

CAPÍTULO 3

ABORDAJE

METODOLÓGICO



**Viviana Maritza Alvarado-Fajardo^{1,2}, Luis Fernando Prado-Castillo^{1,2}, Alexander Sabogal-González³,
David A. Luna-Sarmiento³**

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

²Grupo de Investigación Sistemática Biológica (SisBio), Herbario UPTC. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

³Centro de Investigación en Acarología SAS

INTRODUCCIÓN

Los interesados en la restauración ecológica desde una perspectiva investigativa y de desarrollo, pretenden identificar 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 (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); lo cual 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 corresponde a "cualquier elemento biológico o abiótico capaz de generar dentro de las comunidades a restaurar, nuevas poblaciones a través de la facilitación y 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 realizada en el sector de Golconda (PNN SYA) tanto en flora, fauna, suelo y sociedad.

¿CÓMO SE ABORDÓ LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA?

Abordar la restauración ecológica implica integrar la espacialidad de los ecosistemas 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 la unidad

ecológica Golconda, como integrador de diferentes componentes espaciales (coberturas) que interactúan entre sí; estas escalas permitieron definir cambios espacio temporales, principalmente de las 16,18 ha. 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	Sector del flanco oriental PNNs Yariguíes	Composición/ Estructura	Vegetación
	Sector de la Microcuenca Cincomil	Composición/ Estructura	Vegetación
Ecosistemas	Sector de la Golconda	Función	-Vegetación -Fauna (entomofauna, herpetofauna, avifauna, mastofauna) -Suelo
Comunidades	Área de intervención 16,18 ha	Composición	-Vegetación -Fauna (entomofauna, herpetofauna, avifauna, mastofauna) -Suelo

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

El proyecto de restauración ecológica de 16,18 ha en el sector de la Golconda en el PNN SYA, se dividió en cuatro fases (Fig 1). La primera fase correspondió al diagnóstico desde una escala de paisaje, ecosistema y de comunidades, permitiendo establecer las bases del proceso de restauración. La fase de diseño e implementación de las técnicas de restauración, que se soportó en la información de línea base, planteó 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 permitieron determinar cambios ecológicos deseados y no deseados, además de tomar decisiones en cuanto a las condiciones del ecosistema 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 de un 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, permite estimar 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 además de 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, debido al 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 cómo 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 se obtuvieron en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y en 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, permitió generar 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).

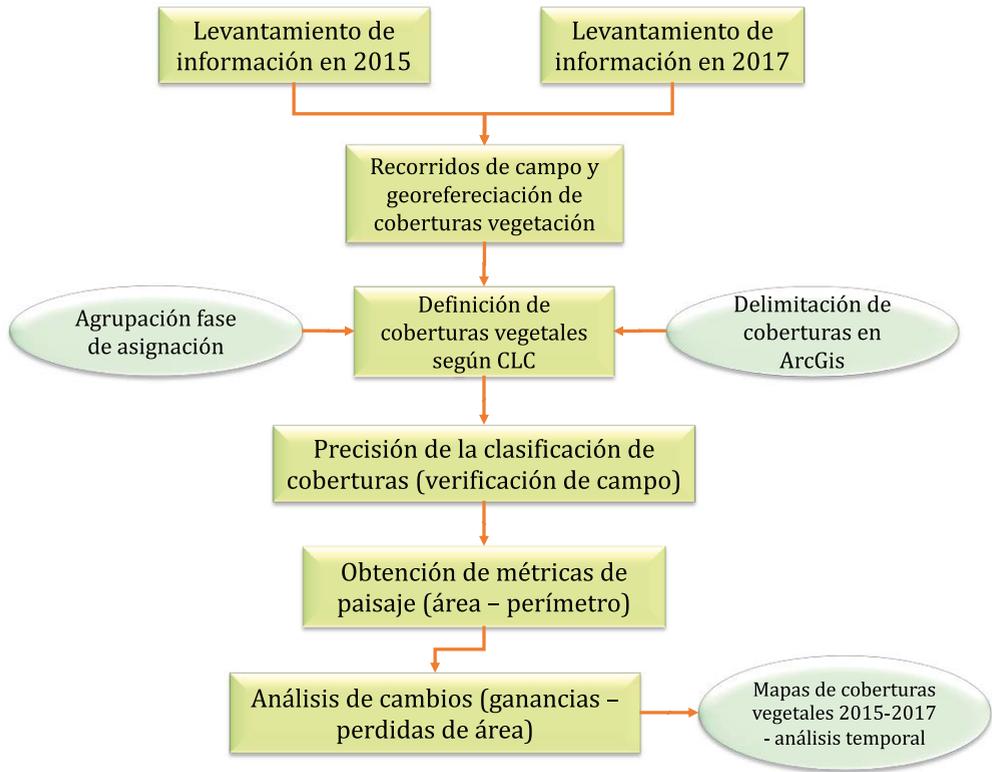


Figura 2. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica del análisis de imágenes satelitales e identificación de coberturas y ocupaciones del suelo (modificado de Gil-Leguizamón, 2016).

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 contigua 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?

Se realizaron parcelas modificadas de Whittaker (parcelas de multiescalas de 0.1 ha) (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) \geq a 1 cm; 3) una subparcela central de 20 x 5 m, en la cual se evaluaron todos los árboles con DAP \geq a 5 cm. En la parcela principal (50 x 20 m), se revisaron todos los árboles con DAP \geq a 10 cm, excluyendo los contados en las subparcelas. En todos los casos se tomaron datos del DAP y la altura de cada individuo evaluado.

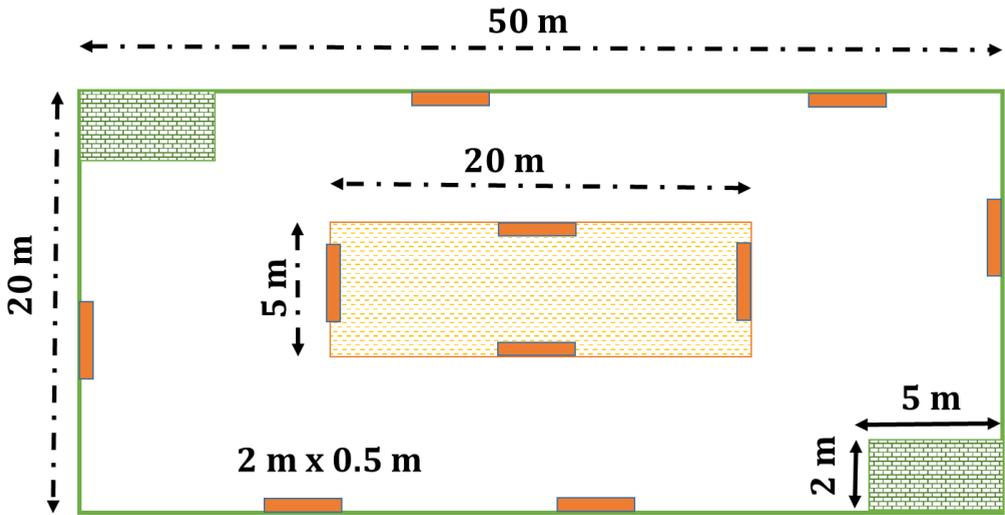


Figura 3. Diseño muestral para la caracterización de la flora vascular (modificado de Campell et al., 2002).

El material fue herborizado en el Herbario UPTC, determinado y corroborado con bibliografía especializada principalmente: Gentry (1993), Pedraza et al. (2004), entre otras. Toda la información fue consignada en una matriz de datos de Excel para su posterior análisis, las muestras reposan en el Herbario UPTC.

Para cada cobertura vegetal identificada como ecosistema de referencia, se obtuvieron perfiles de vegetación horizontales y verticales, así como, tablas de riqueza de especies, índices de diversidad alfa (Shannon y Simpson), índice de predominio fisonómico (IPF) y el índice de valor de importancia (IVI), se calculó el porcentaje de recambio de especies (Whittaker); cálculos que permitieron incorporar los diversos hábitos de la vegetación, para identificar variaciones en la composición y la estructura de la misma a corto, mediano y largo plazo.

1.3 Banco de semillas germinable

Con el propósito de tener información comparable para entender las dinámicas ecológicas en términos de la composición del Banco de Semillas Germinable (BSG), se recolectaron tres muestras por cada una de las coberturas vegetales identificadas (Rastrojos Altos, Rastrojos Bajos y Pastizales) a lo largo del área de estudio.

Las muestras de suelo fueron tomadas de un área de 10 cm² y a una profundidad máxima de 5 cm con relación a la superficie (Kalesnik et al., 2013). Las muestras recolectadas pasaron directamente a cámaras de germinación cerradas, con el fin de evitar la contaminación (Fig. 4). El tiempo de espera para la germinación e identificación del material vegetal para cada una de las muestras fue de tres meses. Se identificó cada uno de los individuos emergentes y se estimó la riqueza por tipo de cobertura, además, se estimaron índices de diversidad alfa (Shannon y Simpson); sumado a esto, se valoró el porcentaje de similitud por medio del índice de Jaccard, entre las diferentes coberturas y las especies del BSG de cada cobertura muestreada.



Figura 4. Camas de germinación para cada una de las repeticiones por tipo de cobertura

1.4 ¿Cómo se abordó el componente de fauna?

Entomofauna (Coleoptera, Hymenoptera y Lepidoptera)

Como modelos ideales para programas de inventario y monitoreo de biodiversidad, los escarabajos coprófagos, mariposas diurnas y hormigas, cumplen con criterios básicos para la ejecución de este tipo de estudios, ya que su taxonomía es relativamente bien conocida, por su abundancia y un sencillo muestreo; 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, y están estrechamente relacionados con otras especies (Villarreal et al., 2006).

Para el muestreo de los grupos de interés, en cada cobertura se realizó un transecto de 300 m, el cual estaba dividido en diez estaciones separadas entre sí cada 30 m, en cada estación se aplicaron métodos de muestreo específicos para cada grupo taxonómico. Las técnicas utilizadas para cada grupo 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. 5). Las trampas fueron cebadas 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 de que el atrayente era atún (Fig. 6 A-C) (Lozano-Zambrano et al., 2009).
- **Sacos mini Winkler:** para esta técnica, se realizó la extracción de 1 m² de hojarasca (en las coberturas que tuvieran este estrato), se tamizó, y el material cernido se colocó en un saco mini Winkler durante 48 horas (Mendoza et al., 2007; Lozano-Zambrano et al., 2009).



Figura 5. Muestreo de escarabajos coprófagos. **A.** Montaje de trampas pitfall; **B.** Trampa de caída con cebo excremento humano; **C-D.** Montaje final trampa de caída pitfall.

- **Mariposas diurnas (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea) (Fig. 7).**

- **Recolecta directa por jameo:** consistió en la captura de individuos con jama, para ello, se hicieron recorridos desde las 9:00 hasta las 15:00 horas en cada transecto, durante dos días. Además, este muestreo fue complementado con capturas libres, efectuadas por medio de caminatas con una intensidad de muestreo de dos horas hombre por cobertura.

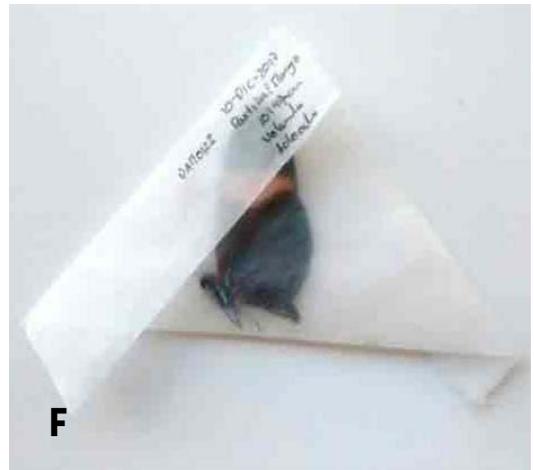
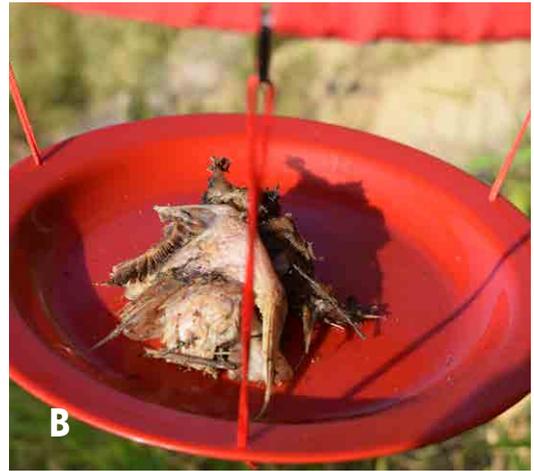


Figura 7. Metodologías para captura de mariposas. **A.** Montaje de trampas van Someren-Rydon; **B.** Cebo pescado en descomposición para trampas van Someren-Rydon; **C.** Montaje final trampas; **D.** Captura de mariposas por medio de jameo; **E.** Sacrificio de ejemplar; **F.** Almacenaje de ejemplar.

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 (Fig. 7E-F). En el laboratorio las muestras de trampas de caída y Winkler fueron limpiadas, procesadas, y los individuos separados fueron montados en alfileres entomológicos con sus respectivas etiquetas de recolección (Figs. 7D, 8 y 9). 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 fueron depositados en la colección entomológica del Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC, Tunja).



Figura 8. Colección de referencia de escarabajos coprófagos.

Para analizar la diversidad Alfa en escarabajos y hormigas se calcularon estimadores de riqueza no paramétricos (Moreno, 2001), y curvas de acumulación de especies para evaluar la efectividad del muestreo (Chao & Chiu, 2016); el cómputo de números de Hill (órdenes de diversidad q_0 , q_1 y q_2) 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 realizó un análisis de correspondencia sin tendencia (DCA) para observar el gradiente de especies a lo largo de las coberturas, y así evidenciar el recambio de especies (ter Braak & Šmilauer, 2015).



Figura 9. 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 realizó la caracterización y registro de la herpetofauna presente en cinco coberturas vegetales: Bosque Secundario (BS), Bosque Ripario (BR), Matorrales Densos (MD), Pastizal (PA) y Helechal (HE) (Fig. 10), y se utilizó la técnica de Registro por Encuentro Visual (REV) (Crump & Scott, 1994). Esta técnica permite 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). Se realizaron transectos de 100 x 4 m, los cuáles se ubicaron aleatoriamente, 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. La técnica consistió en caminar cuidadosa y silenciosamente, a través de los transectos, mediante búsqueda visual y auditiva de anfibios, salamandras, serpientes y lagartos (Figs. 11 A-D). En la captura de especímenes se siguieron los protocolos de bioseguridad, para prevenir enfermedades en los anfibios y reptiles (Angulo et al., 2006) (Figs. 11 E-F).

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 tuvieron en cuenta, las condiciones climáticas (soleado, nublado y lluvioso), se tomaron medidas morfométricas (longitud hocico-cloaca, LHC), el peso corporal, hora de registro y/o captura y tipo de actividad en el momento de la captura. Se registró toda la información básica sobre la actividad y el sustrato donde se encontró.

Para el trabajo con este grupo de animales, se utilizó la técnica de captura-recaptura, cada individuo fue capturado directamente y marcado por combinaciones de colores visible a través de una lámpara UV. Esta técnica consiste en un implante llamado Elastómero Visible (VIE), es un material cuya base es silicona de dos-partes que se mezcla antes de su uso. Las etiquetas VIE, se inyectan como líquido, que rápidamente se solidifica de una manera flexible y biocompatible. Las etiquetas fueron implantadas debajo de tejido transparente o traslúcido; y son visibles externamente, de tal manera que dejan una marca en el individuo (Fig. 12). El animal se manipuló lo menos posible y la liberación se realizó rápidamente en el mismo lugar de captura (Lips & Reaser, 1999).



Figura 10. Coberturas vegetales muestreadas. **A.** Bosque Secundario (BS); **B.** Matorral denso (MD); **C.** Helechal (HE); **D.** Pastizal (PA); **E.** Bosque Ripario (BR).



Figura 11. Metodología empleada para el desarrollo de los monitoreos de anfibios y reptiles. **A-B.** Búsqueda libre y sin restricciones en jornadas diurnas y nocturnas; **C-D.** Búsqueda en todos los microhábitats posibles en las coberturas vegetales monitoreadas; **E-F.** Transporte y liberación de ejemplares siguiendo los protocolos de bioseguridad.

Los datos tomados 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. Posteriormente, se continuó esta labor en el laboratorio con el apoyo de equipos ópticos como estereoscopios y claves taxonómicas especializadas y material depositado en el Museo de Historia Natural de la UPTC.



Figura 12. Técnica de marcaje con VIE en las poblaciones de salamandras. **A.** Observación y captura de *Bolitoglossa guaneae*; **B.** Preparación de las tintas bioluminiscentes; **C.** Fotografía y medidas morfométricas de cada ejemplar; **D.** Marcaje con código para cada individuo.

Los monitoreos se realizaron en diferentes épocas climáticas, de lluvias, transición y sequía. Se aplicó la misma técnica desarrollada para la línea base, pero se complementó con un muestreo general libre y sin restricciones (Angulo et al., 2006), esto con el objetivo de observar si existieron cambios en riqueza y abundancia de especies en las áreas monitoreadas. También se mantuvo un monitoreo constante a dos poblaciones de salamandras de la especie *Bolitoglossa guaneae* en las coberturas BS y BR, con el objetivo de determinar sus cambios en abundancia y patrones de movimiento a lo largo del tiempo, y si existen nuevas colonizaciones en las zonas restauradas. Los individuos pertenecientes a estas poblaciones, se marcaron con un VIE, que facilitó el monitoreo (Fig. 13).

El análisis de la información obtenida para la fauna de anfibios y reptiles, consistió en la comparación por cobertura de la composición y estructura de este ensamblaje, utilizando curvas de rarefacción-extrapolación para cada uno de los órdenes de diversidad (q_0 , q_1 y q_2) (Chao et al., 2014). Del mismo modo se hizo un análisis de ordenamiento multivariado DCA, para observar el recambio de especies entre las diferentes coberturas evaluadas (ter Braak & Šmilauer, 2015).

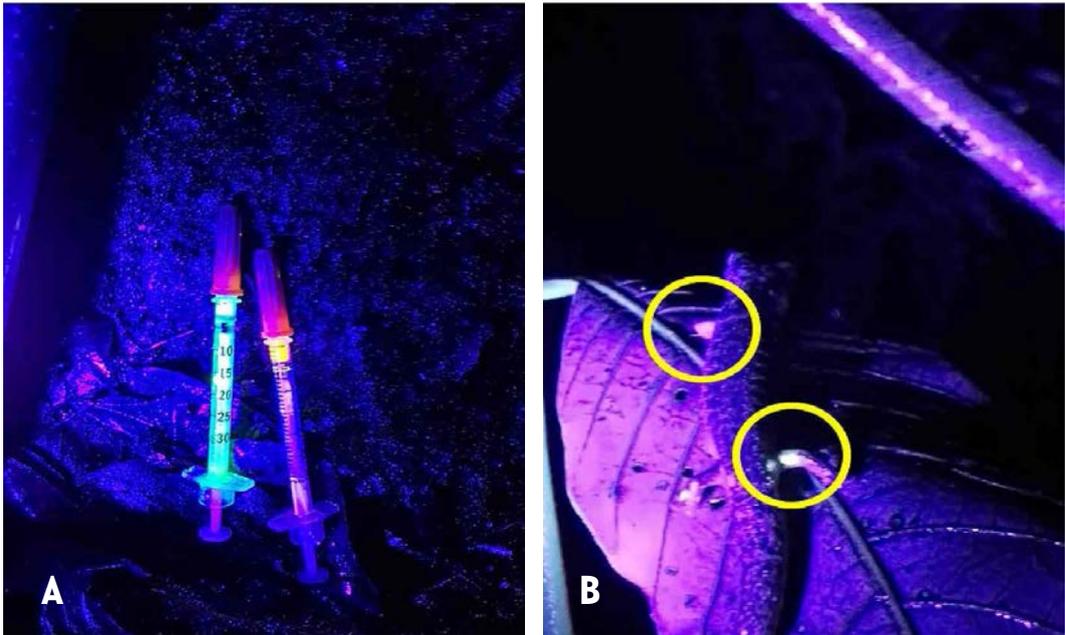


Figura 13. Marcate y evidencia del marcaje de Salamandra (*Bolitoglossa guaneae*) en campo. **A.** Jeringas con pintura de Implantes de Elastómeros Visibles (VIE); **B.** Salamandra marcada con VIE para seguimiento y monitoreo.

1.5 ¿Cómo se analizó el componente suelo?

Se tomaron muestras de suelo en las diferentes coberturas vegetales identificadas, las muestras recolectadas para los análisis microbiológicos y fisicoquímicos fueron almacenadas en bolsas Ziploc y transportadas en neveras portátiles al laboratorio.

• **Parámetros fisicoquímicos**

Se tomaron muestras de aproximadamente 1 kg de suelo a 20 cm de profundidad, por medio de un barreno manual, con base a los lineamientos del laboratorio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (1990). 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 g 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. El número de bacterias aeróbicas totales se estimaron como unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC g⁻¹).

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 efectuaron 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). Igualmente, 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, teniendo en cuenta 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 los estados ideales y las condiciones en que un esfuerzo de restauración se proyecta lograr, así como, previamente identificar las áreas a intervenir, establecer los alcances que se puedan generar en función de recursos, el contexto sociopolítico, socioeconómico y cultural, 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 (Tabla 2).

Tabla 2. Meta de restauración, indicadores y criterios de cumplimiento.

Meta	Indicadores	Criterio de cumplimiento
Incremento de la ocupación de especies nativas (arbóreas y arbustivas) en áreas de pastizales abandonados en al menos el 50 % del área total intervenida mediante estrategias de plantación al segundo semestre de 2017 y al menos el 80 % al segundo semestre de 2018	Distribución de edades en grupos	≥ 50 % de individuos en etapa plántula al segundo semestre de 2017 ≥ 75 % de individuos en etapa juvenil I al segundo semestre de 2018
	Supervivencia de las plantaciones	≥ 50 % de individuos al segundo semestre de 2017 ≥ 75 % de individuos al segundo semestre de 2018
Reducción de la ocupación de especies de gramíneas exóticas en áreas de pastizales abandonados en al menos el 30 % del área total intervenida mediante estrategias de plantación al segundo semestre de 2017 y al menos el 60 % al segundo semestre de 2018	Recambio de especies	≥ 50 % de especies observadas al segundo semestre de 2017 son nativas ≥ 75 % de especies observadas al segundo semestre de 2018 son nativas
	Distribución de atributos vitales	Distribución de formas de vida (plantas)

Meta	Indicadores	Criterio de cumplimiento
Reducción de la ocupación de la especie <i>Pteridium arachnoideum</i> en áreas donde domina en al menos el 30 % del área total intervenida mediante estrategias de plantación al segundo semestre de 2017 y al menos el 80 % al segundo semestre de 2018	Cobertura de vegetación secundaria baja arbolado	<p>≥ 30 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por especies nativas en las fases de vida plántula y juvenil I al segundo semestre de 2017</p> <p>≥ 75 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por especies nativas en las fases de vida juveniles I al segundo semestre de 2018</p>
	Cobertura de gramíneas exóticas	<p>< 80 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por gramíneas exóticas al segundo semestre de 2018</p> <p>< 60 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por gramíneas exóticas al segundo semestre de 2018</p>
	Cobertura de <i>Pteridium arachnoideum</i>	<p>≤ 90 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por <i>Pteridium arachnoideum</i> al segundo semestre de 2017</p> <p>≤ 50 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por <i>Pteridium arachnoideum</i> al segundo semestre de 2018</p>
	Gremios o grupos funcionales (entomofauna y herpetofauna)	Distribución de formas de vida (entomofauna y herpetofauna)
	Dispersión (cambio en banco de semillas)	Composición de banco de semillas
	Recambio de especies (microorganismo del suelo)	Diversidad de formas de vida (microorganismos del suelo)

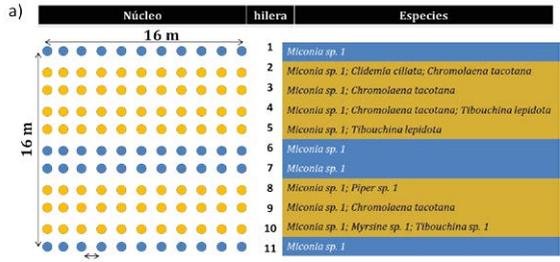
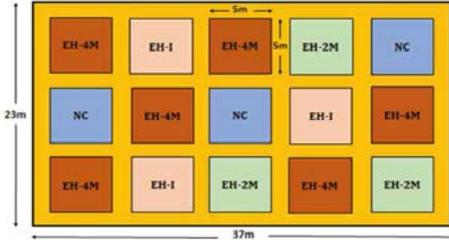
2.3 Diseño e implementación de acciones de la restauración

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 (Fig. 14), 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.

A. Diseño Experimental

Tratamientos	Niveles de Factor
1. Control de Helecho (EH)	1. Control manual de <i>Pteridium aquilinum</i> solo al inicio de la implantación del núcleo (EH-1)
	2. Control manual de <i>Pteridium aquilinum</i> cada dos (2) meses (EH-2M)
	3. Control manual de <i>Pteridium aquilinum</i> cada cuatro (4) meses (EH-4M)
2. Núcleos Control (NC)	Delimitación de núcleos sin intervención alguna (NC)

B. Distribución de parcelas (3 repeticiones por nivel de factor; 6 para EH-4M)



b)

ítem	Descripción
NÚCLEO	
Forma	Cuadrado
Número de núcleos	12
Área x núcleo	256 m ²
Área total	3.584 m ² (0,36 ha)
No. de individuos x núcleo	121
No. de individuos total	1452

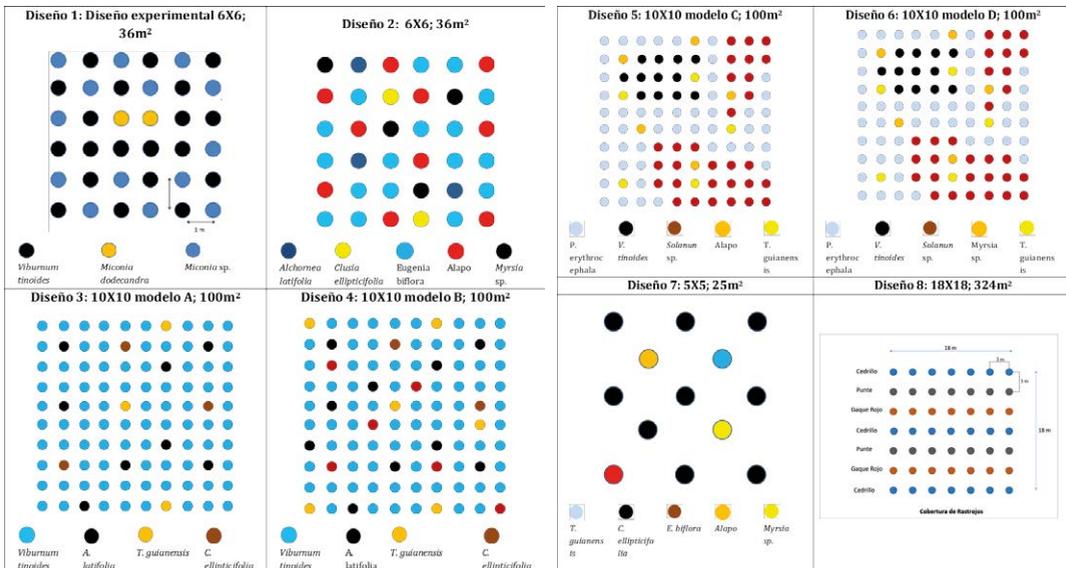
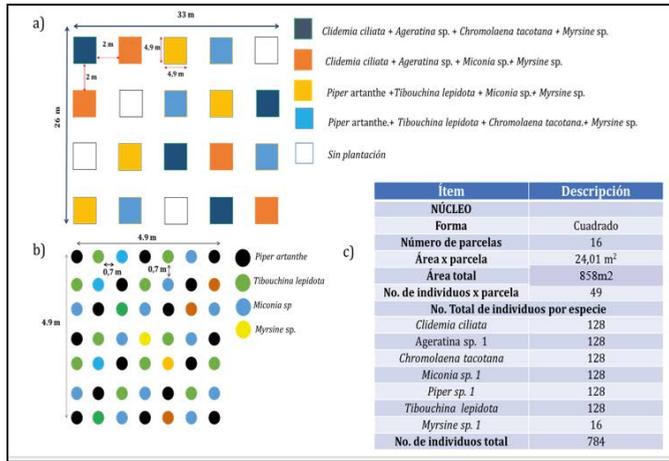


Figura 14. Diseños de núcleos implementados en el sector de la Golconda.

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.
 - **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 debilitar la testa, así (Godínez & Flores, 1999):
 - a) Frotar las semillas hasta que se adelgace o fracture 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, y
 - e) Sumergir las semillas en agua por 12 o 24 horas.

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 establecimiento (IAvH, 2008). Se construyó un vivero que estaba constituido por: zona germinativa, zona de reposo o aclimatación, zona de laboreo y depósito, adecuación de camas y suministros, depósito de sustrato, y compostera (para mayores detalles ver el Capítulo 4).

La función del vivero forestal establecido en PNN SYA, consistió en reproducir especies vegetales nativas de diversos hábitos de crecimiento (arbóreo, arbustivo, subarbustivo, herbáceo-leñoso), para la puesta en marcha de la estrategia de restauración ecológica en el sector de la Golconda: este trabajo se dividió en cinco fases:

- 1) Caracterización de la vegetación existente, que permitió evaluar riqueza, abundancia y oferta de semillas (basado en el estudio florístico de la zona);
- 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 garantizaran la supervivencia plantular.

Estos procedimientos en conjunto, produjeron un porcentaje significativo (> 95%) 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, que permitieron desarrollar las fases de plantación en campo. A través del desarrollo 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.

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 realizó 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 la circunferencia (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.
- c. Árboles Aislados en pastizales.** Con el fin de estudiar la importancia relativa de los árboles aislados en la sucesión ecológica secundaria hacia la matriz de gramíneas, y por tanto, su valoración como estrategia de restauración ecológica en el PNN SYA, se diseñó un experimento para analizar el efecto de los árboles aislados en la sucesión ecológica. Se identificaron 17 árboles aislados en las 16,18 ha en proceso de restauración, se identificaron a especie, y se les tomó registro de características como: ramificación, forma del árbol, distancia a bosques de coberturas circundantes.

Se establecieron cuatro subparcelas de 1 m² bajo el dosel de los 17 árboles, cada subparcela se dividió en cuatro cuadrantes de 50 cm², en los cuales, se realizó el levantamiento florístico y se determinó la composición, la riqueza y la abundancia de las especies. Con el propósito de evidenciar los efectos de los árboles sobre la regeneración natural, se establecieron cuatro parcelas control de 5 m² cada una con cuatro subparcelas de 1 m² con sus respectivos cuadrantes de 50 cm² en áreas de pastizales abiertos, distribuidas a lo largo del área de estudio (Fig. 15).

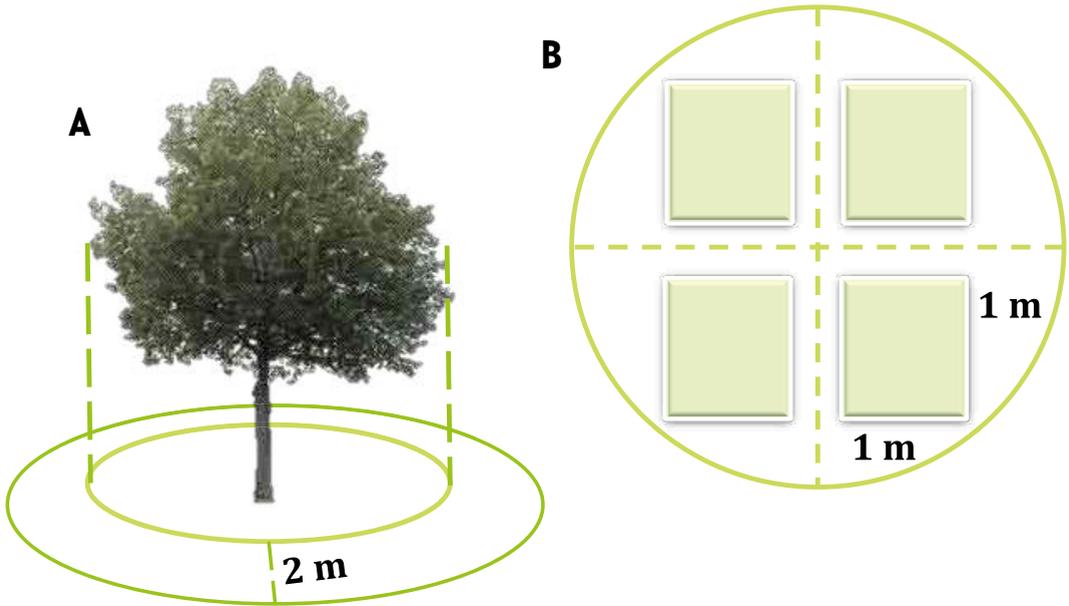


Figura 15. Representación gráfica del método para monitoreo de perchas naturales. **A.** Árbol aislado con área de muestreo; **B.** Ubicación de las subparcelas de muestreo.

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 sentido 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 que las poblaciones involucradas en el desarrollo de algunas labores específicas, no especializadas, promovieran 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 del municipio el Hato, departamento de Santander, donde se implementaron herramientas de recolección de información de la investigación cualitativa, la cual 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- Gentry, A. 1993. Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical montane forests. En: Churchill, S.P., Balslev, H., Forero, E. & Luteyn, J.L. (Eds.). *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*. The New York Botanical Garden, 1: 103–126.
- 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. *Polibotánica*, 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.
- 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.
- Kalesnik, F., Sirolli, H. & Collartes, M. 2013. Seed bank composition in a secondary forest in the Lower Delta of the Paraná River (Argentina). *Acta Botanica Brasilica*, 27(1): 40–49.
- 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.
- Mendoza, J., Jiménez, E., Lozano-Zambrano, F.H., Caycedo-Rosales, P.C. & Renjifo, L.M. 2007. Identificación de elementos del paisaje prioritarios para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales de los Andes Centrales de Colombia. En: Harvey, C.A. & Sáenz, J.C. (eds.). Editorial InBio. Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica. Costa Rica.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T—Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- Parques Nacionales Naturales. 2010. Estrategia Nacional de Monitoreo del Sistema de Parques Nacionales Naturales. Bogotá.
- Pedraza-Peñalosa, P., Betancur, J. & Franco-Rosseli, P. 2004. Chisacá, un recorrido por los páramos andinos. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 340 p.
- 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.
- Reis, A., Campanha B., F. & Regina-Tres, D. 2010. Nucleation in tropical ecological restoration. *Sci. Agric.*, 244-250.
- Rios, 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.
- Ter Braak, C.J.F. & Šmilauer, P. 2015. Topics in constrained and unconstrained ordination. *Plant Ecology*, 216: 683-696.
- 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-successional 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.
- Yarranton, G.A. & Morrison, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology*, 62(2): 417-428.



