporal de zonas geográficas, estima el deterioro o recuperación espacial de las coberturas a escala de paisaje, así como los cambios en la composición y distribución de especies a nivel latitudinal y altitudinal, y la determinación de áreas prioritarias para la conservación (Lambin et al., 2001; Turner et al., 2007; Evangelista et al., 2010); estos cambios, están determinados por causas ambientales, o por el comportamiento social y económico a escala global, regional o local (Evangelista et al., 2010; Ruíz et al., 2013).

Los análisis sobre coberturas vegetales permitieron reconocer los actores que actúan en los cambios del paisaje, y como la vegetación de un espacio natural juega un rol ecológico, cuyo fin permitió proyectar el estado actual de la biodiversidad en el área de estudio. Se realizaron las siguientes acciones específicas:

Recopilación de información secundaria: búsqueda de información de la zona (mapas temáticos, *shapefile* de coberturas vegetales, microcuencas, uso de suelo, pendientes, geomorfología, cartografía básica, así como, imágenes digitales previas de la zona y otras), estos insumos fueron obtenidos en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y de los entes territoriales.

Análisis temporal de coberturas vegetales: consistió en clasificar las coberturas vegetales del área de estudio a partir de levantamientos de información en campo y puntos de control, las coberturas fueron definidas a partir del sistema de clasificación Corine Land Cover adaptado para Colombia (CLC) y complementado con imágenes de visores como Google Earth. Esta técnica se realizó en programas especializados como ArcGis (Versión licenciada para la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia). Lo anterior, generó información temática de coberturas y métricas de paisaje (área y perímetro), con esta información se analizaron los posibles cambios ocurridos en los años 2015 y 2017 en la zona a restaurar, así como alternativas en metas de restauración a corto, mediano y largo plazo (Fig. 2).

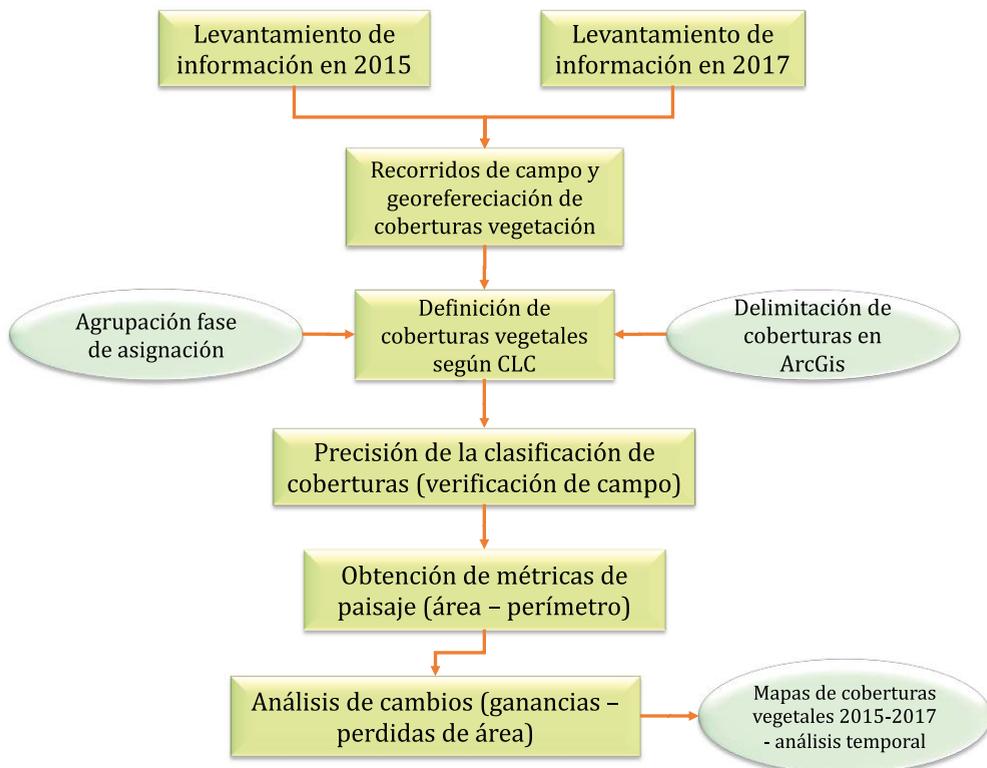


Figura 2. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica del análisis de imágenes satelitales e identificación de coberturas y ocupaciones del suelo (modificado de Gil-Leguizamón, 2016).

Información histórica del área a restaurar y áreas de influencia:

como información transversal al desarrollo espacial, se recopiló información de uso del suelo en tiempos pasados; para ello, se indagó con la comunidad sobre el uso y los cambios que han dado a la zona de amortiguación y área de

interés; de igual forma, se compiló información sobre la principal fuente económica de las familias que habitan contiguo al área a restaurar, con el fin de identificar, si estas actividades tuvieron relación con la transformación de la cobertura y uso del suelo.

1.2 ¿Cómo se analizó el componente vegetación?

En las dos zonas de estudio se desarrolló una caracterización florística de las coberturas identificadas en el análisis temporal. Esta caracterización se realizó por medio de parcelas de multiescalas de 0,1 ha (método de Whittaker modificado por Campbell et al., 2002). Este método consistió en establecer una parcela en cada cobertura, de 50 x 20 m, en la cual, se demarcaron tres tipos de subparcelas

de diferentes tamaños (Fig. 3): 1) diez subparcelas de 2 x 0,5 m, en donde se registraron las hierbas y plántulas menores a 40 cm de alto; 2) dos subparcelas de 5 x 2 m, en donde se valoraron los árboles y arbustos con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 1 cm; 3) una subparcela central de 20 x 5 m, en la cual se evaluaron todos los árboles con DAP ≥ 5 cm. En la parcela principal (50 x 20 m), se revisaron todos los árboles con DAP ≥ 10 cm, excluyendo los contados en las subparcelas. En todos los casos se tomaron datos del (DAP) y la altura de cada individuo evaluado.

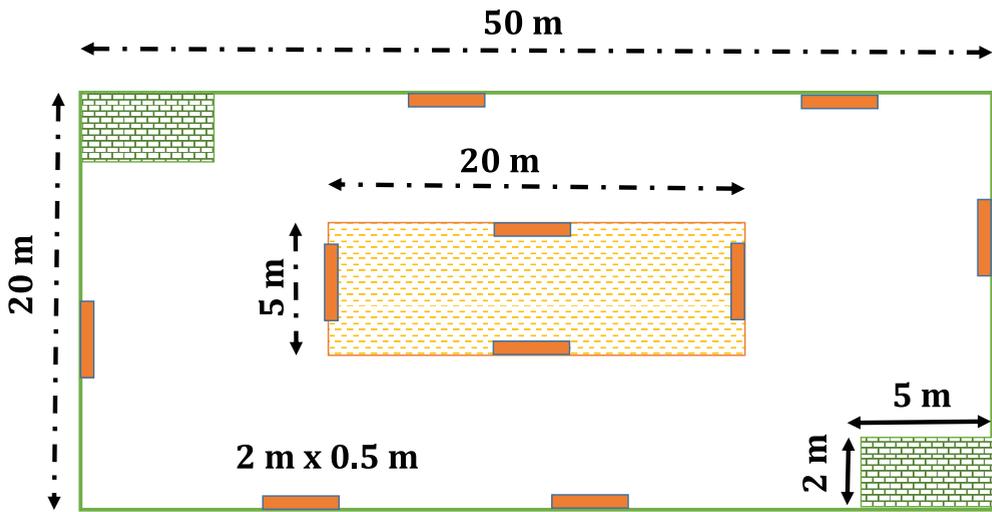


Figura 3. Diseño muestral para la caracterización de la flora vascular (modificado de Campell et al., 2002).

El material se procesó en el Herbario UPTC, fue determinado y corroborado con bibliografía especializada, como Floras de Colombia, Guyana, de Ecuador, Neotropica, entre otras. La información fue consignada en una matriz de datos de Excel para su posterior análisis, las muestras reposan en el Herbario UPTC.

De cada cobertura vegetal se obtuvo información de composición y estructura de especies, así como

de las formas de crecimiento; se calculó el índice de valor de importancia (IVI) para las dos zonas y el índice de predominio fisonómico (IPF) para Rabanal. Se construyó la curva de acumulación de especies con los estimadores de riqueza basados en datos de incidencia (Chao & Chiu, 2016). También se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis, para determinar cuáles coberturas presentaban una composición de especies similares.

1.3 ¿Cómo se abordó el componente de fauna?

Entomofauna (Coleoptera, Hymenoptera y Lepidoptera)

Insectos como los escarabajos coprófagos, las mariposas y las hormigas han sido utilizados como indicadores de la calidad de los hábitats, debido a su evidente respuesta a las perturbaciones ambientales (Villarreal et al., 2006), ya que cumplen con criterios básicos para la ejecución de trabajos de monitoreo de biodiversidad, y su taxonomía es relativamente bien conocida; son grupos diversos y de una amplia distribución; funcionalmente importantes en los ecosistemas por su especificidad en el rango altitudinal, tipo de suelo y vegetación, siendo grupos sensibles a cambios en el hábitat.

Para el muestreo de los grupos de interés, en cada cobertura de las dos zonas de estudio, se realizó un transecto de 300 m (en mariposas, fueron transectos de 100 m), que estaba dividido en 10 estaciones separadas entre sí cada 30 m. En cada estación se aplicaron métodos de muestreo específicos para cada grupo taxonómico y las técnicas utilizadas para fueron:

Escarabajos coprófagos

- **Trampas de caída:** constó de un vaso plástico de 16 oz, con 4 oz de alcohol al 70%, cada vaso era enterrado a ras del suelo, sobre el cual se instaló un alambre en forma de U invertida, y en la cúspide de dicho alambre, se ancla un recipiente plástico que contenía un cebo (excremento humano; Fig. 4). Las trampas se cebaron con 20 gr de atrayente que se reemplazó cada 24 horas, durante dos días de muestreo.

Hormigas

- **Trampas de caída:** similares a las utilizadas en escarabajos coprófagos, con la diferencia que el atrayente era atún (Lozano-Zambrano et al., 2009).

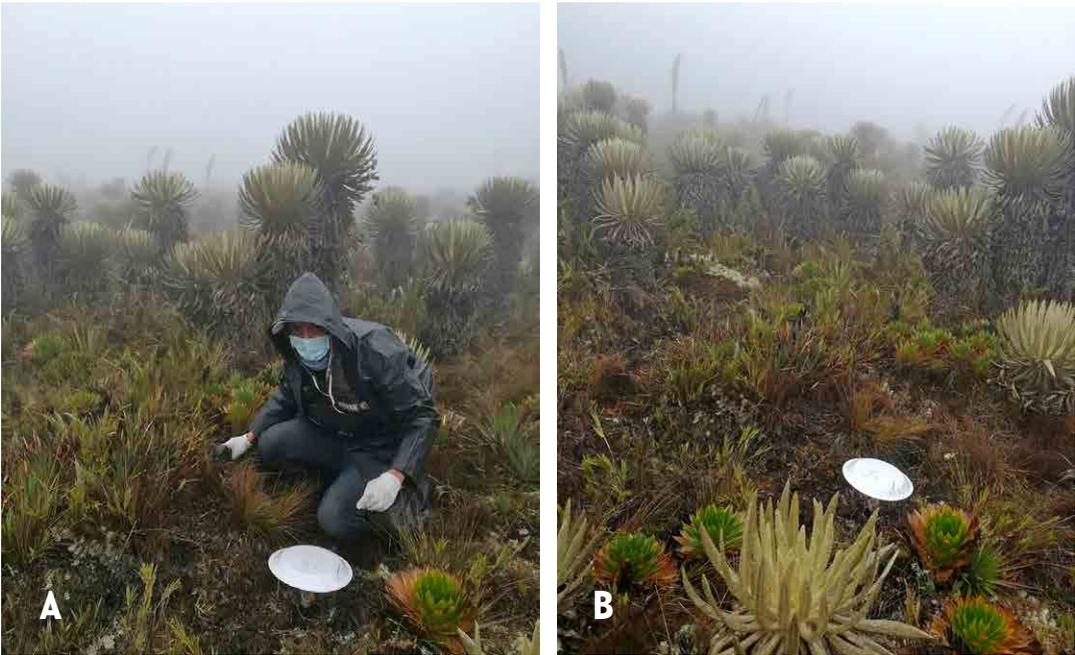


Figura 4. Trampas de caída para diagnóstico de escarabajos coprófagos. **A.** Instalación de trampas; **B.** Disposición de trampa en Pajonal Frailejónal (Rabanal).

Mariposas diurnas (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) (Fig. 5)

- **Recolecta directa por jameo:** consistió en la captura de individuos con red entomológica de 30 cm de diámetro, para ello, se hicieron recorridos desde las 8:00 hasta las 16:00 horas en cada transecto, durante dos días (dos personas muestreando, con un total de 32 horas/hombre).
- **Trampas tipo van Someren-Rydon:** se instalaron dependiendo del área y la disponibilidad de dosel en cada tipo de cobertura (dado que en Rabanal la mayoría de coberturas no contaban con dicho estrato, en este sitio no se utilizó esta técnica), y fueron cebadas con pescado en descomposición.

Las muestras de coleópteros y hormigas fueron preservadas en alcohol al 70% en frascos plásticos; mientras que las mariposas capturadas fueron sacrificadas con presión en el tórax y almacenadas en sobres de papel milano debidamente rotulados. En el laboratorio las muestras de trampas de caída se limpiaron y procesaron, y los individuos separados fueron montados en alfileres entomológicos con sus respectivas etiquetas de recolección (Figs. 6 y 7). Posteriormente, los individuos se identificaron por medio de listados, claves especializadas y descripciones a la mejor resolución taxonómica posible; en el caso de Scarabaeidae, la determinación taxonómica a nivel genérica fue realizada con las claves de Vaz-de-Mello et al. (2011), y a nivel de especie por medio de comparación con colecciones de referencia. Los especímenes se depositaron en la colección entomológica del Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC, Tunja).



Figura 5. Metodologías para captura de mariposas. **A.** Montaje de trampas van Someren-Rydon; **B.** Captura de mariposas por medio de jameo.



Figura 6. Colección de referencia de escarabajos coprófagos.

Para analizar la diversidad Alfa de la entomofauna, se calculó con la información de abundancias absolutas (en hormigas, con datos de incidencia), la completitud

del muestreo se construyó con curvas de rarefacción-extrapolación para la riqueza (Chao et al., 2014), para verificar el esfuerzo de muestreo y comparar las riquezas entre las diferentes coberturas. Se calcularon los números de Hill (órdenes de diversidad q_0 , q_1 y q_2), en cada cobertura, y con estos se hicieron perfiles de diversidad (Gotelli & Chao, 2013), los cuales sirvieron para la comparación entre las coberturas evaluadas. Para la diversidad Beta se utilizaron técnicas de agrupamiento multivariado, se graficaron dendrogramas basados en el índice de Jaccard (Moreno, 2001), para ver la similitud entre las diferentes coberturas en cada sitio.

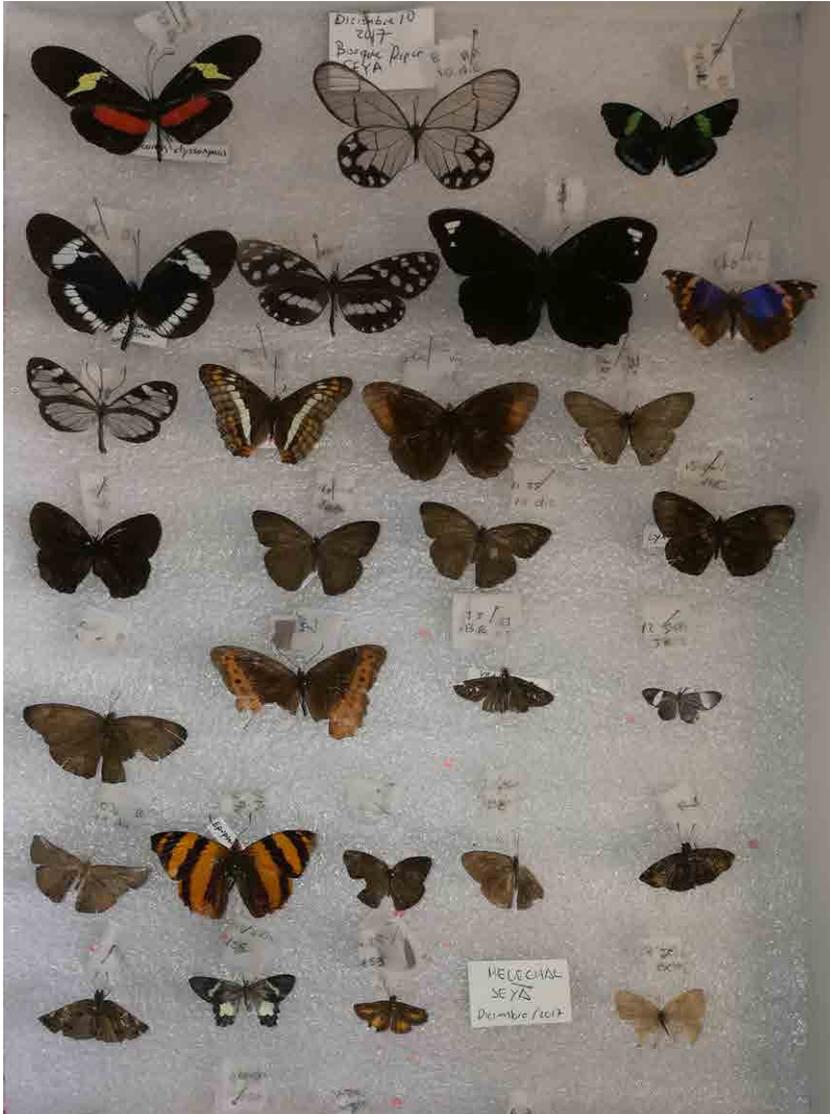


Figura 7. Muestra de una caja de la colección de referencia de mariposas en el Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC, Tunja).

Herpetofauna

El rango de distribución de anfibios y reptiles es relativamente pequeño, lo cual hace que sean cada vez más dependientes a las condiciones medioambientales locales y más propensos a la extinción local después del disturbio, en comparación con aves y mamíferos (Ríos & Aide, 2007). Estas características ecológicas del grupo lo hacen idóneo para evaluar el estado de conservación y el éxito en la recuperación de ecosistemas.

Se utilizó la técnica de Registro por Encuentro Visual (REV) (Crump & Scott, 1994), y fue complementada por el muestreo de búsqueda libre y sin restricciones (Angulo et al., 2006) (Fig. 8). La técnica REV posibilita realizar inventarios que proporcionan información para medir la composición de las especies, su abundancia relativa, la asociación de hábitats, y el nivel de actividad de los organismos (Lips & Reaser, 1999). Los recorridos fueron diurnos y nocturnos, de las 8:00 a las 11:00 horas y de las 16:00 a las 23:00 horas respectivamente. La técnica consistió en caminar cuidadosa y silenciosamente a través de los transectos, mediante búsqueda visual y auditiva de anfibios, salamandras, serpientes y lagartos (Fig. 9). La captura de especímenes se realizó manualmente, según protocolos de bioseguridad, con el fin de prevenir enfermedades en los anfibios y reptiles (Angulo et al., 2006) (Fig. 9).



Figura 8. Metodología empleada para desarrollar las cronosecuencias de anfibios y reptiles en el Páramo de Rabanal. **A-B.** Búsqueda libre y sin restricciones de la herpetofauna en microhábitats de necromasa de frailejones y puyas, y en las orillas de charcas.

Durante el periodo de búsqueda se abordó la mayor cantidad de microhábitats, con un rango máximo de 3 m de altura, por lo que el dosel de los parches de bosque no fue tenido en cuenta en el muestreo (Lips & Reaser, 1999). En cada uno de los muestreos, a los especímenes capturados (en medida de lo posible), se les determinó la especie, sexo y edad (adulto y juvenil). Se tuvo en cuenta las condiciones climáticas (soleado, nublado y lluvioso), el tipo de actividad en el momento de la captura y el sustrato donde se encontró.

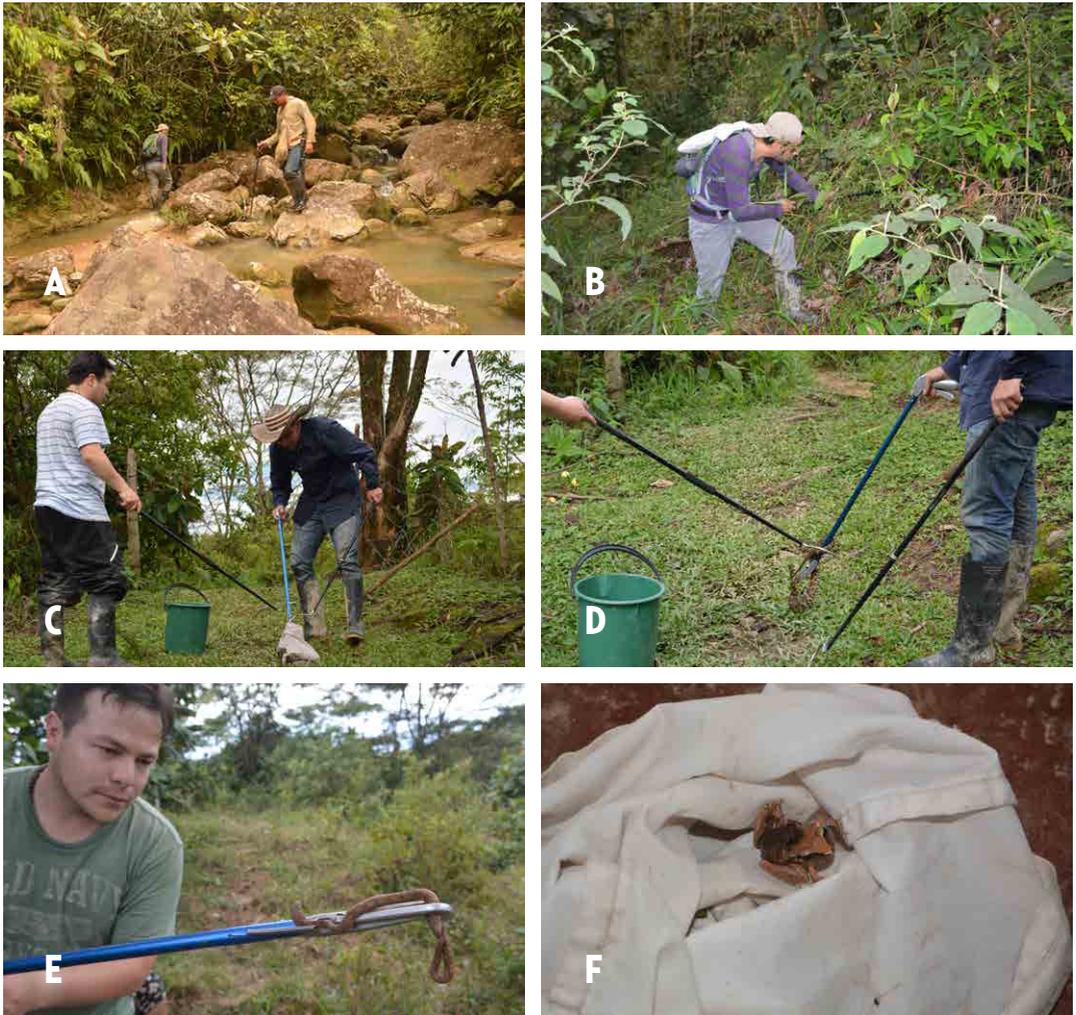


Figura 9. Metodología empleada para desarrollar las cronosecuencias de anfibios y reptiles en los predios de San Martín y Agua Clara. **A.** Búsqueda libre y sin restricciones de la herpetofauna en microhábitats acuáticos y en las orillas de arroyos y quebradas; **B.** Búsqueda de herpetofauna en coberturas vegetales; **C-E.** Captura y manipulación de serpientes venenosas de la familia Viperidae, siguiendo el protocolo de bioseguridad; **F.** Transporte en bolsas de tela y liberación de dos ranas del género *Pristimantis*.

Los datos tomados en campo se registraron en la libreta de campo y posteriormente, se transcribieron en un archivo de Excel en un formato previamente establecido. En la medida de lo posible el proceso de identificación se hizo en campo, al nivel más preciso posible; sin embargo, se realizaron recolectas de algunos ejemplares de las especies de anfibios y reptiles, con el fin de tener un registro físico de la composición de la herpetofauna en el área. Para ello se sacrificaron los ejemplares con una inyección de benzocaína al 20% en el corazón, posteriormente se aplicó un poco de formaldehído al 10% en la parte ventral, en la cloaca y en las extremidades, luego en un recipiente de plástico con tapa hermética formando una cámara húmeda con

formol al 10%. Posteriormente se pasaron a una solución de formaldehído al 10% durante 8 días, se dejaron en agua durante un día, y por último se depositaron en frascos de vidrio sumergidos en alcohol al 70%. En el laboratorio se continuó el proceso de identificación taxonómica, con el apoyo de equipos ópticos como estereoscopios y claves taxonómicas especializadas; el material fue depositado en el Museo de Historia Natural de UPTC.

El análisis se realizó separadamente para cada grupo taxonómico (anfibios y reptiles).

Se construyeron curvas de acumulación de especies con los estimadores de riqueza basados en datos de abundancia (Chao & Chiu, 2016), para valorar el esfuerzo de muestreo y estimar la riqueza de cada sitio. La comparación de la diversidad Alfa de cada cobertura se realizó por medio de los índices de uniformidad (Shannon) y de dominancia (Simpson). Para la diversidad Beta se utilizaron técnicas de agrupamiento multivariado, se graficaron dendrogramas basados en el índice de Jaccard (Moreno, 2001), para observar la similitud entre las diferentes coberturas en cada sitio.

Avifauna

Las aves son consideradas de gran importancia en la dispersión de semillas y en los procesos de recuperación de los bosques y selvas (Figueroa & Castro, 2002; Barrantes & Pereira, 2002), ya que ingieren frutos y a través del vuelo defecan o regurgitan semillas en áreas lejanas (Figueroa & Castro, 2002), lo que las convierte en un grupo importante en los procesos de restauración.

Para registrar la mayor cantidad de especies, se utilizó la detección visual y auditiva, además de la captura con redes de niebla. Estas metodologías son un ajuste a las metodologías estandarizadas y previamente utilizadas en inventarios y monitoreos de aves, diseñadas por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) (Villarreal et al., 2006). Esta metodología facilitó la detección de especies, además de obtener datos para realizar análisis de abundancia de las especies y la interpretación de las densidades y tendencias de las poblaciones de aves en las zonas muestreadas (Villarreal et al., 2006). Para el componente aves se siguió la nomenclatura según la clasificación de Remsen et al. (2017) y para la identificación taxonómica se usaron las guías de Aves de Colombia de Hilty & Brown (2009), y Aves de Colombia de campo de McMullan et al. (2014).

Transectos de observación y registro auditivo: se realizaron recorridos de observación, los cuales consistieron en la búsqueda de aves a través de caminatas realizadas a una velocidad aproximada de 0,7-1,0 km/hora, sobre transectos de observación, que oscilaron entre 1 a 2,5 km de distancia en cada sitio de estudio. Las caminatas se efectuaron en las horas de mayor actividad de las especies (05:30-10:30 y 15:00-18:00 horas, Ralph et al., 1996). La identificación de especies se realizó de forma visual y auditiva siguiendo lo propuesto por Ralph et al. (1996), los registros e identificaciones de las aves observadas durante la fase de campo se hicieron utilizando binoculares (marca Busnell 8x42), además de fotografías con una cámara Nikon D90.

Redes de niebla: se llevó a cabo la captura de aves con tres redes de niebla de 6 x 2,5 m, dichas redes se instalaron en las coberturas vegetales más representativas en las dos zonas de estudio; fueron dispuestas consecutivamente y la revisión se realizó cada 20 minutos para evitar muertes de los individuos (Ralph, 1996; Villarreal et al., 2006). Las aves capturadas (en el rango de 05:30-10:30 y 15:00-18:00 horas) se extrajeron de la red, para ser transportadas en bolsas de tela y facilitar la manipulación. Se registraron datos básicos como: localidad, coordenadas, altitud, fecha, hora y fotografía. La identificación de sexo por individuo se hizo por medio del dimorfismo sexual aparente y el estado reproductivo con la proyección cloacal y el parche de cría. Todos los individuos capturados e identificados fueron liberados en el mismo lugar de registro.

Mamíferos

Para el muestreo de mamíferos, se utilizaron un conjunto de técnicas (Kunz & Parsons, 2009; Voss & Emmons, 1996; Voss et al., 2001; Wilson et al., 1996) con el fin de recopilar la composición y estructura del ensamblaje en las áreas de estudio (Voss & Emmons, 1996; Voss et al., 2001). A cada animal capturado se le tomaron las medidas convencionales externas (Hall, 1962), el sexo y el estado reproductivo, pero ningún mamífero capturado fue recolectado. Para la clasificación taxonómica (orden, familia y subfamilia) se siguieron las recomendaciones de Wilson & Reeder (2005).

Recorridos de observación y búsqueda de rastros: se realizaron recorridos que cubrían la mayoría de las áreas de estudio. Los recorridos se realizaron en el día; durante estos, se buscaron especies de mamíferos que estuvieran en la zona de estudio; así mismo, se buscaron rastros como huellas, comederos, posaderos, refugios, heces, bañaderos, pieles, huellas o cualquier otro tipo de evidencia de la presencia de mamíferos. Se efectuaron observaciones principalmente en caminos o lugares con abundante lodo registrando las huellas de especies de este grupo. Para la identificación y procesamiento de los rastros se siguieron los protocolos propuestos por Navarro & Muñoz (2000); el registro de las huellas se realizó por medio de fotografías donde se tiene un objeto de referencia; posterior a esto se hicieron análisis de las huellas por medio de la toma de medidas.

Cámaras trampa: se ubicaron cuatro cámaras para rastreo pasivo, para monitorear mamíferos de todos los tamaños. Se colocaron en los sitios más probables de movilidad o rutas transitadas, identificados por la presencia de rastros o indicios que dejaban las especies medianas y grandes; siendo estas las que cuentan con un mayor número de capturas realizadas con este método. Las cámaras se programaron previamente con la fecha, hora, y cantidad de fotos que se tomaran al detectar el movimiento; se dejaron aseguradas e instaladas a troncos a una altura aprox. 50 cm del suelo.

Trampas Sherman: las trampas se cebaron con una mezcla de mantequilla de maní, sardinas, avena en hojuelas y esencia de vainilla, o con papaya (para atraer algunos roedores). Las trampas se ubicaron en sitios cubiertos o con acumulación de frutos, teniendo en cuenta senderos, madrigueras, cuerpos de agua, así como fuentes de alimentación.

1.4 ¿Cómo se analizó el componente suelo?

Se tomaron muestras de suelo en las diferentes coberturas vegetales, tanto en Sabanalarga (Casanare) como en Ventaquemada (Boyacá) (Fig. 10). Las muestras recolectadas para los análisis microbiológicos y fisicoquímicos fueron almacenadas en bolsas ziploc y transportadas en neveras al laboratorio.



Figura 10. Toma de muestras de suelos en Sabanalarga. **A-B.** Uso del barreno en diferentes coberturas; **C-D.** Toma de muestra de suelo; **E-F.** Medición de la profundidad de la muestra.

• **Parámetros fisicoquímicos**

Se tomaron muestras de aproximadamente 1 kg de suelo a 20 cm de profundidad, por medio de un barreno manual (*sensu*, Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, 1990) (Fig. 11). Estas muestras se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, donde se elaboraron los análisis fisicoquímicos, evaluando parámetros como textura (método de Bouyoucus), pH (relación 1:1), CIC (acetato de amonio), conductividad eléctrica CE (extracto de saturación y conductímetro), materia orgánica en porcentaje (método de Walkey - Black), fósforo disponible (método Bray II, calorimetría), cuantificación gravimétrica (método de Bouyoucus) y elementos mayores y menores (método de Abs. atómica).

- **Parámetros microbiológicos**

Bacterias: para los análisis microbiológicos, se realizó el pesaje de suelo, 10 gr por muestra, con diluciones seriadas, de 10^{-1} a 10^{-4} unidades formadoras de colonia (UFC), con agua destilada estéril. Para los aislamientos de bacterias edáficas se empleó agar TSA + Nistatina Agar Tripticosa Soya-Scharlau® y el medio de cultivo agar King B. Los cultivos se hicieron por duplicado y se incubaron a 30°C por 48 horas (Fig. 11). El número de bacterias aeróbicas totales se estimaron como unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC g⁻¹).

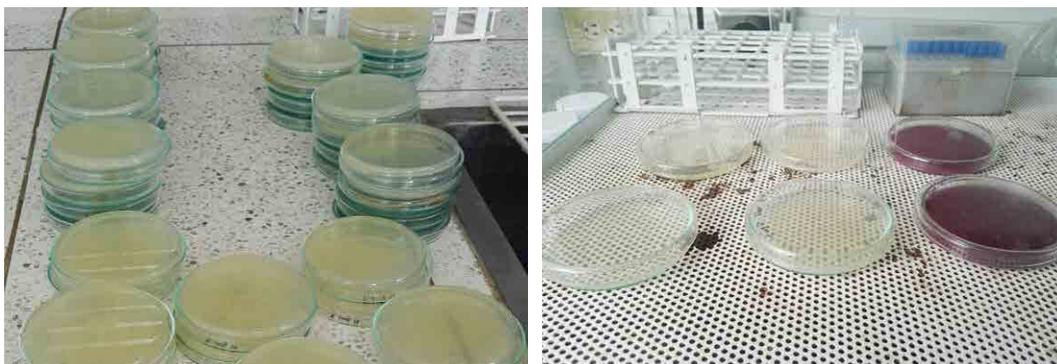


Figura 11. Medios de cultivo implementados para el aislamiento de microorganismos.

A dichos aislados bacterianos, se les realizaron pruebas micromorfológicas y culturales en Agar EMB Pronadisa®, Agar McConkey Pronadisa® y Agar Baird Parker Pronadisa® que son medios selectivos. Posteriormente, teniendo en cuenta el Manual de Bergey (Brenner et al., 2005), se realizaron las pruebas bioquímicas tradicionales y pruebas fisiológico-bioquímicas con el uso de API 20E para enterobacterias-Biomérieux®, API 20 NE para no enterobacterias-Biomérieux® y BBL Crystal® para Bacilos Gram positivos.

- **Hongos filamentosos**

Se pesaron 10 gr por muestra de suelo para realizar diluciones en serie de 10^{-1} a 10^{-2} con el uso de agua destilada estéril; se estableció el número de hongos filamentosos como unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC g⁻¹). Así también, se empleó para inhibir el crecimiento de bacterias el Agar PDA (Agar Papa Dextrosa-Scharlau®) suplementado con Cloranfenicol. Con respecto a los aislados fúngicos que presentaron poco crecimiento, se replicaron en agar Sabouraud (Dextrose Agar-Scharlau®) con Cloranfenicol como antibiótico para obtener un cultivo puro y poder visualizar estructuras reproductivas, incubando las cajas de Petri a una temperatura de 35°C entre 5 y 7 días, luego se hicieron los montajes.

Con el uso de morfología macroscópica y microscópica se determinaron las colonias fúngicas a género, con azul de lactofenol en montajes entre láminas y laminillas en técnica de impronta. Para en análisis se usaron equipos ópticos en 10X y 40X de aumento, apoyado con claves taxonómicas.

2. FASE II. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

2.1 Definición de la zonificación para la restauración

A partir de la identificación de tipos de coberturas o subunidades del paisaje en el sector a intervenir, se empezó a establecer la trayectoria ecológica, y los sistemas de referencia a utilizar a corto, mediano y largo plazo; la zonificación igualmente conllevó a ubicar espacialmente las acciones de restauración en términos de áreas a intervenir y tratamientos a establecer. El sistema de referencia (SR) es el punto de partida como modelo para el diseño, planeamiento, desarrollo y monitoreo del proyecto.

2.2 Metas a corto, mediano y largo plazo

La especificación de las metas en proyectos de restauración es frecuentemente descrita como uno de los más importantes componentes de un proyecto, ya que permite regular las expectativas, orientar planes por acciones, y determinan clase, extensión de la evaluación y seguimiento post-proyecto (Ehrenfeld, 2000). Se entienden como estados ideales a las condiciones en que un esfuerzo de restauración se pueda lograr, así como, previamente identificar las áreas a intervenir, y establecer los alcances que se generen en función de los recursos, del contexto sociopolítico, socioeconómico y cultural y de la producción del material vegetal, entre otros; también debe considerarse, régimen de disturbio, sistema de referencia, condición futura proyectada, escala de intervención según la extensión, impacto sobre el área, necesidad y alcances de la intervención.

2.3 Selección de especies destinadas a la restauración ecológica (criterios de selección)

Las especies a utilizar en los diseños de plantación fueron seleccionadas a partir de una revisión de atributos vitales de historias de vida (Noble & Slatyer, 1980) y de su aptitud ecológica (Davy, 2002) aspecto que definió algunos grupos funcionales para posteriormente ajustarlos en función de la disponibilidad de propágulos de especies nativas.

Para lograr la clasificación de especies en grupos funcionales, se tuvieron en cuenta parte de los pasos indicados por Fonseca & Ganade (2001). Inicialmente, se definió el criterio con el que se clasificaron los grupos funcionales, para luego definir el tipo de comunidad vegetal que se pretendía abordar con la restauración; se eligieron las funciones clave y los rasgos funcionales que mejor describían la función de interés, para finalmente construir una matriz especies-rasgos (E especies x R rasgos), y generar los grupos funcionales por agrupación. El criterio para la clasificación se basó en agrupar especies con potencial capacidad de respuesta (colonización) sobre áreas degradadas resultantes del régimen de disturbio descrito para ambas zonas a intervenir.

Se eligieron rasgos de historia de vida considerados clave para abordar las zonas afectadas por pastizales abandonados y bajo la condición del limitado conocimiento existente sobre la biología de las especies nativas del sector. Los rasgos fueron propuestos a partir de revisión de literatura científica (*p. ej.*: Castellanos-Castro & Bonilla, 2011; Cárdenas-Arévalo & Vargas, 2008; Hérault et al., 2005; Pywell et al., 2003; Fonseca & Ganade, 2001).

2.4 Técnicas de viverismo

- **Propagación y manejo de las especies:** a partir de la selección de las especies, se inició el proceso de propagación en vivero, considerado como una técnica que determina la capacidad de las plantas para reproducirse por semilla (sexual) o vegetativa (asexual), mediante células, tejidos y órganos (Cardona, 2007). Para este proyecto, se enfocó en la propagación sexual.

Con el fin de conocer los porcentajes de viabilidad y la calidad de las semillas aportadas por los rodales semilleros en Rabanal, se realizaron montajes de cámaras húmedas, para conocer cuál era el porcentaje de germinación de semillas, además de, datos sobre el tiempo de germinación para las diferentes especies estudiadas. Para la fase de campo se siguió la metodología de Davies et al. (2015). En laboratorio se realizaron los procesos de despulpe y limpieza de las semillas (Fig. 12) y se procedió a realizar las pruebas de corte para establecer la calidad de las semillas, contabilizando las semillas vacías y buenas de una muestra de 50 semillas seleccionadas al azar de cada uno de los rodales semilleros (Fig. 13).



Figura 12. Limpieza y procesamiento de los frutos y semillas recolectados en el Páramo de Rabanal.

- **Propagación sexual:** la germinación de semillas mediante los tratamientos pre-germinativos (escarificación), dependió del tipo de semilla, de las especies a recolectar en función del tamaño de las mismas, dureza de la testa e información existente. Este tipo de tratamientos consisten en lograr debilitar la testa, así (Godínez & Flores, 1999):
 - a) Frotar las semillas hasta que se adelgace o fractura la testa;
 - b) Cortar una pequeña porción de la testa con una cuchilla o bisturí;
 - c) Perforar la testa con aguja;
 - d) Sumergir las semillas en agua hirviendo por diferentes periodos;
 - e) Sumergir las semillas en agua por 12 o 24 horas.

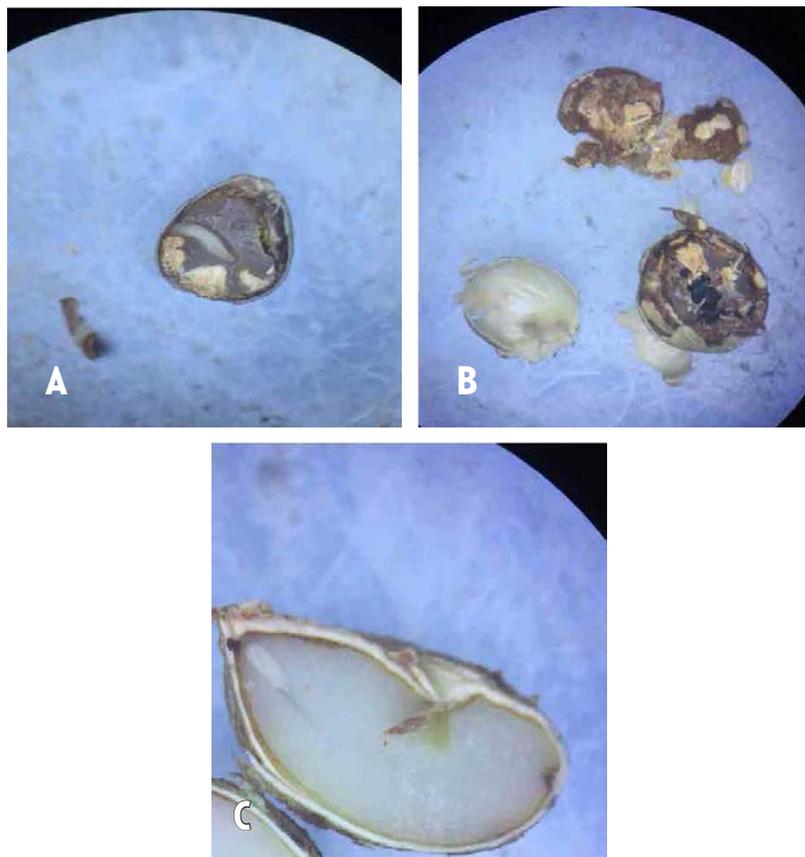


Figura 13. Vista general de pruebas de corte para dos especies arbustivas presentes en el Páramo de Rabanal. **A.** Semilla de *Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng. En corte transversal se observa el embrión en buen estado fitosanitario; **B.** Semilla de *Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng. Se observa que la semilla está siendo atacada por larvas de Hymenoptera; **C.** Semilla de *Viburnum* sp. se observa buen estado fitosanitario en el embrión y el resto de la semilla.

2.5 El vivero

Lugar adaptado con infraestructura suficiente para la producción de plantas, desde su estado de semilla, hasta que están listas para ser llevadas al campo o su sitio específico de siembra (IAvH, 2008). Se construyó un vivero constituido por: zona germinativa, de reposo o aclimatación, de laboreo y depósito, adecuación de camas y suministros, depósito de sustrato, y compostera (Fig. 14).



Figura 14. Panorámicas generales del vivero terminado **A-B**. Vista general del interior del vivero, el techo y las camas de germinación y crecimiento, también se observa en las partes laterales la cubierta de plástico; **C**. Vista de la entrada principal del vivero.

La función de los viveros establecidos en los municipios de Rabanal y Sabanalarga, consistió en reproducir especies nativas, de diversos hábitos de crecimiento como soporte de la estrategia de restauración ecológica. Este trabajo se dividió en cinco fases:

- 1) Caracterización de la vegetación existente, que permitió evaluar riqueza, abundancia y oferta de semillas (línea base);
- 2) Determinación de los períodos de floración y fructificación para evaluar en qué épocas del año había disponibilidad de semillas;
- 3) Establecimiento de tratamientos pre-germinativos y la realización de ensayos de propagación *in vitro* y *ex vitro*;
- 4) Identificación y análisis de los tipos de sustratos más efectivos para la germinación;
- 5) Consecución de rusticación de material vegetal y formulación de estrategias para los manejos nutricionales y fitosanitarios, que garantizarán la supervivencia plantular.

Estos procedimientos en conjunto, produjeron un porcentaje significativo de obtención de plántulas en cada período (2016 a 2018), atendiendo a los rasgos de historia de vida y los atributos, bajo el modelo de grupos funcionales de plantas requeridas en los diseños de restauración para cada área de intervención. De esta manera, se concretaron unas metas de producción anuales, con las que se desarrollaron las fases de plantación en campo. A través del progreso de estas prácticas, se crearon escenarios de aprendizaje y un aporte local al conocimiento eco-fisiológico de especies nativas y endémicas, que comúnmente no son producidas en viveros comerciales.

2.6 Diseño e implementación de acciones de la restauración

Una vez obtenido y articulado todo un cuerpo de información y conocimiento del área a restaurar, la identificación, valoración y concreción de las estrategias a aplicar son el paso siguiente. Se planteó desde un inicio, la implementación de la técnica de la nucleación, que consiste en la formación de microhábitats como núcleos propicios para el arribo de especies, con el fin de aumentar la posibilidad de ocurrencia de interacciones interespecíficas, y aumentar la diversidad de rutas sucesionales, que favorecen el proceso de restauración. La nucleación permite optimizar recursos y tiempo, dos variables que en áreas protegidas pueden constituirse en barreras para garantizar la integridad ecológica de un territorio. Estas actividades se enfocaron en la recuperación de la estructura, composición y función de las formaciones vegetales, a través de la implementación de técnicas de viverismo y de nucleación.

En los sitios de trabajo, se implementaron diferentes modelos de nucleación, adaptados a las necesidades de cada lugar y a las metas propuestas para alcanzar el proceso de restauración ecológica. Para Sabanalarga, se efectuaron plantaciones tipo hexágono, que corresponden a individuos de especies arbóreas, y se realizaron en áreas donde en medio de la matriz de gramíneas se observan diversas especies nativas principalmente arbustivas colonizando espacios abiertos; plantación del tipo octágono en pequeñas áreas inmersas entre bosques secundarios y matorrales abiertos; y plantación del tipo cuadrado, que permite adaptar la plantación a áreas pequeñas con fines de consolidar coberturas existentes (Fig. 15). En Rabanal, se realizaron plantaciones de tipo octagonal para coberturas de pastizal y herbazales; y de tipo cuadrado para coberturas de arbustales y la plantación forestal (Fig. 16).

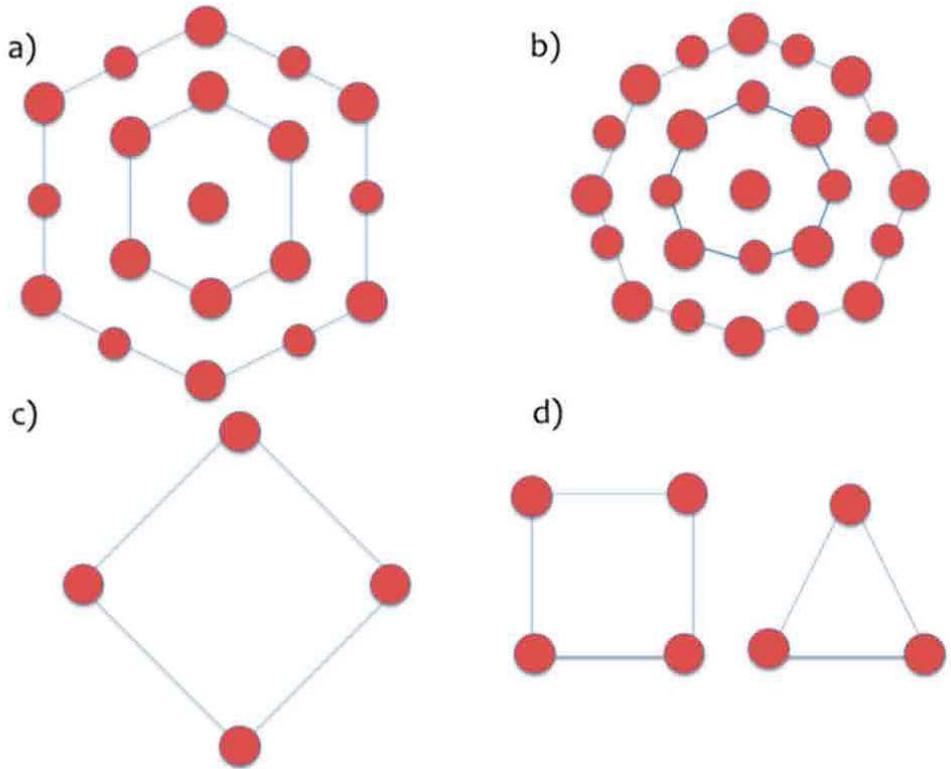


Figura 15. Tipo de plantaciones realizadas para la restauración en Sabanalarga, a saber: **a)** hexágono; **b)** octágono; **c)** cuadrado; **d)** cuadrado o triángulo (tresbolillo) para franjas y corredores de conectividad.

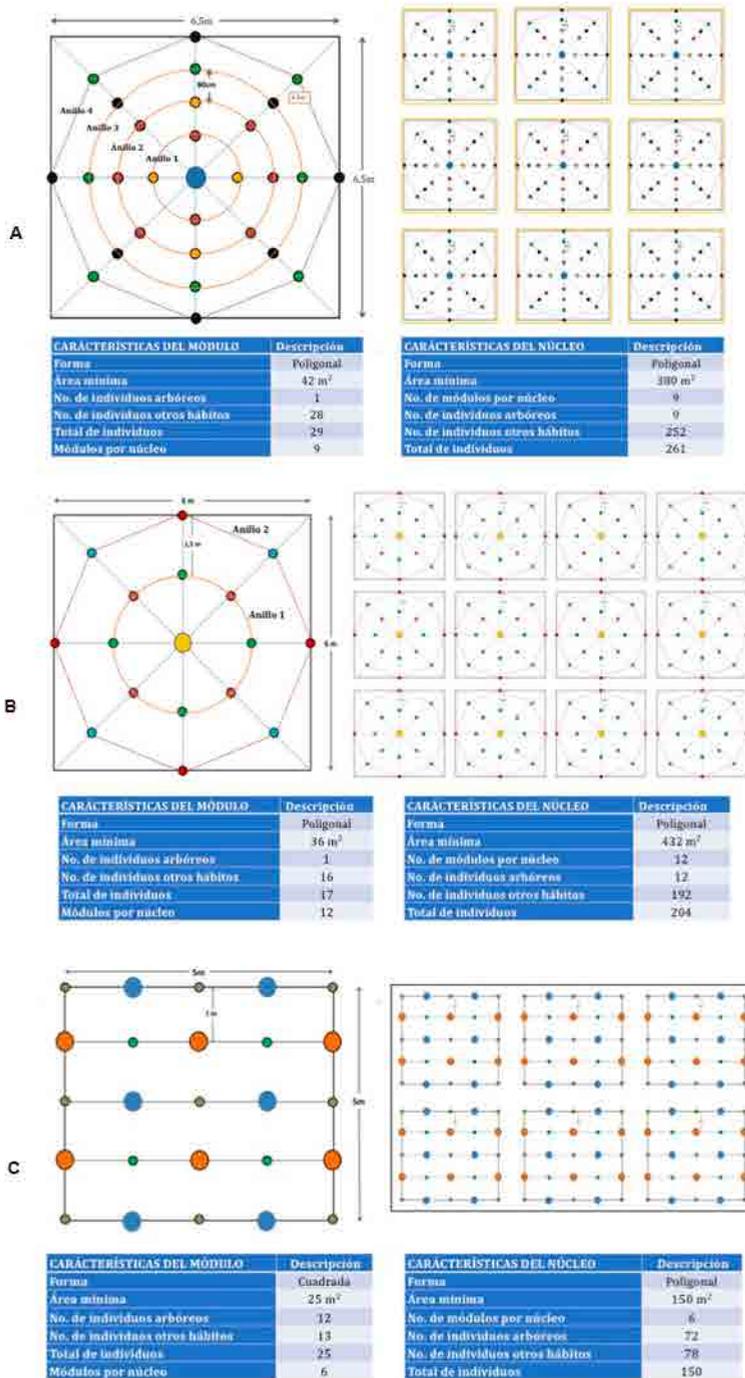


Figura 16. Diseño espacial de plantación para cada tipo de coberturas en Rabanal.
A. Diseño espacial de plantación para la cobertura "mosaico de pastos con espacios naturales";
B. Diseño espacial de plantación para la cobertura "herbaza";
C. Diseño espacial de plantación para la cobertura "arbustal y plantación forestal".

3. FASE III. MONITOREO AL PROCESO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

Se realizó la evaluación y seguimiento a la efectividad de las diferentes acciones encaminadas a la ejecución, estructuración y análisis de información obtenida a partir del monitoreo de las técnicas, métodos y acciones de la restauración ecológica, las cuales se basaron en las propuestas de Puentes-Aguilar (2013), Prado-Castillo (2013), Parques Nacionales Naturales (2010) y SER (2004), así:

- a. **Evaluación de técnicas de viverismo.** Basado en la selección de especies para el proceso de restauración, y una vez iniciadas las técnicas de viverismo, se realizó el seguimiento y monitoreo a las plántulas, a partir de análisis al proceso germinativo y al proceso de endurecimiento.
- b. **Evaluación del proceso de nucleación.** Definidas las especies a utilizar, se llevó a cabo el seguimiento a cada especie y a cada núcleo trimestralmente durante los dos primeros años; y posteriormente, cada semestre, hasta la culminación de las actividades de restauración ecológica. Los datos que se registraron por especie fueron: ampliación de la copa (cobertura, cm), medición de CAP (engrosamiento, cm), valoración de ganancia en altura de individuos (altura, cm), morbilidad (sobrevivencia/mortalidad), y estado fitosanitario (afectaciones biológicas que puedan sufrir los individuos). Respecto al núcleo, se realizan comparaciones directas, análisis de atributos y de trayectoria ecológica. Todas las actividades de la fase de monitoreo contaron con registro fotográfico, para visualizar las actividades desarrolladas, así como para evidenciar y soportar los datos de campo en tiempo y espacio.

4. FASE IV. PROCESO PARTICIPATIVO LOCAL

¿Cuál fue la estrategia de participación comunitaria?

Para el desarrollo del proceso de restauración ecológica, se implementó una estrategia de participación comunitaria, que buscó generar un proceso de apropiación por parte de la comunidad hacia las actividades del proyecto de restauración, constituyendo a los actores locales en protectores a futuro del ecosistema. Así mismo, se logró involucrar a las poblaciones en el desarrollo de algunas labores específicas, no especializadas, promoviendo así su participación laboral en la ejecución de la restauración.

La propuesta metodológica comprendió básicamente actividades de identificación y caracterización de actores clave para el proyecto, y actividades de capacitación ambiental; estas capacitaciones tuvieron un enfoque teórico-práctico y abordaron entre otras temáticas, la flora andina y sus estrategias reproductivas, propagación de semillas, plantación de especies, manejo de residuos en la finca y abonos orgánicos. Adicionalmente, se ejecutaron eventos de encuentro que tuvieron como objetivo la sensibilización y socialización del proyecto.

El trabajo de campo se efectuó en las zonas veredales de los municipios involucrados en el proceso de restauración; donde se implementaron herramientas de recolección de información de la investigación cualitativa, la información se recabó a través de recorridos en la zona, mediante talleres, entrevistas individuales y colectivas, conversaciones informales y observación directa, e información cuantitativa como encuestas.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, A., Rueda-Almonacid, J.V., Rodríguez-Mahecha, J.V. & La Marca, E. (Eds). 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo Nº 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá, D.C.
- Barrantes, G. & Pereira, A. 2002. Seed dissemination by frugivorous birds from forest fragments to adjacent pastures on the western slope of Volcán Barva, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 50: 569-575.
- Bertness, M.D. & Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 191-193.
- Block, W.M., Franklin, A.B., Ward, J.P., Ganey, J.L. & White, G.C. 2001. Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restoration Ecology*, 9(3): 293-303.
- Brenner, D., Krieg, N. & James, T. 2005. *Bergey's manual of systematic bacteriology. Volume 2: The Proteobacteria (Part C)*. 2 Ed. Springer.
- Campbell, P., Comiskey, J., Alonso, A., Dallmeier, F., Núñez, P., Beltrán, H., Baldeón, S., Nauray, W., De la Colina R., Acurio, L. & Udvardy, S. 2002. Modified Whittaker plots as an assessment and monitoring tool for vegetation in a lowland tropical rainforest. *Environmental Monitoring and Assessment*, 76(1): 19-41.
- Cárdenas-Arévalo, G. & Vargas-Ríos, O. 2008. Rasgos de historia de vida de especies en una comunidad vegetal alterada en un páramo húmedo (Parque Nacional Natural Chingaza). *Caldasia*, 30(2):245.
- Cardona, A. 2007. Caracterización del banco de semillas y potencial de regeneración del banco de retoños en tres tipos de vegetación de los alrededores del embalse de Chisacá. En: Vargas, O. (Ed.). *Restauración ecológica del bosque altoandino*, Grupo de Restauración Ecológica. Bogotá, D.C., Universidad Nacional de Colombia.

- Castellanos-Castro, C. & Bonilla, M.A. 2011. Grupos funcionales de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance de un bosque altoandino. *Acta Biológica Colombiana*, 16(1): 153-174.
- Chao, A. & Chiu, C.H. 2016. Species richness: estimation and comparison. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1-26.
- Chao A, Gotelli, N.J., Hsieh, T.C. Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. & Ellison, A.M. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol Monogr.*, 84(1): 45-67.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M. & Gómez, L. 2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4 years study. *Restoration Ecology*, 12(3): 352-358.
- Cisneros, R.L. 2011. La restauración ecológica como una construcción social. Pág. 41-49. En: Vargas, O. & Reyes, S. (eds.). *La restauración ecológica en la práctica: memorias I congreso colombiano de restauración ecológica & II simposio nacional de experiencias en restauración ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia. Pág. 633.
- Corbin, J.D. & Holl, K.D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265: 37-46.
- Crump, M.L. & Scott, N.J. 1994. Visual encounter Surveys. En: Heyer, W.M., Donnelly, A., McDiarmid, R.A., Hayec, L C. & Foster, M.C. (Eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard method for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 364 p.
- Davies, R., Di Sacco, A. & Newton, R. 2015. Germination testing: procedures and evaluation. Technical Information Sheet_13^a. Millennium Seed Bank Partnership, Wakehurst Place, Ardingly, West Sussex RH17 6TN, UK.
- Davy, A.J. 2002. Establishment and manipulation of plant populations and communities in terrestrial systems. In: Perrow, M.R. & Davy, A.J. (Eds.). *Handbook of ecological restoration*. Cambridge University. I: 223-241 pp.
- Díaz-Peláez, M. & Polanía, J. 2017. Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana*, 18: 60-69.
- Figueroa, J.A. & Castro, S.A. 2002. Effects of bird ingestion on seed germination of four woody species of the temperate rainforest of Chiloé Island, Chile. *Plant Ecology*, 160: 17-23.
- Fonseca, C.R. & Ganade, G. 2001. Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 89(1): 118-125.
- Fuentes, B.A. 2011. Estrategias de restauración ecológica participativa del sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia – 2009. Pág. 403-417. En: Vargas, O. & Reyes, S. (eds.) *La restauración ecológica en la práctica: memorias I congreso colombiano de restauración ecológica & II simposio nacional de experiencias en restauración ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia. Pág 633.
- Ehrenfeld, J.G. 2000. Defining the limits of restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8(1): 2-9.
- Evangelista, V., López, J., Caballero, J. & Martínez, M. 2010. Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la Sierra Norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 72:23-38.

- Gil-Leguizamón, P.A. 2016. Análisis multitemporal de la vegetación del Macizo de Bijagual-Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería, Maestría en Ingeniería Ambiental. 116 p.
- Godínez, H. & Flores, A. 1999. Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la Costa de Guerrero: Su utilidad para la restauración ecológica. *Poli-botánica*, 11: 1-19.
- Gotelli, N.J., & Chao, A. 2013 Measuring and estimating species richness, species diversity, and biotic similarity from sampling Data. In: Levin S.A. (ed.) *Encyclopedia of biodiversity*, Second Ed., 5: 195-211.
- Hall, E.R. 1962. Collecting and preparing study specimens of vertebrates. Kansas: Miscellaneous publication - University of Kansas, Museum of Natural History.
- Hérault, B., Honnay, O. & Thoen, D. 2005. Evaluation of the ecological restoration potential of plant communities in Norway spruce plantations using a life-trait based approach. *Journal of Applied Ecology*, 42(3): 536-545.
- Hilty, S.L. & Brown, W.L. 2009. Guía de las aves de Colombia. Asociación Colombiana de Ornitología ACO. 1030 p.
- IAvH. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ), Corporación Autónoma de Chivor (CORPOCHIVOR). 2008. Estudio sobre el estado actual del Macizo del Páramo de Rabanal. Convenio Interadministrativo No. 07-06-263-048 (000404).
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 5a. edición. Olarte Editor, Bogotá. 345 p.
- Insuasty-Torres, J., Gómez-Ruiz, P.A. & Rojas-Zamora, O. 2011. Estrategias para la restauración ecológica de los páramos en áreas afectadas por pastoreo (Parque Nacional Natural Chingaza, Colombia). Pág. 507-525. En: Vargas, O. & Reyes, S. (eds.) *La restauración ecológica en la práctica: memorias I congreso colombiano de restauración ecológica & II simposio nacional de experiencias en restauración ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia.
- Kunz, T. & Parsons, S. 2009. *Ecological and behavioral methods for the study of bats*. Johns Hopkins University Press.
- Lambin, E., Turner, B., G., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G., Svedin, U., Veldkamp, T., Vogel, C. & Jianchu, X. 2001. The causes of Land-use and Land-cover change: moving beyond the myths. En: *Global Environmental Change*, 11(4): 261-269.
- Lips, K.R. & Reaser, J.E. 1999. *El monitoreo de anfibios en América Latina. Un manual para coordinar esfuerzos*. The nature conservancy. United States National Science Foundation. Smithsonian Tropical Research Institute, Ciudad de Panamá, Panamá. Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, México. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Quito, Ecuador.
- Lozano-Zambrano, F., Fernández, F., Jiménez, E. & Arias, T. (eds.). 2009. *Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de*

- Colombia. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia. 617 p.
- McMullan, M., Donegan, T. & Quevedo, A. 2014. Field guide to the birds of Colombia. Fundación ProAves, Bogotá. 362 p.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T—Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- Navarro, J.F. & Muñoz, J. 2000. Manual de huellas de algunos mamíferos terrestres de Colombia. Medellín.
- Noble, I.R. & Slatyer, R.O. 1980. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Succession* (p. 5-21). Springer Netherlands.
- Parques Nacionales Naturales. 2010. Estrategia Nacional de Monitoreo del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Bogotá.
- Prado-Castillo, L.F. 2013. Plan de restauración ecológica del patrimonio natural de las áreas protegidas adscritas a la Dirección Territorial Andes Nororientales. Restauración ecológica y sistemas sostenibles de conservación Dirección Territorial Andes Nororientales Parques Nacionales Naturales de Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Puentes-Aguilar, J.M. 2013. Guía para el monitoreo de proyectos de restauración ecológica en Áreas Protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Pywell, R.F., Bullock, J.M., Roy, D.B., Warman, L.M.Z., Walker, K.J. & Rothery, P. 2003. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology*, 40(1): 65-77.
- Ralph, C., Geupel, G., Pyle, P., Martin, T., Desante, D. & Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.
- Reis, A., Campanha B., F. & Regina-Tres, D. 2010. Nucleation in tropical ecological restoration. *Sci. Agric.*, 244-250.
- Remsen, J.V., Areta, J.R., Cadena, J.I., Claramunt, S., Jaramillo, A., Pacheco, J.F., Pérez-Emán, J., Robbins, M.B., Stiles, F.G., Stotz, D.F. & Zimmer, K.J. 2017. Versión [date]. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>.
- Ríos, L.N. & Aide, T.M. 2007. Herpetofaunal dynamics during secondary succession. *Herpetologica*, 63: 35-50.
- Ruíz, V., Savé, R. & Herrera, A. 2013. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el paisaje terrestre protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. En: *Ecosistemas*, 22(3): 117-123.
- SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Turner, B., Lambin, E. & Reenberg, A. 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. En: *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 104(52): 206-266.
- Turner, M., Gardner, R.H. & O'Neill, R.V. 2001. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. Springer-Verlag, New York.

- Vargas, R.O. 2011. Los pasos fundamentales en la restauración ecológica. Pág. 19-40. En: Vargas, O. & Reyes, S. (eds.). La restauración ecológica en la práctica: memorias I congreso colombiano de restauración ecológica & II simposio nacional de experiencias en restauración ecológica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia.
- Vargas, R.O. (Ed.). 2007. Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Vaz-de-Mello, F., Edmonds, W., Ocampo, F. & Schoolmeesters, P. 2011. A multi-lingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae of the New World (Coleoptera: Scarabaeidae). *Zootaxa*, 2854(1): 1-73.
- Vieira, D.L.M., Holl, K.D. & Peneireiro, F.M. 2009. Agro-succesional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Restoration Ecology*, 17: 451-459.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. & Umaña, A.M. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Segunda edición. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Voss, R.S., Lunde, D.P. & Simmons, N.B. 2001. The mammals of Paracou, French Guiana: a Neotropical lowland rainforest fauna, Part 2: Non volant species. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1-236.
- Voss, R.S. & Emmons, L.H. 1996. Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforests: a preliminary assessment. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1-115.
- Wilson, D. & Reeder, D. 2005. Mammal species of the world. Obtenido de mammal species of the world: <http://vertebrates.si.edu/msw/mswcfapp/msw/index.cfm>
- Wilson, D.E., Cole, F.R., Nichols, J.D., Rudran, R. & Foster, M.S. 1996. Measuring and monitoring biological diversity: standard methods for mammals. Washington: Smithsonian Institution Press.
- Yarranton, G.A. & Morrison, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology*, 62(2): 417-428.



