

CAPÍTULO 3

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ALTOANDINO EN LA VEREDA MONTOYA (VENTAQUEMADA, BOYACÁ): DIAGNÓSTICO, DISEÑO Y PROPAGACIÓN DE ESPECIES NATIVAS



Pablo Andrés Gil-Leguizamón¹, Diana Patricia Caro-Melgarejo¹⁻², William Javier Bravo-Pedraza¹, Rafael Alejandro Solano³, Nohora Alba Camargo-Espitia¹, Oscar Felipe Moreno-Mancilla¹, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco¹, Javier Andrés Muñoz-Avila¹⁻², Andrés Felipe Morales-Alba¹⁻², John Edison Reyes Camargo¹, David Ricardo Hernández-Velandia¹⁻², Wilderson Medina¹, Clodomiro Gil Reina⁴, Ramiro Jerez Cárdenas⁴, Eduardo Moreno Rodríguez⁴, Luis Fernando Prado-Castillo¹⁻²

¹Sistemática Biológica, Herbario UPTC, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

²Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

³Independiente

⁴Viverista y apoyo en actividades de campo.

ÁREA DE ESTUDIO

El macizo de Rabanal se encuentra ubicado en el sector central de la Cordillera Oriental, dentro de las coordenadas 05°24'35,7"N y 73°36'33,0"W; ocupa un área aproximada de 17567 ha, distribuidas entre los 3200–3585 m, y comprende una variedad de ecosistemas de páramo, humedales, embalses, praderas, bosques andinos y altoandinos; distribuidos entre los departamentos de Cundinamarca (municipios de Guachetá, Lenguaque y Villapinzón) y Boyacá (Ventaquemada, Samacá y Ráquira), este último área específica de este trabajo (Fig. 1).

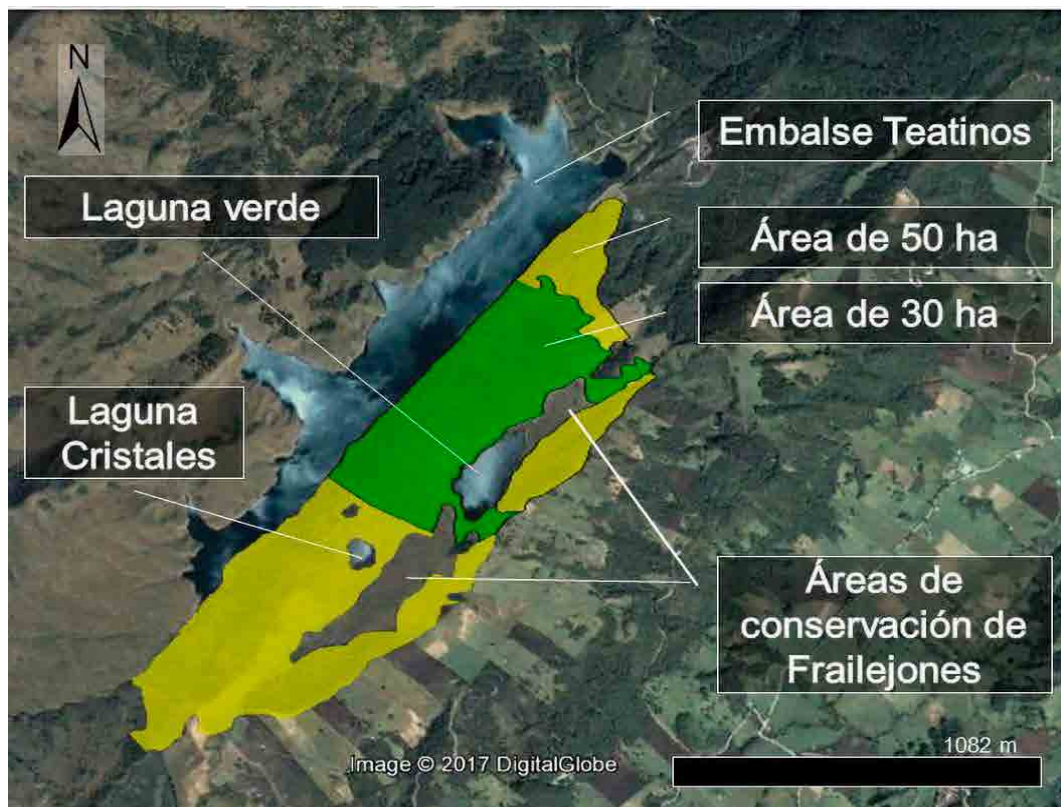


Figura 1. Área de influencia directa del proyecto de restauración. En total fueron intervenidas 80 ha con diversas técnicas de restauración ecológica en la vereda Montoya, Municipio de Ventaquemada (Boyacá). Se observa en amarillo el área correspondiente a 50 ha (tres polígonos) y en verde el área correspondiente a 30 ha (un polígono). Se han excluidos dos sectores para abordar la restauración de bosques altoandinos debido a que son pajonales-frailejones de interés para la preservación. Imagen de *Google Earth Pro 2017*.

En el Páramo de Rabanal existen diferentes categorías de conservación, entre ellas: el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Rabanal, constituido en el año 2011, comprende una extensión aproximada de 6639,4 ha en jurisdicción de CORPOCHIVOR y en ella se permiten —entre otras actividades— la restauración

ecológica. Una de las áreas prioritarias para abordar acciones de restauración en el DRMI Rabanal, es la comprendida por la Laguna Verde y sus alrededores, debido a su alto grado de deterioro que contrasta con su importancia estratégica en la conservación y mantenimiento de la oferta hídrica (CORPOCHIVOR, 2014) (Fig. 2).

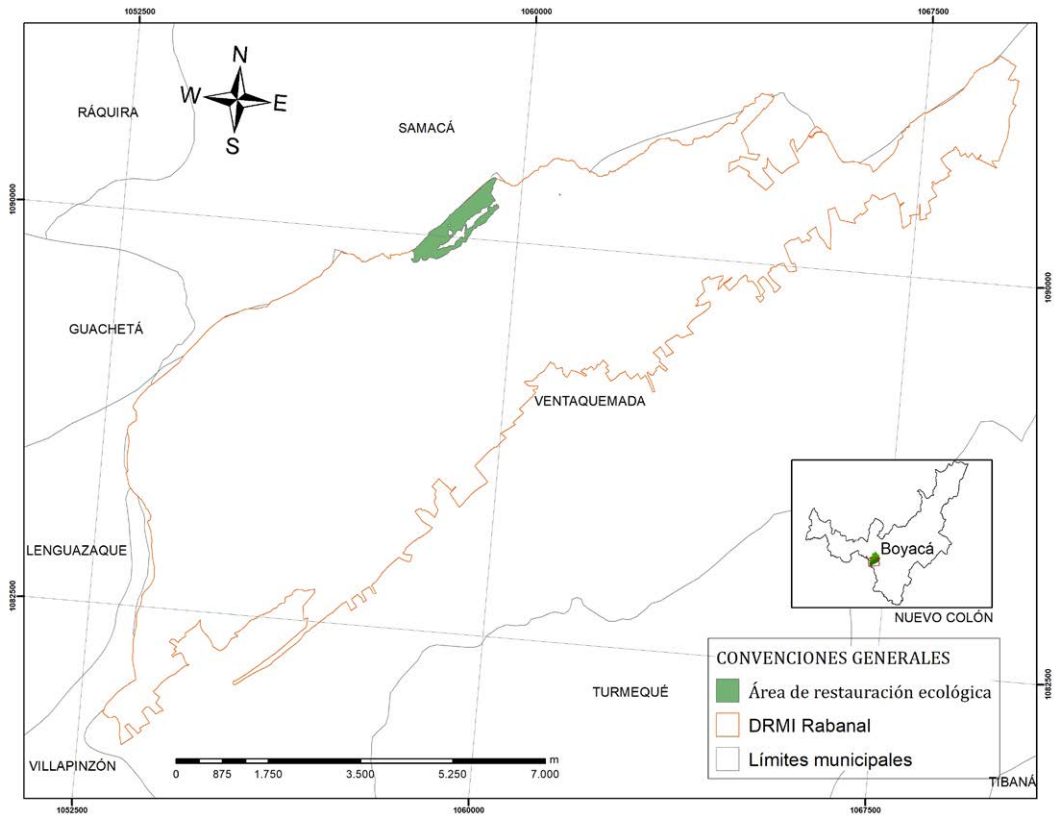


Figura 2. Distrito Regional de Manejo Integrado Rabanal. En jurisdicción de CORPOCHIVOR, comprende zona rural de los Municipios de Ventaquemada, Samacá y Ráquira (Boyacá). El área de restauración se ubica en la vereda Montoya, Municipio de Ventaquemada.

Las 80 ha intervenidas, corresponden a zonas prioritarias para la restauración ecológica en el sector de la Laguna Verde y sus alrededores. Comprenden antiguas áreas de bosque altoandino degradadas por el uso agropecuario, que tras el abandono en diversos tiempos, dieron origen a diferentes tipos de coberturas de vegetación nativa (p. ej.: arbustales y especies de páramo), y pequeños sectores de plantaciones de especies forestales exóticas abandonadas, sobre márgenes hídricos de la Laguna Verde, entre ellas *Acacia melanoxylon*; así como, frailejonales de alto valor de conservación por la presencia de especies como *Espeletia murilloi* Cuatrec., *E. boyacensis* Cuatrec. y *Espeletiopsis rabanalensis* S. Díaz, que no fueron intervenidas en este estudio, pero hacen parte de su entorno paisajístico (Fig. 3).

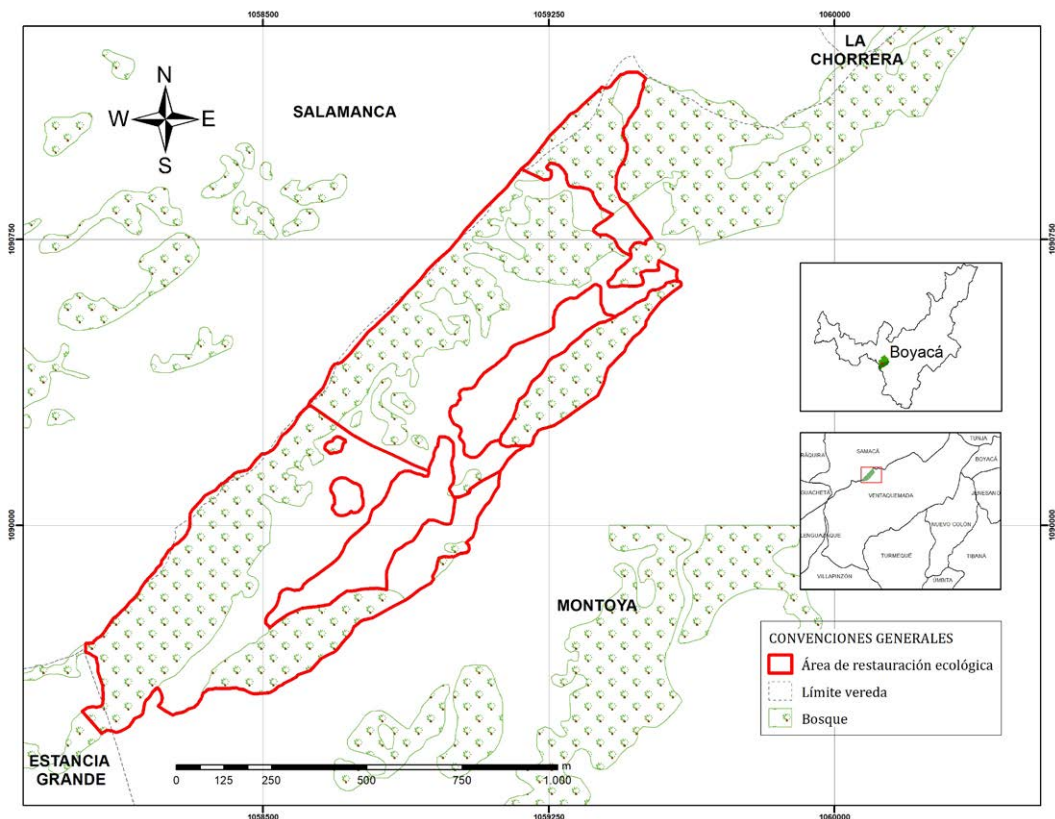


Figura 3. Área de influencia directa para la restauración. En total se intervinieron 80 ha con diversas técnicas de restauración ecológica en la vereda Montoya, Municipio de Ventaquemada (Boyacá). Se evidencia la importancia de la intervención, para el mantenimiento de la función de la regulación hídrica en la región, por su ubicación entre el Embalse de Teatinos y la Laguna Verde.

En el área en restauración, existen varios tipos de coberturas vegetales preexistentes como son:

- a) Bosque secundario (bosque abierto alto de tierra firme según CLC).
- b) Áreas dominadas por formas de crecimiento en roseta, macollas y crecimientos simpodiales (incluye caracterización de los tipos pajonal-frailejón y arbustal, o herbazal y arbustal según CLC).
- c) Áreas dominadas por especies herbáceas típicas de pastizal (potreros o mosaico de pastos con espacios naturales según CLC).
- d) Área dominada por plantación forestal exótica (plantación forestal según CLC).

Dos de estas coberturas son los principales potenciadores para la restauración, los cuales corresponden a dos fragmentos de bosque altoandino, y procesos de colonización de especies pioneras del tipo arbustivo. Estas coberturas reflejan la presencia de una importante biodiversidad en todos los grupos estudiados; parte de esa biodiversidad no ha sido observada en las áreas más degradadas (*p. ej.*:

pastizales), lo que puede indicar cómo el efecto de la fragmentación de las coberturas vegetales altera la distribución de las especies en el paisaje.

La estrategia de restauración ecológica diseñada para Rabanal, tiene como objeto el incremento de las comunidades vegetales de especies nativas en áreas dominadas por pastizales, así como el incremento de la diversidad funcional, que a escala de paisaje se traduce en conectividad estructural (*sensu* Bennett, 1998); con lo anterior, se busca favorecer los flujos de organismos entre las coberturas relictales (p. ej.: arbustales y bosque altoandino) con el uso de "pasos" que faciliten la movilidad o el desplazamiento. Estos pasos corresponden a las plantaciones que se establecen mediante la técnica de la nucleación asistida.

Un ejemplo es la cobertura del tipo herbazal existente entre los dos fragmentos de bosque altoandino. Al ser una cobertura baja y con una estructura que no incorpora elementos arbustivos o arbóreos dominantes, la exposición de los diversos organismos a condiciones microambientales contrastantes con los bosques, posiblemente condiciona el flujo de estos entre dichos fragmentos; aunado a una distancia entre fragmentos que supera los 500 m. Para organismos terrestres como los coleópteros coprófagos, esta distancia puede representar un filtro ecológico para su dispersión e intercambio genético entre poblaciones.

El cambio de las coberturas vegetales de herbazales hacia matorrales, contribuye a la modificación de las condiciones microambientales, y posiblemente, genera hábitats de mayor calidad con mayor oferta de recursos (p. ej.: refugio, alimento y microclima) y posibilitan el tránsito de los organismos (Fig. 4).

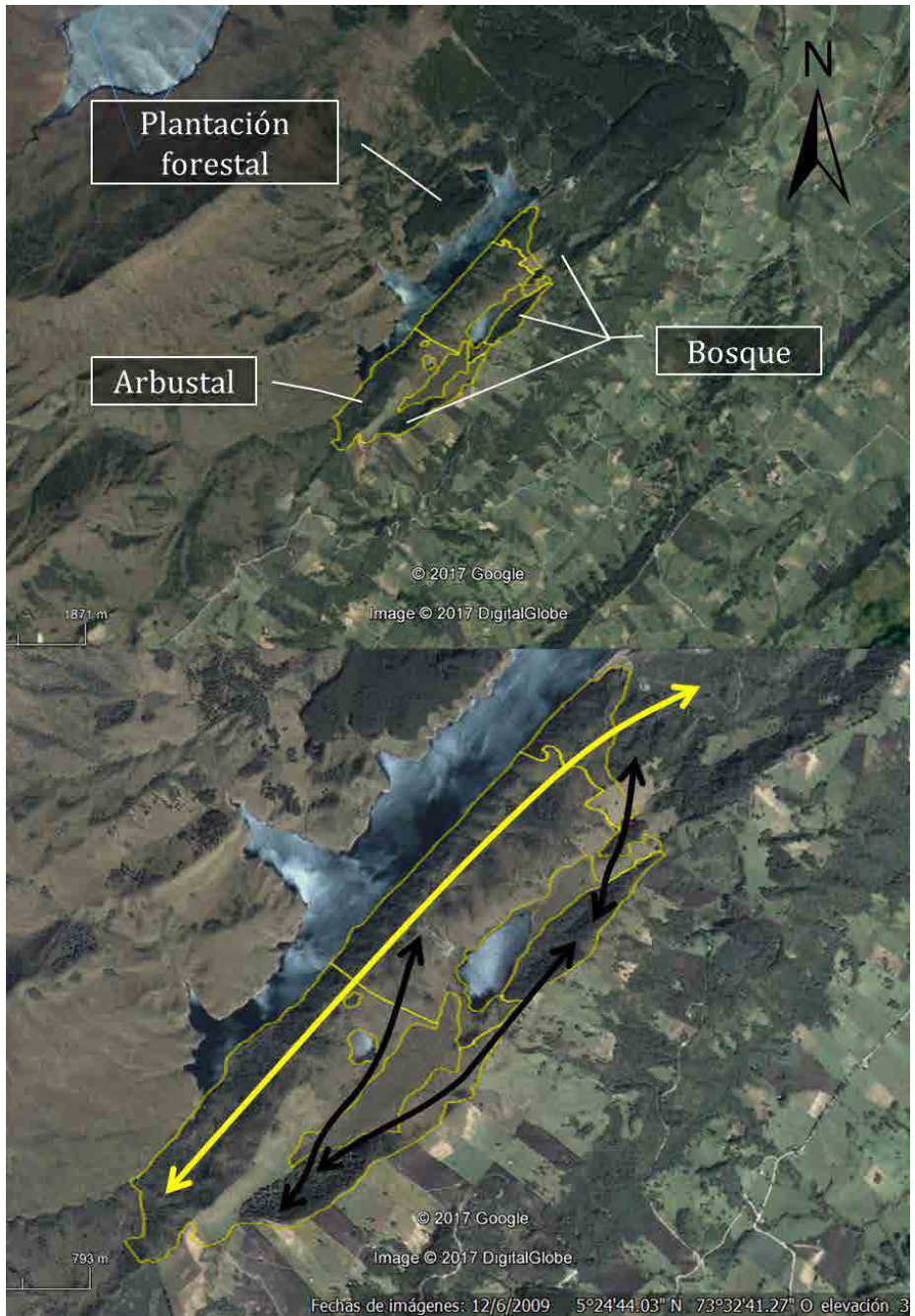


Figura 4. Ubicación de flujos bióticos. En línea negra, los flujos hipotéticos actuales a través de paisaje, debido a la existencia de coberturas arbustivas en antiguas áreas de bosque altoandino. Mediante las técnicas de restauración implementadas sobre las áreas más degradadas (p. ej.: pastizales), se potencia la dispersión y movilidad de organismos entre fragmentos de bosque, y entre estos con las nuevas coberturas establecidas, hacia los arbustales preexistentes; en línea amarilla las posibles nuevas interacciones entre coberturas vegetales. Imagen de *Google Earth Pro 2017*.

DIAGNÓSTICO BASE PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

COMPONENTE ECOLÓGICO

Flora

Las coberturas vegetales que dominan las áreas corresponden a pajonales-frailejonales y arbustales, estas conectan espacialmente con las áreas establecidas. La zona presenta pendientes entre 15 y 35%; por lo anterior, fueron consideradas como áreas potenciales para restaurar (Fig. 5).

El área definida para ejecutar las acciones de restauración comprendió la zona alrededor de la Laguna Verde, sobre la margen suroriental del Embalse Teatinos. En las 80 ha intervenidas, la zonificación ecológica realizada, evidenció la existencia de: bosque altoandino altamente degradado, áreas abandonadas afectadas por uso agropecuario intensivo, con diferentes tipos de coberturas de vegetación nativa, frailejonales de alto valor de conservación, y áreas abandonadas afectadas por uso agropecuario intensivo, con procesos de colonización de especies de páramo, sobre antiguas coberturas de bosque altoandino.

Finalmente, se observaron algunos sectores con plantaciones sin manejo de especies forestales exóticas, y procesos de colonización de las mismas sobre márgenes hídricos de la Laguna Verde. Se consideró como área prioritaria para adelantar procesos de restauración, por su función ecológica y los servicios que presta a la comunidad local y regional.

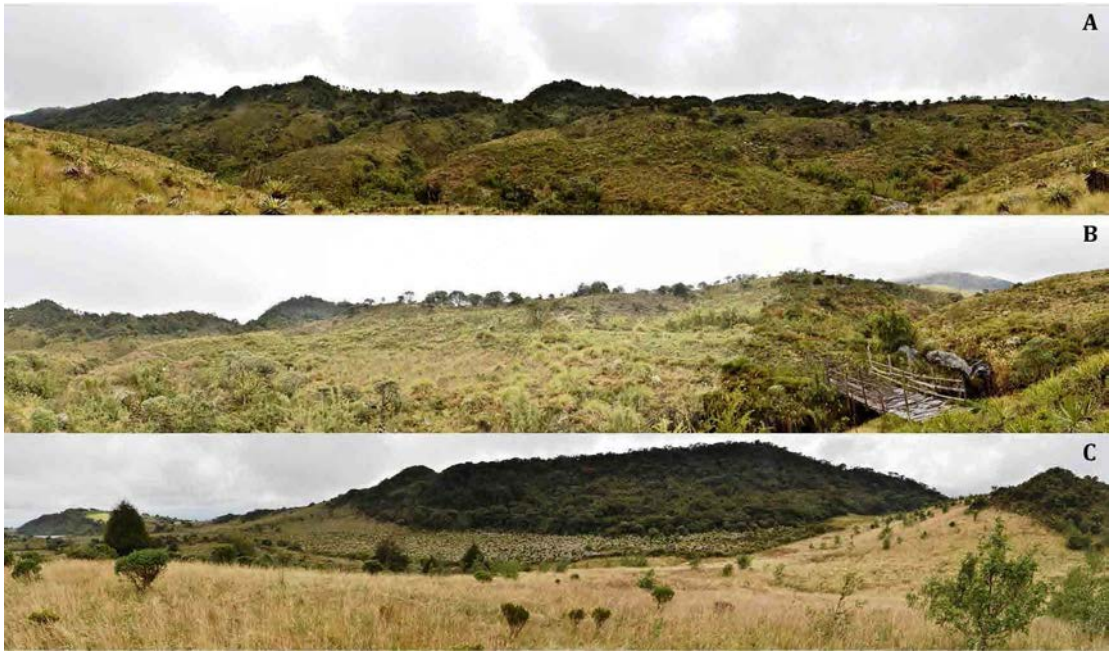


Figura 5. Áreas seleccionadas para restauración. **A-B.** Panorámicas de arbustal y pajonal, sector sur occidental del polígono de restauración; **C.** Panorámica de pastizal contiguo a frailejonal y parche de bosque altoandino, zona centro-sur del polígono.

El análisis de la información posibilita identificar una serie de "situaciones de manejo", que enfrentan o enfrentarán los tomadores de decisiones, sobre el alcance a mediano y largo plazo, de los objetivos de la restauración ecológica y, por tanto, fundamentales para el proceso de planeación estratégica, para el manejo del área y aportar claros elementos para su ordenamiento.

Las situaciones de manejo, de acuerdo con PNNC (2013), comprenden: "...el análisis de datos, hechos, procesos o circunstancias del pasado, presente, futuro que enfrentan los equipos técnicos de un área protegida para el logro de los objetivos de conservación y el mantenimiento de los valores objeto de conservación (VOC)...". Este análisis proporciona una base para el proceso de la planeación estratégica y aporta elementos para el ordenamiento.

En el área de estudio se identificaron al menos cinco situaciones prioritarias a saber: la ganadería intensiva y actividades culturales asociadas; el establecimiento de gramíneas exóticas con potencial invasor; la necesidad de fortalecer la relación gente-medio natural (socioecosistema); la necesidad de posicionar el área en su función ecológica y el papel de la educación ambiental, los vacíos de conocimiento sobre los atributos de la biodiversidad y los procesos que hacen parte de estos ecosistemas.

En las 80 ha de restauración ecológica se identificaron tipos fisonómicos, tales como: bosque secundario típico de áreas altoandinas (bosque abierto alto de tierra

firme), pajonal-frailejónal (herbazal), arbustal y potreros (mosaico de pastos con espacios naturales); en estas comunidades vegetales la riqueza florística está conformada por 83 especies, distribuidas en 67 géneros y 38 familias (Fig. 6).

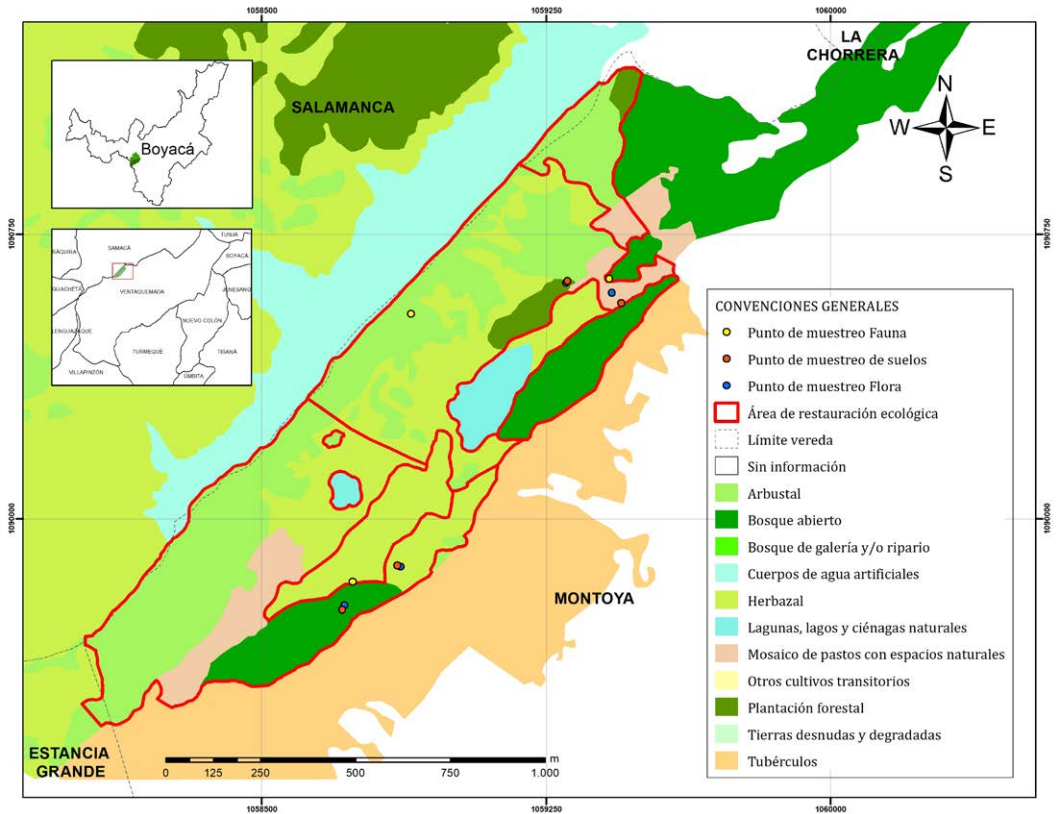


Figura 6. Mapa con los puntos de muestreo de las caracterizaciones de flora en Rabanal.

Riqueza total: las familias con mayor riqueza son Asteraceae (10 géneros/13 especies), Ericaceae (5/6), Poaceae (6/6), Rosaceae (4/4), Cyperaceae (2/4), Myrsinaceae, Rubiaceae (3/3), Melastomataceae (2/3), Cunoniaceae y Piperaceae (1/3). Estas familias incluyen el 55% (37) de los géneros y 59% (49) de las especies, las restantes familias (28) están representadas con una o dos especies. Los géneros con mayor número de especies son: *Weinmannia* y *Peperomia* (3 especies), *Ilex*, *Baccharis*, *Diplostephium*, *Gynoxys*, *Carex*, *Rhynchospora*, *Elaphoglossum*, *Gaultheria*, *Geranium*, *Hypericum*, *Miconia* y *Rubus* (2 especies cada uno). Los 14 géneros con mayor riqueza distribuyen el 36% de las especies (30), los restantes están representados por una especie.

La forma de crecimiento con mayor número de especies son las hierbas (57 especies/50%), seguidas de los arbustos (23/20%) y los árboles (20/18%) (Fig. 7).

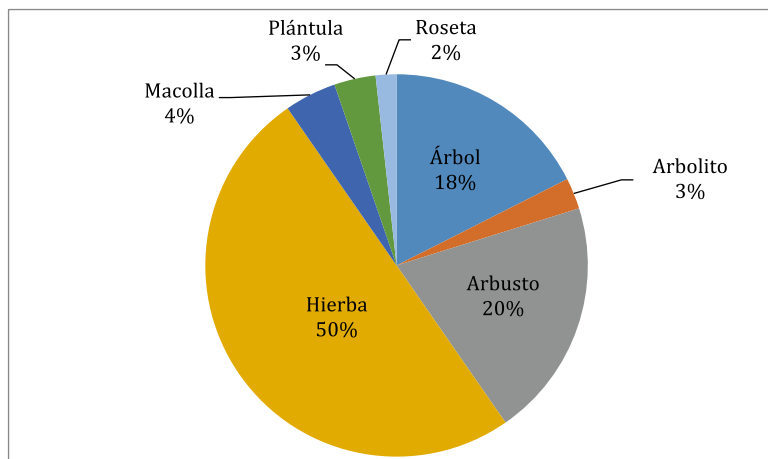


Figura 7. Formas de crecimiento con mayor número de especies.

Riqueza por tipo fisonómico en Rabanal: a continuación, se describe la riqueza hallada para cada tipo de cobertura vegetal, así:

a) Bosque secundario (bosque abierto alto de tierra firme según CLC) (Fig. 8)

Coordenadas: 5°24'28,1"N; 73°32'50,6"W; elevación: 3300 m.

Corresponden a polígonos de vegetación de crecimiento arbóreo y arbustivo; pendientes, no superiores a 35°, luminosidad del 25%, materia orgánica en descomposición de hasta 35 cm de espesor. Grupos taxonómicos representativos son Brunelliaceae, Clusiaceae, Cunoniaceae, Clethraceae y Melstomataceae.



Figura 8. Fragmento de bosque altoandino intervenido, sistema de referencia para restauración ecológica, Páramo de Rabanal.

En esta comunidad vegetal se identificaron 25 especies distribuidas en 24 géneros y 18 familias. Las familias con mayor número de géneros y especies son: Ericaceae (3/3), Asteraceae, Melastomataceae, Polypodiaceae y Myrsinaceae (2/2) y Cunoniaceae (1/2). Las seis familias con mayor riqueza representan el 50% de los géneros (12) y 52% de las especies (13), las restantes familias están representadas con un género y una especie respectivamente. *Weinmannia* es el género más rico (*W. fagaroides* y *W. pinnata*).

Especies arbóreas identificadas son: *Brunellia colombiana*, *Clusia multiflora*, *Ocotea callophylla*, *Geissanthus andinus*, *Bucquetia glutinosa* y *Myrsine dependens*; arbustivas *Ilex kunthiana*, *Diplostegium tenuifolium*, *Clethra fimbriata*, *Weinmannia fagaroides*, *W. pinnata*, *Disterigma alaternoides*, *Macleania rupestris* y *Miconia dolichopoda*; herbáceas con *Asplenium serra*, *Elaphoglossum* sp., *Perrettia prostrata*, *Elleanthus* sp., *Peperomia saligna*, *Chusquea* sp., *Rumex acetosella*, *Melpomene flabeliformis* y *Serpocaulon* sp.; rosetas con *Greigia stenolepis*.

Índices de Predominio Fisionómico (IPF) y Valor de Importancia (IVI)

Especies leñosas dominantes en bosque altoandino: la estructura horizontal identificada para la comunidad de bosque, determina el dominio fisionómico (IPF) de *Clusia multiflora* (árbol y arbolito), *Disterigma alaternoides* (arbusto) y *Ocotea callophylla* (árbol); los parámetros estructurales que definen la dominancia en la comunidad son la cobertura y el área basal. Especies con mayor densidad son: *C. multiflora*, *O. callophylla* y *Geissanthus andinus* (arbusto) (Fig. 9A).

Especies con mayor representatividad ecológica (IVI) en bosque son: *C. multiflora*, *O. Callophylla*, *G. andinus* y *Weinmannia fagaroides* (árbol). Especies frecuentes son *W. fagaroides*, *D. alaternoides*, *Macleania rupestris* (arbusto), *Myrsine dependens* (arbusto) y *C. multiflora* (Fig. 9B).

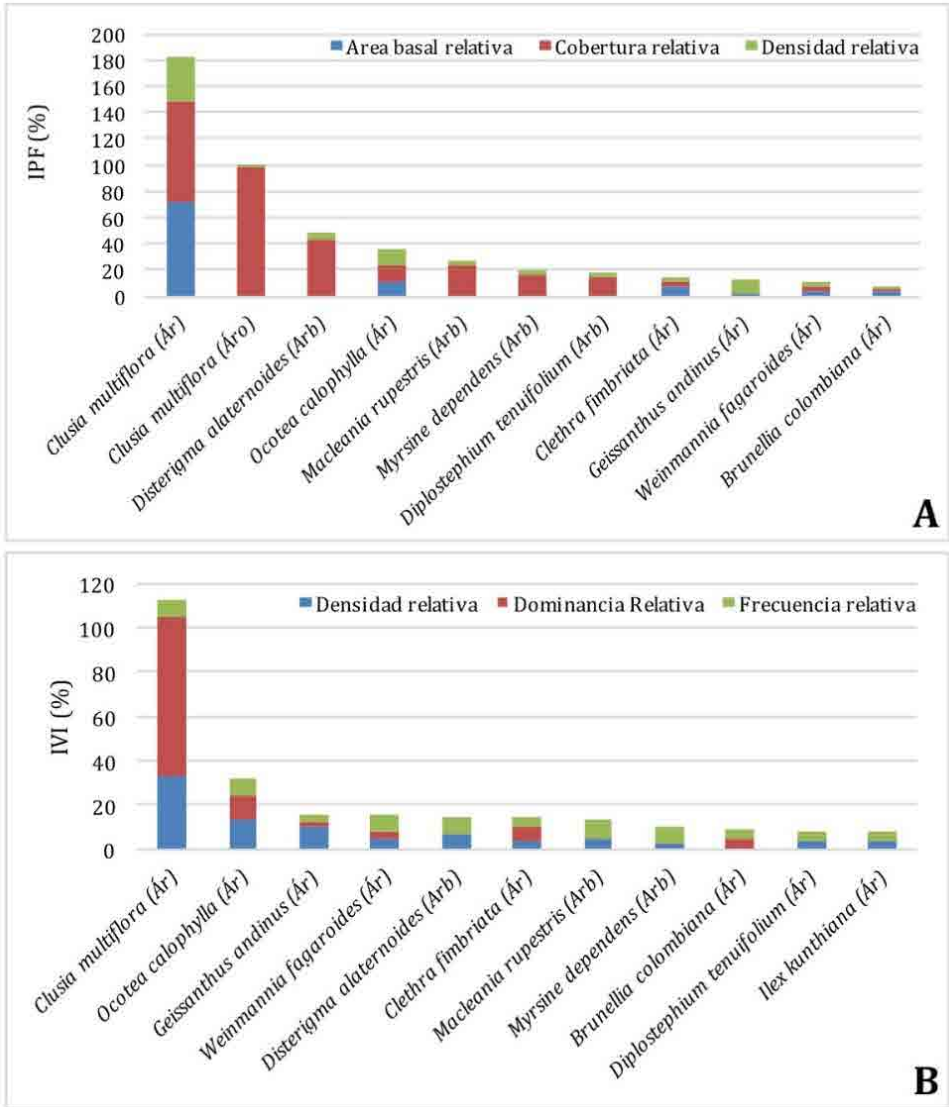


Figura 9. Estructura horizontal definida para bosque altoandino. **A.** Índice de Predominio Fisionómico (IPF); **B.** Índice de Valor de Importancia (IVI). Abreviaciones: Ár: árbol; Áro: arbolito; Arb: Arbusto.

b) Áreas dominadas por formas de crecimiento en roseta, macollas y crecimientos simpodiales (incluye caracterización de los tipos pajonal-frailejonal (Herbazal según CLC) y arbustal (arbustal según CLC) (Fig. 10).

Coordenadas: 5°24'31,4"N; 73°32'47,2"W; elevación: 3300 m.

Son áreas dominadas por elementos herbáceos, formas de crecimiento en roseta y arbustos en un mosaico paisajístico. Es notoria la presencia de gramíneas como *Calamagrostis effusa* asociadas a grandes grupos de Asteraceae (*Gynoxys hirsuta*, *Pentacalia pulchella* y *Scrobicaria ilicifolia*), Ericaceae (*Pernettya prostrata* y *Vaccinium floribundum*) y Rosaceae (*Hesperomeles goudotiana* y *Rubus acanthophyllos*).



Figura 10. Áreas de Frailejonal-pajonal-arbustal contiguas al Embalse de Teatinos.

En esta comunidad vegetal se identificaron 21 especies distribuidas en 21 géneros y 15 familias. Las familias más ricas son Asteraceae (4 géneros/4 especies), Ericaceae (3/3) y Rosaceae (2/2). Los restantes grupos están representados con un género y una especie.

La forma de crecimiento herbácea está representada con las especies *Rhynchospora ruiziana*, *Gaultheria anastomosans*, *Pernettya prostrata*, *Vaccinium floribundum*, *Halenia asclepiadea*, *Lycopodium clavatum*, *Calamagrostis effusa*, *Jamesonia* sp., *Arcytophyllum nitidum* y *Valeriana pilosa*; arbolitos con *Bucquetia glutinosa*; arbustos y arbustillos con *Ilex kunthiana*, *Gynoxys hirsuta*, *Pentacalia pulchella*, *Scrobicaria ilicifolia*, *Berberis goudotii*, *Ribes andicola*, *Hesperomeles goudotiana* y *Rubus acanthophyllos*; rosetas con *Espeletia boyacensis* y *Blechnum loxense*.

Índices de Predominio Fisionómico (IPF) y Valor de Importancia (IVI)

Especies dominantes por formas de crecimiento en roseta, macollas y crecimiento simpodial: en esta comunidad la fisonomía se refleja con la abundancia de arbustos; especies dominantes son *Bucquetia glutinosa*, *Scrobicaria ilicifolia*, *Gynoxys hirsuta*, *Gaultheria anastomosans* y *Berberis goudotiana*. La especie más dominante por valores de área basal es *B. glutinosa*, por valores de cobertura *S. ilicifolia*, *B. glutinosa*, *G. hirsuta* y *B. goudotiana*. Especies abundantes son: *G. anastomosans*, *S. ilicifolia* y *Pernetia prostrata* (Fig. 11A). Especies con mayor representatividad ecológica en la comunidad son *B. goudotiana*, *S. ilicifolia*, *G. anastomosans* y *P. prostrata*, debido a que evidencian los mayores valores fisionómicos de dominancia, densidad y frecuencia (Fig. 11B).

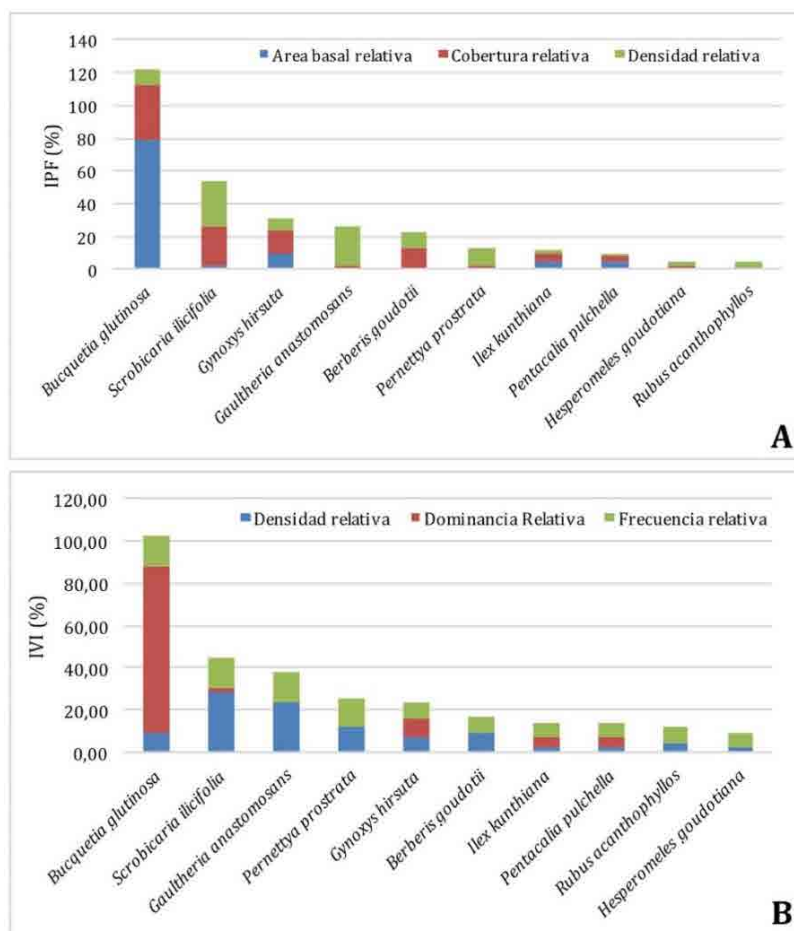


Figura 11. Estructura horizontal definida para arbustales, pajonales-frailejonales. **A.** Índice de Predominio Fisionómico (IPF); **B.** Índice de Valor de Importancia (IVI).

c) Áreas dominadas por especies herbáceas típicas de pastizal (potreritos o mosaico de pastos con espacios naturales según CLC) (Fig. 12).

Coordenadas: 5°24'53,9"N; 73°32'28"W; elevación: 3300 m.

Es una comunidad vegetal dominada por gramíneas de *Holcus lanatus* e *Hydrocotyle bonplandii* con 10 años sin uso agronómico, asociadas a zonas reforestadas por la autoridad municipal y ambiental.



Figura 12. Formación de tipo pastizal, área de influencia directa de restauración ecológica, Páramo de Rabanal.

En esta comunidad se identificaron 23 especies distribuidas en 20 géneros y 12 familias. Familias ricas en géneros y especies son Poaceae (4/4), Asteraceae y Rosaceae (3/3), Cyperaceae (2/3), Geraniaceae e Hypericaceae (1/2), las restantes están representadas con un género y una especie. La forma de crecimiento dominante es la herbácea con las especies *Hydrocotyle bonplandii*, *Bidens triplinervia*, *Hypochaeris radicata*, *Carex bonplandii*, *C. tristicha*, *Rhynchospora* sp., *Pernettya prostrata*, *Halenia asclepiadea*, *Geranium hirtum*, *G. sibbaldoides*, *Salvia bogotensis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Paspalum hirtum*, *Piptochaetium panicoides*, *Rumex acetosella*, *Lachemilla orbiculata* y *Gallium corymbosum*. Finalmente, los arbustillos con *Hypericum juniperinum*, *H. mexicanum*, *Rubus bogotensis*; y rosetas con *Espeletia boyacensis* y *Acaena cylindristachya*.

Índices de Predominio Fisionómico (IPF) y Valor de Importancia (IVI)

Especies herbáceas dominantes en pastizal: la fisonomía de esta comunidad está representada por individuos con formas de crecimiento herbáceo, en macolla y rosetas; especies con mayor representatividad ecológica son *Halenia asclepiadea*, *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Rumex acetosella* y *Rhynchospora* sp. (Fig. 13). Aunque en los pastizales es dominante *H. lanatus*, es evidente que, este pasto crece asociado a otras especies típicas de páramo, registro que puede estar condicionado por el arribo de especies nativas a zonas antes destinadas para agricultura. Esto se evidencia con la dominancia de *Espeletia boyacensis*, que coloniza ciertas zonas del pastizal, así como *H. asclepiadea* y *A. odoratum* (Fig. 13).

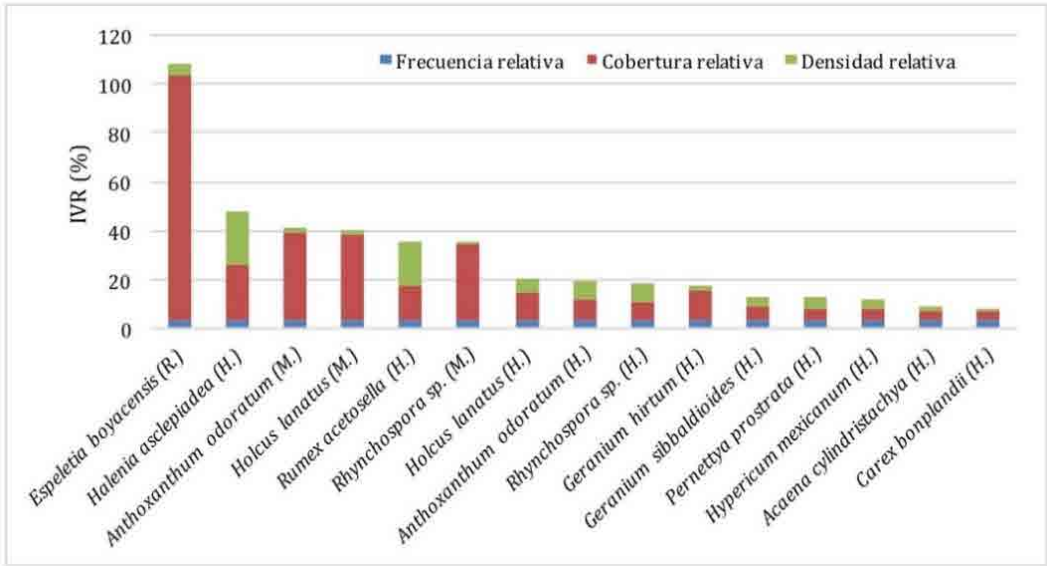


Figura 13. Estructura horizontal definida para la comunidad de pastizal a partir del Índice de Valor de Importancia Relativa (IVR). Abreviaciones: H.: Hierba; M.: Macolla; R.: Roseta.

d) Área dominada por plantación forestal exótica (Plantación forestal según CLC) (Fig. 14).

Coordenadas: 5°24'55,81"N; 73°32'32,58"W; elevación: 3319 m.

Esta comunidad se encuentra embebida en áreas de arbustales, no es dominante en la matriz de restauración, se caracteriza por la presencia de *Acacia melanoxylon*, que fisionómicamente se identificó en estados de desarrollo adulto, juvenil y plántula.



Figura 14. Plantación forestal de *Acacia melanoxylon* contigua a Laguna Verde, Páramo de Rabanal.

En esta comunidad se identificaron 44 especies distribuidas en 40 géneros y 24 familias. Las familias más ricas son: Asteraceae (8 géneros/8 especies), Ericaceae (4/5), Rosaceae (3/3), Melastomataceae, Myrsinaceae y Poaceae (2/2), Cunoniaceae, Hypericaceae y Piperaceae (1/2), las restantes familias están representadas con un género y una especie.

Por formas de crecimiento las especies representativas son: arbóreas con *Acacia melanoxylon*, *Brunellia colombiana*, *Bucquetia glutinosa*, *Morella parvifolia*, *Cybianthus iteoides* y *Myrsine dependens*; arbustivas con *Baccharis tricuneata*, *Diplostephium floribundum*, *Pentacalia pulchella*, *Clethra fimbriata*, *Weinmannia fagaroides*, *W. tomentosa*, *Disterigma alaternoides*, *Macleania rupestris*, *Hypericum juniperinum* e *H. mexicanum*.

Herbáceas con *Eryngium humboldtii*, *Elaphoglossum* sp., *Halenia asclepiadea*, *Geranium sibbaldoides*, *Oxalis medicaginea*, *Peperomia* sp., *Calamagrostis effusa*, *Paspalum hirtum* y *Nertera granadensis*. Rosetas con *Espeletia boyacensis*, *Espeletopsis rabanalensis* y *Acaena cylindristachya*.

Índices de Predominio Fisionómico (IPF) y Valor de Importancia (IVI)

La fisonomía de esta comunidad está definida por la dominancia de *Acacia melanoxylon* (exótica) en forma de crecimiento arboreo; adicionalmente, están las especies vegetales que ejercen competencia como *Pentacalia pulchella* (arbusto), *Diplostephium floribundum* (arbusto) y *Bucquetia glutinosa* (que varía en su fisonomía arbórea o arbustiva; Fig. 15A). Los parámetros estructurales que determinan la representatividad ecológica en esta comunidad son la dominancia y densidad, evidenciada en *A. melanoxylon*, *P. pulchella* y *D. floribundum*, estas especies son también frecuentes (Fig. 15B).

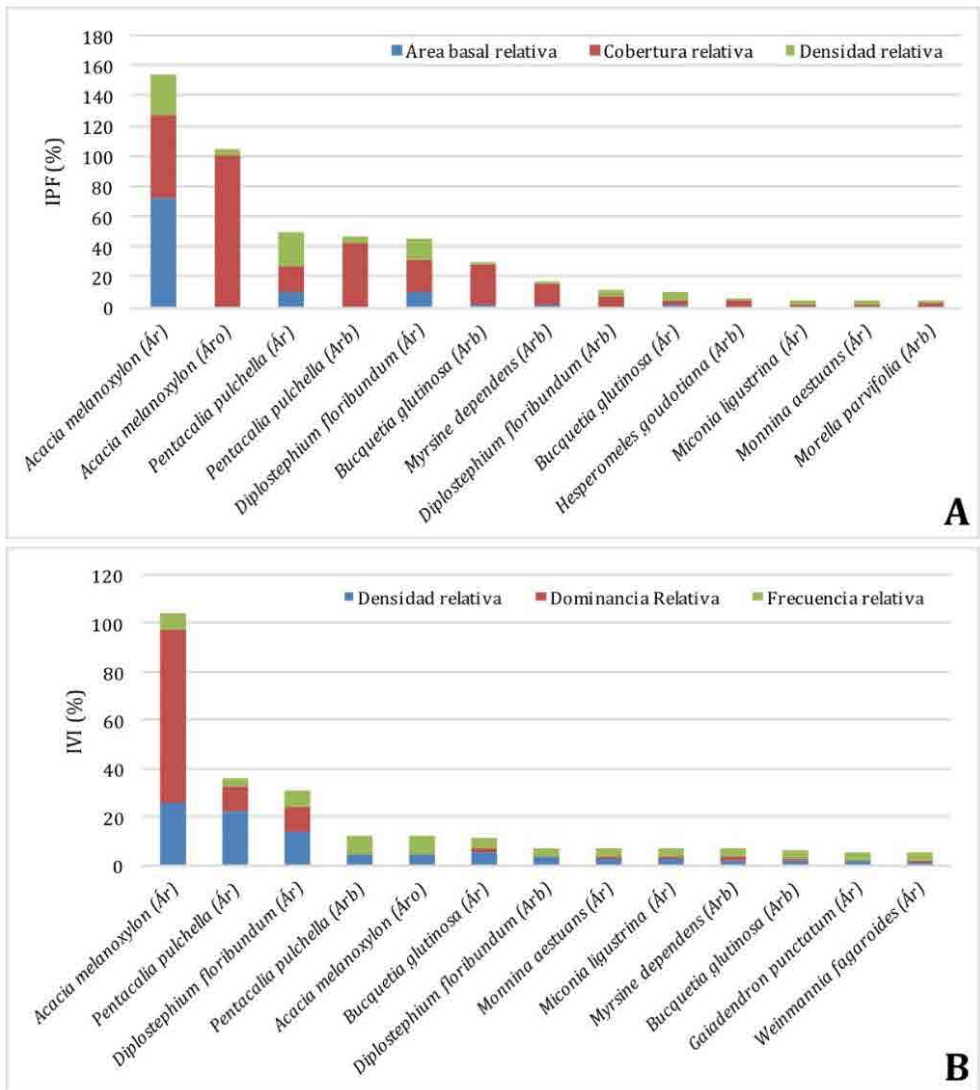


Figura 15. Estructura horizontal definida para plantación forestal de exóticas. **A.** Índice de Predominio Fisionómico (IPF); **B.** Índice de Valor de Importancia (IVI). Abreviaciones: Ár: árbol; Áro: arbolito; Arb: Arbusto.

Fauna

Entomofauna

En los Andes tropicales, los páramos se comportan como pequeñas islas intracontinentales, donde generalmente se presentan bajos índices de diversidad, pero alto grado de endemismo y amenaza, por lo que se les considera hotspots (Myers et al., 2000). La poca fauna que se ha establecido a estas altitudes, ha hecho frente a condiciones hostiles, principalmente por los abruptos cambios de temperatura propios de estos ecosistemas. Los insectos han solucionado este problema de dos formas: desarrollando adaptaciones fisiológicas, o prosperando en microclimas que los resguardan, como la necromasa de especies del género *Espeletia* (Sømme, 1986).

Se estima que se desconoce la mayor parte de los insectos (y otros invertebrados) asociados a suelos y necromasa de los páramos (van der Hammen, 1997), debido a que la mayoría de los estudios que abordan la ecología o la biogeografía de estos ecosistemas, lo hacen desde el enfoque de los vertebrados y las plantas (Moret, 2009); adicionalmente, la entomofauna de los páramos es menos exuberante y conspicua que en otros ecosistemas; sin embargo, en los páramos los insectos juegan un papel importante como polinizadores y fuente de proteína de la red trófica (Tobón, 1986).

Escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae)

El estudio de escarabajos coprófagos en ecosistemas altoandinos es insuficiente y limitado. Algunos estudios como los de Escobar & Chacón (2000), Medina et al. (2001) y Martínez-Revelo & Lopera-Toro (2015), registran tan solo ocho especies, dentro de las cuales se encuentra *Homocopris achamas* (Fig. 16). Lo anterior indica, que es necesario continuar realizando inventarios, para determinar la diversidad real de estos insectos, y así establecer mejores planes de manejo y conservación en estas zonas, entendiendo el papel de estos escarabajos en el reciclaje de nutrientes y demás procesos como la dispersión de semillas y aireación del suelo (Nichols et al., 2008).



Figura 16. *Homocopris achamas* especie más abundante en el Páramo de Rabanal.

A continuación, se presenta el diagnóstico de escarabajos coprófagos en el DRMI Rabanal. Los resultados aquí consignados corresponden a una aproximación a la caracterización de ellos, y su interpretación está ligada a la completitud del inventario en el área. Las coberturas vegetales muestreadas durante el diagnóstico fueron, arbustales (A), pastizales (P), bosque de acacias (BA), pajonal-frailejónal (PF), frailejónal (F), bosque secundario altoandino 1 (B1) y bosque secundario altoandino 2 (B2).

Completitud de muestreo: durante los muestreos se colectaron en total nueve individuos de la subfamilia Scarabaeinae, pertenecientes a dos especies. La especie con mayor abundancia fue *Homocopris achamas* (8 individuos) y *Uroxys coarctatus* con un solo individuo (Tabla 1). Todos los individuos fueron capturados en zonas abiertas, y no se encontraron en ecosistemas de referencia. Aunque según Moreno-Mancilla & Molano (2016), en Rabanal existen abundancias mínimas de *H. achamas* en relictos de bosque altoandino. La presencia de *U. coarctatus* representa un nuevo registro para este páramo.

Tabla 1. Abundancia de escarabajos coprófagos en las diferentes coberturas del páramo de Rabanal. A: arbustales, BA: bosque de acacias, PF: pajonal-frailejonal, F: frailejonal, B1: bosque secundario altoandino 1, B2: bosque secundario altoandino 2, P: pastizal.

Especie	A	BA	B1	B2	PF	F	P	Total
<i>Homocopris achamas</i>	1	0	0	0	2	0	5	8
<i>Uroxys coarctatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	1	0	0	0	2	0	6	9

Debido a las bajas abundancias registradas, no fue posible realizar la curva de acumulación de especies basada en la abundancia de individuos (Chao & Jost, 2012); por lo tanto, se efectuó una curva de acumulación de especies basada en el esfuerzo de muestreo, mediante los estimadores no paramétricos

Chao 1 y Chao 2, en el que las unidades muestrales fueron las trampas. Las curvas revelan que la cobertura de muestreo en general es representativa, sin embargo, sobreestiman la diversidad de escarabajos para la zona (Fig. 17).



Figura 17. Curva de acumulación de especies basada en esfuerzo de muestreo para escarabajos coprófagos.

Homocopris achamas se asocia con la presencia de ganado vacuno y equino, pues hace uso de su excremento para sus actividades de alimentación, reproducción y nidificación. Además, esta especie se reporta como la especie de escarabajo coprófago con una mayor distribución altitudinal en Colombia (Alvarado-Roberto & Arias-Buriticá, 2015).

Mariposas (Lepidoptera: Ropalocera)

Las mariposas son un grupo frecuentemente usado para realizar monitoreos de biodiversidad, ya que son altamente sensibles a cambios ambientales causados por actividades antrópicas (Brown-K. & Freitas, 2000), tienen ciclos de vida cortos y llevan a cabo funciones ecológicas de gran importancia

como la polinización. Por esta razón, las mariposas se constituyen como una herramienta importante, que evalúa el estado de conservación de los ecosistemas (Pereira-Santos et al., 2016). Estos insectos presentan un alto grado de endemismo, mostrando un amplio número de especies con rangos altitudinales bastante restringidos, en donde la subfamilia Satyrinae se destaca por ser el grupo más abundante de estos ecosistemas (Adams, 1973; Marín et al., 2015).

A continuación, se presenta el diagnóstico de mariposas y corresponden a, arbustal (A), bosque de acacias (BA), bosque secundario altoandino 1 (B1), pajonal (P), pajonal-frailejonal (PF) y frailejonal (F).

Completitud de muestreo: durante el diagnóstico se colectaron 55 individuos, pertenecientes a 12 especies y 4 familias (Tabla 2). La especie más abundante fue *Colias dimera* con 16 individuos, seguida por *Pedaliodes* sp. 1 (12). Las especies menos abundantes fueron *Altopedaliodes nebris* y *Hesperiinae* sp. 1, cada una con un individuo. La mayor riqueza

de especies se encontró en pastizal con nueve especies, seguida de bosque secundario altoandino y pajonal-frailejón con cuatro especies cada una. La menor riqueza de especies se presentó en arbustal. Para frailejón y bosque de acacias no se registró ningún individuo.

Tabla 2. Abundancia de especies de mariposas para las coberturas vegetales, en el páramo de Rabanal. A: arbustal, BA: bosque de acacias, BI: bosque secundario altoandino, F: frailejón, P: pastizal, PF: pastizal-frailejón.

Especie	A	BA	BI	F	P	PF	Total
<i>Altopedaliodes cocytia</i>	0	0	0	0	1	4	5
<i>Altopedaliodes nebris</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Altopedaliodes</i> sp. 1	0	0	0	0	2	2	4
<i>Colias dimera</i>	0	0	0	0	11	5	16
<i>Dalla</i> sp. 1	0	0	1	0	2	0	3
<i>Dalla</i> sp. 2	2	0	0	0	0	0	2
<i>Hesperiinae</i> sp. 1	0	0	0	0	1	0	1
<i>Lasiophila</i> sp. 1	2	0	1	0	0	0	3
<i>Manerebia levana</i>	0	0	0	0	3	0	3
<i>Pedaliodes empusa</i>	0	0	1	0	1	0	2
<i>Pedaliodes</i> sp. 1	0	0	4	0	8	0	12
<i>Vanessa brazilensis</i>	0	0	0	0	3	0	3
Total	4	0	7	0	32	12	55

La completitud de muestreo fue representativa para pastizal y pajonal-frailejón con valores por encima del 90%; sin embargo, para bosque secundario

altoandino, se estima una alta probabilidad de encontrar más especies, mientras que, en el arbustal y frailejón no se registraron mariposas (Tabla 3).

Tabla 3. Completitud de muestreo de mariposas. n: número de individuos, S. obs: número de especies, C. hat: completitud del muestreo según el estimador Chao & Jost (2012); A: arbustal, BA: bosque de acacias, BI: bosque secundario altoandino, F: frailejón, P: pastizal, PF: pastizal-frailejón.

	A	BA	BI	F	P	PF
n	4	0	7	0	32	12
S.obs	2	0	4	0	9	4
C.hat	NaN	0	0.5714	NaN	0.9101	0.9295

Diversidad de mariposas: la mayor diversidad está en el pastizal con respecto a las demás coberturas (Fig.

18). Así mismo, el pastizal alberga la mayor cantidad de especies de la zona (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de diversidad verdadera para las coberturas muestreadas durante el diagnóstico. A: arbustal, B1: bosque secundario altoandino, P: pastizal, PF: pastizal-frailejonal.

q	A	B1	P	PF
0	2	4	9	4
1	2	3.17	6.23	3.44
2	2	2.58	4.79	3.13

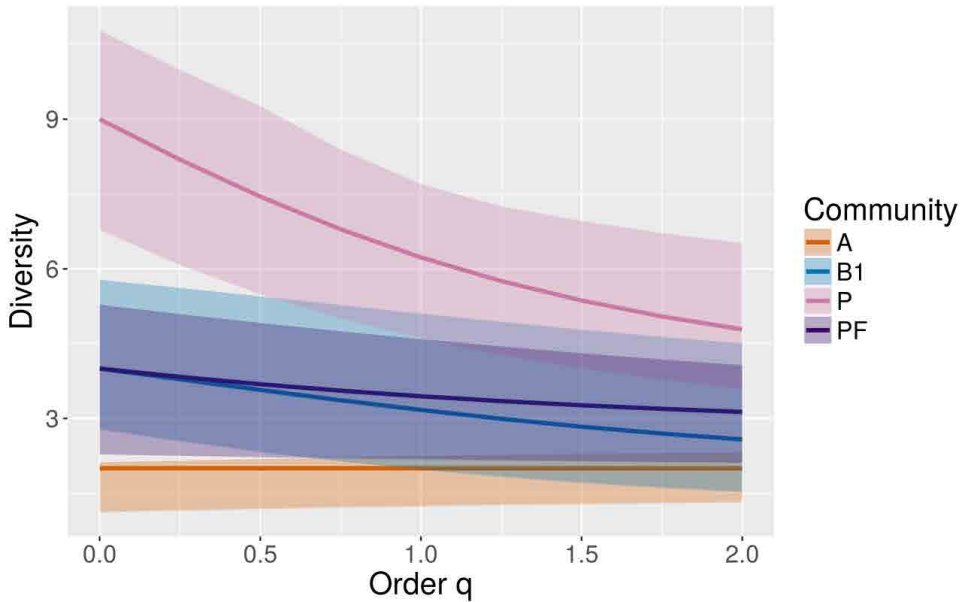


Figura 18. Contraste de diversidad de las diferentes coberturas muestreadas durante el diagnóstico (T=0) en el Páramo de Rabanal. A: arbustal, B1: bosque secundario altoandino, P: pastizal, PF: pastizal-frailejonal.

Suelo

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Los suelos del Páramo de Rabanal se caracterizan por su topografía ondulada, originados a partir de depósitos superficiales de ceniza volcánica y rocas sedimentarias, con tonalidades negras a pardo oscuras, texturas de tipo orgánico en los primeros 0–20 cm y franco arenosas a medida que aumenta la profundidad. Según el plan de manejo ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Rabanal, los suelos de las coberturas vegetales muestreados se encuentran clasificados dentro de los órdenes taxonómicos inceptisoles (Humic Dystrudepts) y andisoles (Typic Hapludands y Pachic Melanudands) (CORPOCHIVOR, 2014), que presentan un alto porcentaje de arenas, en comparación con los contenidos de limos y arcillas (Fig. 19).

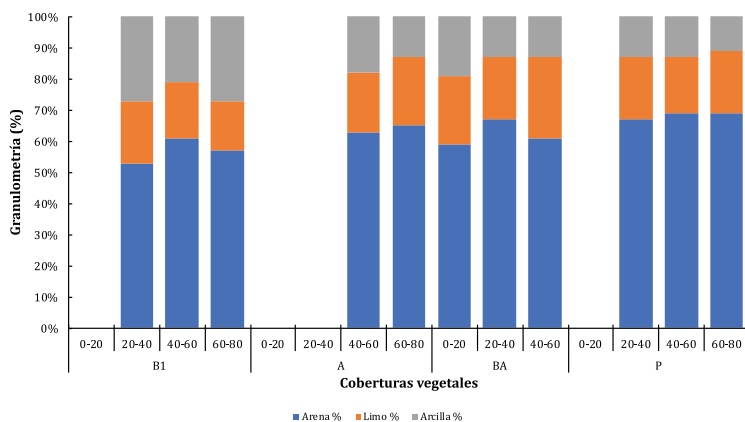


Figura 19. Granulometría de los suelos muestreados a diferentes profundidades en coberturas vegetales dentro del Páramo de Rabanal, Boyacá (B1. Bosque secundario; P. Pastizal; A. Arbustal; BA. Bosque de acacias). Los rangos de profundidad sin datos corresponden a suelos totalmente orgánicos, por lo cual no tienen contenidos de arenas, limos y arcillas.

Por otro lado, los suelos muestreados en las diferentes coberturas presentan valores de pH extremadamente ácidos, siendo el bosque secundario el que posee los suelos con mayor acidez (pH 3,7); empero, en todas las coberturas la acidez disminuye a medida que aumenta la profundidad (Fig. 20A). En cuanto a la materia orgánica (MO), bosque secundario, arbustal y pastizal, presentan los valores más altos en los primeros 20 cm del suelo, siendo el bosque de acacias el que ostenta los menores contenidos de este parámetro. Igualmente, se puede observar que los contenidos de MO en todas las coberturas evaluadas disminuyen a medida que aumenta la profundidad (Fig. 20B).

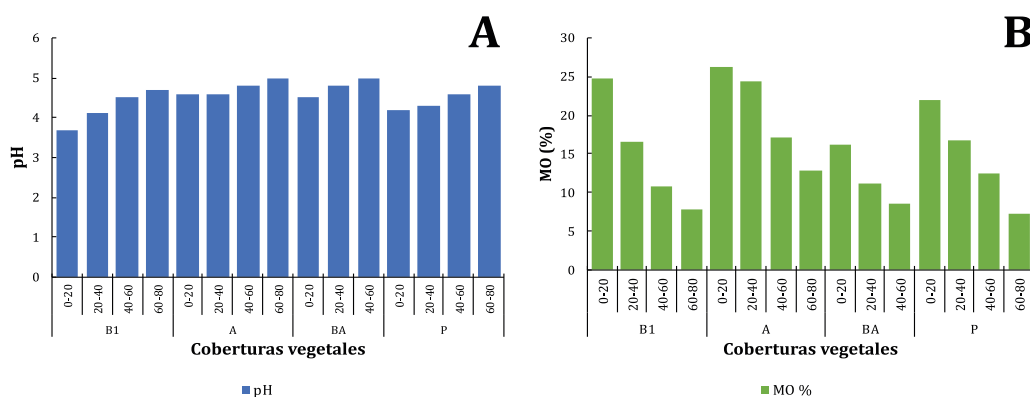


Figura 20. Expresión del pH y Materia Orgánica (MO) por profundidades en los suelos muestreados y por coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal, Boyacá. **A.** pH; **B.** MO (B1. Bosque secundario; P. Pastizal; A. Arbustal; BA. Bosque de acacias).

Con respecto a los macronutrientes analizados, el fósforo (P), fue el elemento que se presentó en mayor proporción en pastizal, mientras que, el bosque secundario muestra valores altos de elementos como el Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K). Además, para esta misma cobertura se evidencian valores altos de micronutrientes como el hierro (Fe) y el aluminio (Al), siendo este último un elemento muy importante en los suelos, ya que, en altas concentraciones, junto a las condiciones de acidez presentes, pueden causar cambios en el metabolismo de las plantas, afectar el crecimiento radical, y por ende, disminuir la capacidad de las raíces para la toma de agua y nutrientes (Chen et al., 2014; Kochian et al., 2005) (Tabla 5).

Tabla 5. Propiedades químicas de los suelos muestreados en coberturas vegetales dentro del Páramo de Rabanal, Boyacá (Bl. Bosque secundario; P. Pastizal; A. Arbustal; BA. Bosque de acacias).

Análisis	Unidad	Cobertura vegetal			
		Bl	A	P	BA
P	(ppm)	5,92	5,11	7,72	5,61
Ca	(cmol/Km ⁻¹)	0,36	0,38	0,21	0,28
Mg	(cmol/Km ⁻¹)	0,12	0,12	0,05	0,09
K	(cmol/Km ⁻¹)	0,19	0,17	0,09	0,12
Na	(cmol/Km ⁻¹)	0,10	0,04	0,03	0,06
Fe	(ppm)	58,44	47,26	31,28	23,20
Mn	(ppm)	0,19	0,34	0,18	0,22
Cu	(ppm)	0,01	0,06	0,17	0,01
Zn	(ppm)	0,16	0,18	0,17	0,29
Al	%	69,12	61,76	60,07	63,40

Características microbiológicas

Se reportaron concentraciones bacterianas de 7,23 Log UFC g⁻¹, y de 3,7 Log UFC g⁻¹ para los hongos filamentosos, siendo el pastizal el que presentó mayor número de UFC, tanto para bacterias como para hongos; mientras que, el arbustal presentó los valores más bajos (Fig. 21). La caracterización microscópica de las colonias mostró que la mayoría de las bacterias aisladas correspondieron a bacilos Gram negativos, aislándose en menor proporción bacilos Gram positivos. Mediante pruebas bioquímicas tradicionales, se identificaron los géneros bacterianos, *Pseudomonas* que es uno de los más representativos con un 54,11% en todas las coberturas vegetales, seguido por *Bacillus* con 14,11% (Fig. 22), mientras que *Acinetobacter*, *Burkholderia* y *Klebsiella* se reportaron en bajas proporciones.

Se aislaron nueve géneros de hongos filamentosos, encontrándose mayor densidad poblacional en bosque secundario y pastizal, mientras que, en el arbustal y el bosque de acacias, la concentración de estos microorganismos fue menor. Se identificaron los géneros por medio de claves taxonómicas, *Penicillium* fue el más abundante (70,1 %) (Fig. 23), seguido de *Paecilomyces* (5,7%), *Scopulariopsis* (4,4%), *Aspergillus* (3,1%) y *Cephalosporium* (2,5%).

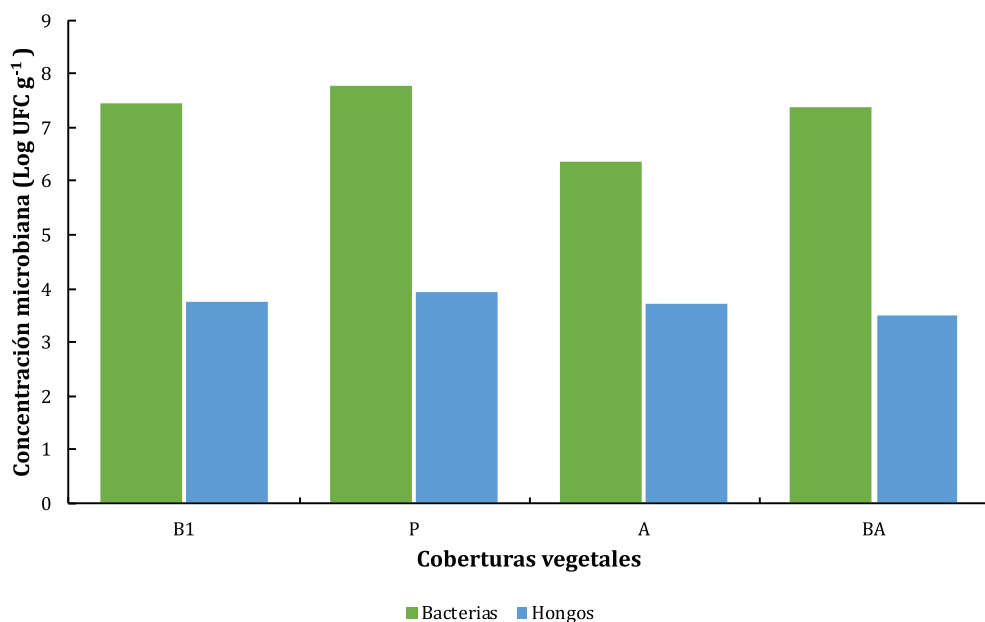


Figura 21. Concentración de bacterias y hongos filamentosos presentes en coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal, Boyacá (B1. Bosque secundario; P. Pastizal; A. Arbustal; BA. Bosque de acacias).

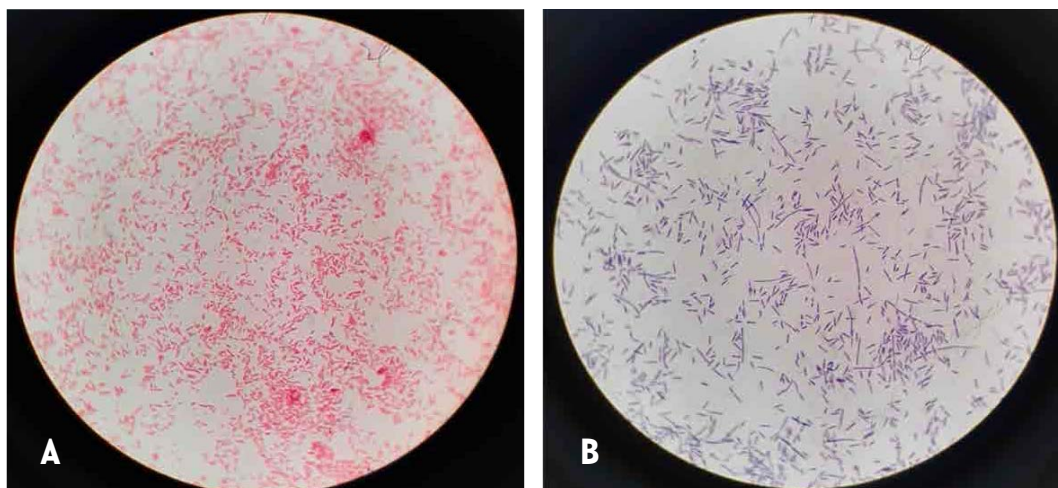


Figura 22. Principales géneros bacterianos aislados en las muestras de suelo en el Páramo de Rabanal. **A.** *Pseudomonas*; **B.** *Bacillus*.

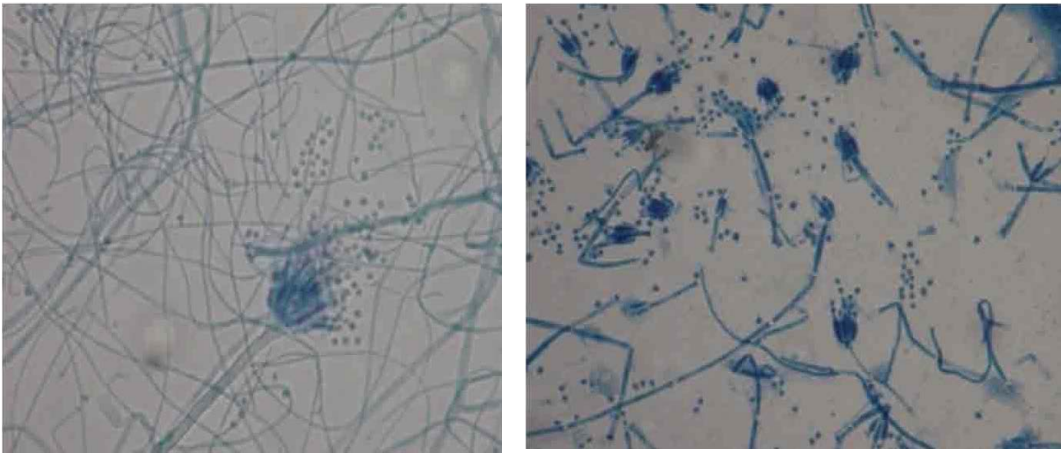


Figura 23. *Penicillium*, principal género fúngico aislado en las muestras de suelo en el Páramo de Rabanal.

Los valores de pH permiten la adaptabilidad de especies vegetales (Estupiñán et al., 2009), ofreciendo una mayor disponibilidad y retención de elementos menores como Fe, Mg, Cu y Zn, que forman complejos estables con la materia orgánica, haciéndolos más solubles, y por lo tanto, más fáciles de absorber; sin embargo, estas condiciones de acidez, pueden limitar el crecimiento de las plantas, debido a la deficiencia de nutrientes esenciales, generando así, una disminución del P disponible, causado por la formación de compuestos insolubles o inactivación del P absorbido por las raíces de las plantas (Figuerola del Castillo et al., 2010).

Por otro lado, estas condiciones de acidez son ideales para el establecimiento de poblaciones microbianas, al encontrarse en el rango de pH 4-7, óptimo para el crecimiento bacteriano (Lauber et al., 2009; Rousk et al., 2010); así mismo, este es un factor ambiental determinante de la diversidad y composición de las comunidades microbianas del suelo (Lauber et al., 2009). Sin embargo, estas poblaciones pueden verse afectadas por las prácticas agrícolas y diferentes escenarios climáticos, que generan variaciones en el pH, y otros atributos del suelo como la disponibilidad de nutrientes.

Los valores de materia orgánica y altos contenidos de fósforo, pueden estar influenciados por cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo, el ingreso de nuevas poblaciones de microorganismos, disturbios de origen antrópico o natural, variaciones en las condiciones ambientales o aplicación de fertilizantes. Por lo tanto, un mayor contenido de fósforo, es el reflejo de la adecuación de los suelos para los procesos productivos; sin embargo, los valores bajos de fósforo que se observaron en las coberturas, se deben a los procesos de retención del ecosistema, en los que intervienen los compuestos de hierro y aluminio, y la fauna del suelo, que favorecen los procesos de humificación (Drenovsky et al., 2004; Estupiñán et al., 2009).

Existen ciertos factores bióticos y abióticos, que resultan ser limitantes para el establecimiento de la vegetación y la fauna del suelo, como son las pendientes que pueden limitar el establecimiento de especies nativas por procesos erosivos, la disminución de agua y el deterioro ambiental (CORPOCHIVOR, 2014).

COMPONENTE SOCIAL

El Páramo de Rabanal es un territorio habitado hace siglos. Es el reflejo de la interacción entre la naturaleza y la sociedad humana que la ha transformado. En las últimas décadas, se han incrementado las actividades productivas insostenibles, lo que ha generado cambios en las dinámicas ecosistémicas y complejos impactos ambientales, que, a la vez, reducen la integridad ecológica del territorio y afectan la economía de las comunidades locales. Hoy, el paisaje del páramo comprende un heterogéneo mosaico con trayectorias sucesionales en fragmentos, y con diferentes edades y frecuencias de quema (*sensu* Baca-Valle, 2011).

La ampliación de la frontera agropecuaria ha sido -en el sector de interés- el principal disturbio antropogénico en el territorio. Las actividades culturales asociadas a las actividades agrícolas (*p. ej.*: uso de agroquímicos y tala) o pecuarias (*p. ej.*: introducción de gramíneas exóticas y quemadas), son probablemente causantes de la pérdida de la biodiversidad y la disminución de procesos, tales como la regulación hídrica en las áreas con sistemas productivos.

En el área de interés, el cultivo de papa es el principal componente de los sistemas productivos agrícolas, así como, el ganado vacuno lechero, el de los sistemas pecuarios. La intensificación de ambos sistemas ha pasado por adoptar maquinaria agrícola, así como, nuevos agroquímicos o el incremento de la carga de animales por hectárea, lo que resulta en una amplia demanda de espacios para la producción, mayor contaminación del agua y suelos, y amplio requerimiento de agua para riego y consumo animal (CORPOCHIVOR, 2014; Vergara-Buitrago et al., 2018).

Existen sectores del área de interés, donde la deforestación para la comercialización se presenta de manera eventual, con maderas finas y la ampliación de la frontera agropecuaria, logrando la transformación de extensiones de coberturas de bosques altoandinos a pastizales, y que una vez abandonados, dejan en el paisaje mosaicos dominados por gramíneas introducidas o bien por especies de páramo oportunistas, configurando un paisaje de comunidades vegetales de páramo, en áreas donde dominaba el bosque altoandino.

Se establece desde la memoria colectiva la descripción de régimen de disturbio y la identificación de los recursos bióticos (*p. ej.*: semillas, propágulos y plantas nodrizas), con los que se cuenta localmente, y que facilitan el establecimiento del proyecto.

Las entrevistas semiestructuradas realizadas a actores sociales (líderes comunitarios locales), permitieron identificar tres aspectos estratégicos para abordar la restauración ecológica, a saber: la importancia ambiental del territorio, los principales usos productivos, y las primordiales problemáticas ambientales vigentes. Los resultados muestran una alta valoración por el agua (>50% de los encuestados); un segundo componente es la valoración de los servicios culturales que ofrece el ecosistema, por belleza paisajística y la sensación de tranquilidad. Se identifican áreas de alto valor espiritual aledañas al páramo, con estrecha relación entre la Laguna Verde, y los "sitios sagrados" reconocidos y aceptados en espacios comunitarios. A este lugar, durante la Semana Santa cristiana, en remembranza de la

Pasión, Muerte y Resurrección de Jesús de Nazaret, se dirigen grandes grupos como un acto de reverencia hacia la Virgen María, pero a la vez, como un devenir histórico del mestizaje de creencias, donde el pensamiento indígena, resalta el agua como el proveedor de vida y de animación del universo, principios que rigen el equilibrio universal, que es el pagamento (Fig 24).

Otros aspectos, menos importantes para la comunidad corresponden a la creación del Parque Regional, y es la riqueza de especies de fauna y flora. Se destaca el conocimiento que se tiene de grupos específicos como, especies forestales y frutales nativos, los mamíferos terrestres y aves (principalmente los usados como fuente de proteína) (Medina et al., 2015). En las entrevistas, han surgido comentarios sobre la presencia de felinos y otros predadores como el zorro, de interés para la conservación regional.

En relación con las principales actividades económicas de los entrevistados, se logra identificar, que al menos el 70%, se sustenta con ganadería. También indican que existe una relación entre el uso del agua y las funciones agropecuarias (Fig. 24). Así también, la comunidad identifica la cacería como problemática ambiental, pese a estar tipificada como ilegal.

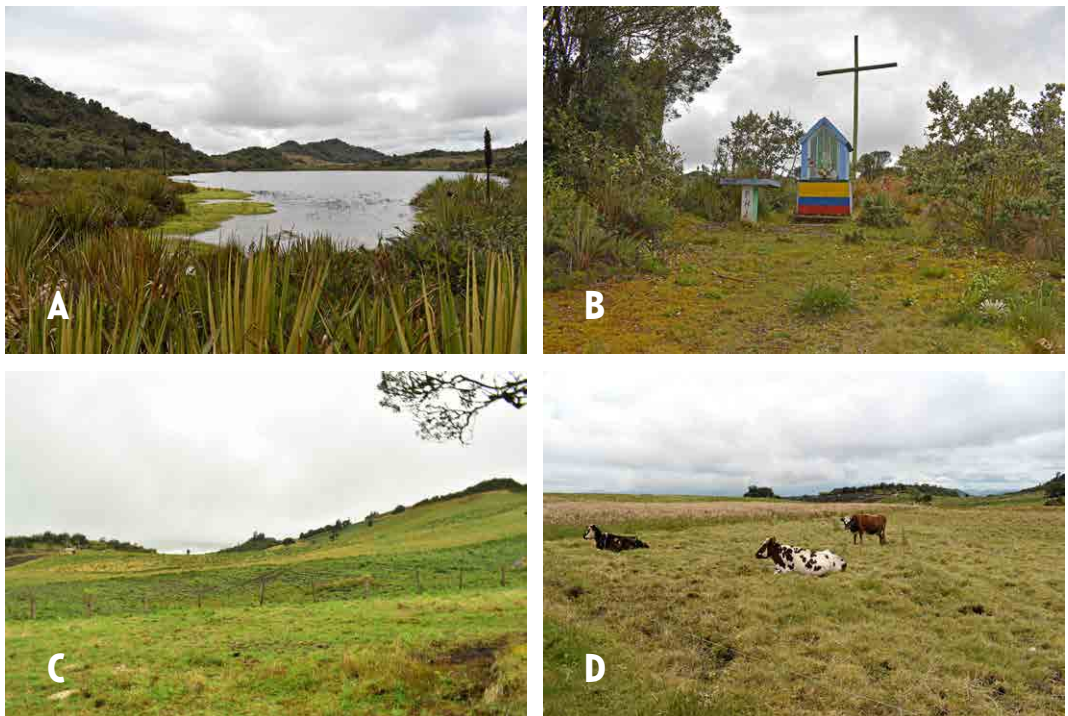


Figura 24. Principales actividades culturales y productivas desarrolladas en Rabanal. **A.** La valoración del agua, belleza del paisaje y tranquilidad; **B.** Creencias en torno al cristianismo; **C.** Cultivos extensivos de papa con la transformación del bosque altoandino; **D.** Ganadería extensiva.

Para el sector de Rabanal, se identificaron como factores limitantes, tensionantes y potenciadores de la restauración:

Factores limitantes

- **Rápidos descensos de la temperatura** o heladas ocasionadas por condiciones de nubosidad cercanas al suelo en horas de la madrugada (observado en toda el área de restauración).
- **Variabilidad climática** resultado de la intensidad y extensión de los fenómenos Niño-Niña, que ha alterado –según el conocimiento local– los ciclos hídricos e incluso de floración-fructificación de algunas especies (observado en toda el área de restauración).
- **Un nivel freático fluctuante** en algunos sectores y la acumulación superficial de aguas lluvia, que dificultan el establecimiento efectivo de propágulos (observado principalmente en cercanías a las Laguna Verde y Cristales; identificado a través de la trayectoria del proyecto).

Factores tensionantes

- **Dominancia en sitios localizados de vegetación gramínea exótica** durante más de tres décadas (principalmente, *Holcus lanatus*), lo que condiciona el arribo y establecimiento de especies nativas (observado principalmente en áreas de pastizales abandonados).
- **Presencia de especies forestales exóticas sin manejo y su regeneración natural**, lo que implica procesos de competencia interespecífica por los recursos con las especies nativas, que potencialmente pueden condicionar el arribo y establecimiento de las mismas (observado principalmente en cercanías a la Laguna Verde).
- Como resultado de la tala selectiva y la deforestación para la ampliación de la frontera agropecuaria, se observa una **pérdida de diversidad de especies forestales** y, por tanto, de la diversidad funcional (observado en toda el área de restauración).
- Es probable que como resultado de la pérdida de especies forestales nativas y de importantes extensiones de coberturas de bosque altoandino, se hayan **reducido o desplazado hacia nuevos sitios poblaciones de fauna**, que cumplen funciones de dispersores o polinizadores (es una hipótesis que aplicaría a toda el área de restauración).

Factores potenciadores

- **Oferta física:** el medio ambiente físico en los alrededores de Laguna Verde favorece la restauración. Hay presencia de suelos orgánicos; pendiente baja, alta humedad y cuerpos de agua.
- **Potencial biótico:** existen fragmentos de bosque altoandino (> 11 ha), que dan a conocer parcialmente las características de este ecosistema en el área de restauración; además, de la existencia de otras coberturas transitorias, tales como arbustales de especies nativas, que ofertan permanentemente semillas a la matriz dominante de pastos, lo que genera una mayor presión de propágulos.

La integración de ambos componentes físico y biótico, posibilitan considerar que existen condiciones ambientales para favorecer la restauración, a través de acciones puntuales que aceleren el establecimiento de comunidades vegetales nativas sobre las áreas disturbadas.

- **Componente socioeconómico:** los procesos históricos en la región para abordar la conservación, el nivel de organización de las comunidades locales, y su compromiso con el mantenimiento del agua y la biodiversidad, son tres factores que evidencian un ambiente propicio para la sostenibilidad del proyecto en la Laguna Verde.

METAS DE RESTAURACIÓN

DEFINICIÓN DE METAS

En Rabanal, la meta se ha orientado al cambio de las coberturas vegetales de comunidades dominadas por especies exóticas o naturalizadas, hacia comunidades con una mayor diversidad funcional a las existentes previa intervención (Tabla 6).

Tabla 6. 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, áreas con colonización de especies de páramo y arbustales en al menos el 15 % del área total intervenida mediante estrategias de plantación al segundo semestre de 2017 y al menos el 50 % al segundo semestre de 2018.	Supervivencia de las plantaciones	<p>≥ 50 % de individuos al segundo semestre de 2017</p> <p>≥ 75 % de individuos al segundo semestre de 2018</p>
	Distribución de edades en grupos	<p>≥ 75 % de individuos en etapa plántula al segundo semestre de 2017</p> <p>≥ 50 % de individuos en etapa juvenil I al segundo semestre de 2018</p>
Vegetación plantada para ampliación de bordes de bosque establecida en al menos el 50 % del área total intervenida mediante estrategias de plantación al segundo semestre de 2017 y al menos el 75 % al segundo semestre de 2018.	Recambio de especies	<p>≥ 50 % de especies observadas al segundo semestre de 2017 son nativas de bosque altoandino</p> <p>≥ 75 % de especies observadas al segundo semestre de 2018 son nativas de bosque altoandino</p>
Establecimiento de individuos plantados (árboles) en áreas de bosque secundario de al menos el 50 % del material vegetal plantado al segundo semestre de 2017 y al menos el 75 % al segundo semestre de 2018.	Cobertura de vegetación nativa (altoandino)	<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>≥ 50 % 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 vegetación gramínea exótica	<p>< 80 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por gramíneas exóticas al segundo semestre de 2017</p> <p>< 60 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por gramíneas exóticas al segundo semestre de 2018</p>
	Cobertura de vegetación de páramo en áreas de bosque altoandino	<p>≤ 90 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida vegetación de páramo en áreas de bosque altoandino al segundo semestre de 2017</p> <p>≤ 80 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por vegetación de páramo en áreas de bosque altoandino al segundo semestre de 2018</p>
	Cobertura de vegetación arbustiva	<p>≥ 60 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida vegetación arbustiva al segundo semestre de 2017</p> <p>≥ 80 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por vegetación arbustiva al segundo semestre de 2018</p>

DISEÑO DE LAS ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN A PARTIR DE LA GESTIÓN DE LA VEGETACIÓN

Selección de especies destinadas a la restauración

- **Criterios de selección**

Bajo la condición del limitado conocimiento existente sobre la biología de las especies nativas del DRMI Rabanal, se eligieron rasgos de historia de vida considerados clave, para abordar las zonas afectadas por la dominancia de gramíneas exóticas y arbustales no consolidados. Los rasgos fueron propuestos a partir de revisión de literatura (p. ej.: Castellanos-Castro & Bonilla, 2011; Cárdenas-Arévalo & Vargas, 2008; Hérault et al., 2005; Pywell et al., 2003; Fonseca & Ganade, 2001) y algunas entrevistas a la población local. En la Tabla 7, se presentan rasgos de historia de vida.

Tabla 7. Rasgos de historia de vida con potencial uso en la restauración en Rabanal.

Rasgo de historia de vida	Implicación de rasgo en procesos de desarrollo	Atributo		
Regeneración	Ciclo de vida	Persistencia	Anual	
			Perenne	
			Semilla	
	Tipo de regeneración	Establecimiento		Retoño
				Espora
				Anemocoria
	Agente de dispersión	Dispersión		Autocoria
				Zoocoria
				Hidrocoria
				Anemogamia
	Vector de polinización	Persistencia		Ornitogamia
				Entomogamia
				Transitorio
	Banco de semillas	Establecimiento		Persistente
			Alta	
Renovación de hojas	Persistencia		Baja	

Rasgo de historia de vida	Implicación de rasgo en procesos de desarrollo	Atributo	
Morfológico	Tipos de planta	Graminoide tipo macolla	
		Caulirrosula	
		Roseta acaule	
		Cojín	
		Herbácea	
		Subarbustiva	
		Arbustiva	
	Hábito	Establecimiento–Persistencia	Arbórea
			Postrado
			Trepador
			Erecto
	Tamaño adulto (CAP)	Establecimiento–Persistencia	0-50 cm
			51-100 cm
101-200 cm			
>200 cm			

Esta descripción, igualmente, parte de las observaciones de campo realizadas durante el estudio de la vegetación de las referencias ecológicas y dentro de las cuales están:

- Procesos de colonización de especies sobre pastizales abandonados.
- Proceso de consolidación de poblaciones de especies nativas arbustivas sobre las laderas.
- Observación de las especies nativas que colonizan el ecotono bosque–pastizal.
- Observación de las especies nativas que colonizan las áreas con presencia de especies forestales exóticas.

- Observación de especies nativas establecidas en rondas hídricas de quebradas circundantes al área de restauración ecológica.
- Análisis comparativo con dinámicas semejantes en otras áreas del DRMI Rabanal.

Finalmente, fue la factibilidad de obtención de propágulos, el filtro definitivo para la selección de las especies a propagar en el vivero.

- **Tipos funcionales de plantas (TFP) identificados**

Para abordar la restauración ecológica de pastizales se consideraron como relevantes los siguientes grupos funcionales (Tabla 8):

Tabla 8. Rasgos de historia de vida con potencial uso en la restauración de zonas de pastizales abandonados y se proponen los tipos funcionales de plantas (TFP).

Rasgo de historia de vida	Implicación de rasgo en procesos de desarrollo	Atributo	TFP																							
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Ciclo de vida	Persistencia	Anual																				x				
		Perenne	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Tipo de regeneración	Establecimiento	Semilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
		Retoño																								
Regeneración	Dispersión	Espora																								
		Anemocoria			x						x			x	x		x	x				x				
		Autocoria	x		x						x											x	x			
		Zoocoria	x	x		x	x	x	x				x	x			x					x				
Vector de polinización	Persistencia	Hidrocoria									x					x										
		A n e m o - g a m i a																								
Banco de semillas	Establecimiento	E n t o m o - g a m i a	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
		Transitorio	x	x	x		x	x				x		x	x	x	x						x			
Renovación de hojas	Persistencia	Persistente				x				x	x							x	x	x	x		x			
		Alta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x			
Tipos de planta	Establecimiento - Persistencia	Baja																			x	x	x	x		
		Graminoide tipo macolla																								
Morfológico	Establecimiento - Persistencia	Caulirrosula																								
		R o s e t a acaule																								
		Cojín																								
		Herbácea																							x	
Hábito	Establecimiento - Persistencia	Subarbustiva	x		x																	x	x			
		Arbustiva			x		x	x	x			x	x		x								x	x	x	x
		Árborea	x									x			x			x	x							
		Postrado																								
Tamaño adulto	Establecimiento - Persistencia	Trepador																								
		Erecto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
		0-50 cm																							x	
		51-100 cm			x		x																	x	x	
Hábito	Establecimiento - Persistencia	101-200 cm				x		x															x	x		x
		>200 cm	x							x																x

Es así como, al menos 20 tipos funcionales de plantas (TFP), fueron identificados (Díaz et al., 2007) en áreas en regeneración natural temprana, sobre áreas disturbadas en Rabanal. Los TFP1 a TFP20, son ensamblajes de plantas parecidas ecológicamente, que difieren en su taxonomía, y que han sido propuestos a partir de conjuntos de rasgos considerados útiles para abordar la restauración ecológica (Díaz et al., 2007), a partir de los cuales se buscó generar diseños de restauración que combinaran la mayor cantidad de TFP posibles, según las características propias de cada tipo de área disturbada.

Para zonas dominadas por gramíneas exóticas con potencial invasor, son deseables especies que, durante las primeras etapas del proceso de restauración, tengan gran capacidad de colonización y de avanzar sobre micrositos, una vez controlado el factor tensionante pastoreo. Se requieren especies con una fuerte capacidad competitiva hacia las gramíneas exóticas que dominan las coberturas iniciales, preferiblemente, de rápido crecimiento (p. ej.: arbustivas y subarbustivas), con capacidad de sobrellevar limitaciones para la dispersión (p. ej.: ausencia de fauna dispersora muy especializada) y condiciones ambientales drásticas (p. ej.: temperaturas extremas, suelos ácidos y mayor luminosidad) (Tabla 9).

Tabla 9. Tipos funcionales de plantas identificados para abordar la restauración ecológica en pastizales (dominancia de *Holcus lanatus*) abandonados y ejemplos de especies que dentro de las caracterizaciones cumplen con los requerimientos establecidos.

Tipos funcionales de plantas (TFP)	Especie(s)
TFP 1	<i>Vallea stipularis</i> L. f.; <i>Clusia multiflora</i> Kunth
TFP 2	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth; <i>Berberis</i> sp.
TFP 3	<i>Ageratina</i> sp.; <i>Gynoxys</i> sp.; <i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.; <i>Diplostephium floribundum</i> (Benth.) Wedd.; <i>Diplostephium tenuifolium</i> Cuatrec.
TFP 4	<i>Pernettya</i> sp.; <i>Pernettya</i> sp. 2
TFP 5	<i>Miconia</i> sp.
TFP 6	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh; <i>Viburnum</i> sp.
TFP 7	<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip
TFP 8	<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.;
TFP 9	<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin; <i>Scrobicaria ilicifolia</i> (L. f.) B. Nord.; <i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.
TFP 10	<i>Myrsine</i> sp.
TFP 11	<i>Ocotea calophylla</i> Mez; <i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don
TFP 12	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.
TFP 13	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth; <i>Weinmannia</i> sp.
TFP 14	<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) Parra-Os.
TFP 15	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i> (Kunth) Baker
TFP 16	<i>Hypericum</i> sp.
TFP 17	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.
TFP 18	<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) Parra-Os.
TFP 19	<i>Diplostephium</i> aff. <i>rosmarinifolium</i> (Benth.) Wedd.
TFP 20	<i>Myrsine</i> sp.

Las especies anteriormente citadas, fueron seleccionadas de todo el *pool* de especies registradas en las coberturas caracterizadas, con fines de superar las barreras (filtros ecológicos) preidentificadas, y teniendo en cuenta el éxito de propagación de estas en el vivero.

• **Listado de especies**

Se ejecutaron protocolos de selección de las especies útiles para el desarrollo del proceso de restauración (según lo expuesto en párrafos anteriores), que incluyeron criterios como rasgos de historia de vida, grupos

funcionales de las especies, y disponibilidad de rodales semilleros con características ecológicas, morfológicas y fitosanitarias favorables (plantas en etapa de producción de semillas, viabilidad y germinación de semillas). En total se seleccionaron 33 especies entre árboles y arbustos para propagación o rescate (Tabla 10).

Tabla 10. Especies seleccionadas para propagación en el vivero Rabanal.

Nombre común	Nombre científico	Forma de propagación en vivero	Mecanismo de dispersión de semillas	Usos en el DRMI rabanal
Jarillo	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Semilla	Anemocoria	Cerca viva en sitios con alta humedad
Ageratina piedra	<i>Ageratina</i> sp. 2	Semilla	Anemocoria	No registrado
Espino	<i>Berberis rigidifolia</i> Kunth ex DC.	Semilla	Zoocoria	Cerca viva
Susque	<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.	Semilla	Barocoria	Maderable para estaciones de cercas
Charne	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Semilla y Rescate	Anemocoria	Elaboración cabos de herramientas
Tinto	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Semilla	Zoocoria	No registrado
Manzano	<i>Scrobicaria ilicifolia</i> (L. f.) B. Nord.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Gaque	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Semilla	Barocoria y Zoocoria	Leña
Romero	<i>Diplostegium</i> cf. <i>rosmarinifolius</i> (Benth.) Wedd.	Rescate	Anemocoria	No registrado
Diplostegium	<i>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Diplostegium 2	<i>Diplostegium tenuifolium</i> Cuatrec.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Tague	<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	Semilla	Zoocoria	No registrado
Ericaceae peluda	<i>Gaultheria</i> sp.	Semilla	Zoocoria	No registrado
Gynoxys	<i>Gynoxys hirsuta</i> Weed.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Mortiño	<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip	Semilla	Zoocoria	Comestible
Chite	<i>Hypericum</i> sp.	Rescate	Anemocoria	No registrado
Camarera	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Semilla	Zoocoria	Comestible
Tuno	<i>Miconia jahni</i> Pittier	Semilla	Zoocoria	No registrado
Angelito	<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	Semilla	Anemocoria	Ornamental
Laurel	<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) Parra-Os.	Rescate	Zoocoria	Cultural
Laurel hoji grande	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Semilla	Zoocoria	Cultural
Arrayán naranja	<i>Myrcianthes leucoxylla</i> (Ortega) McVaugh	Rescate	Zoocoria	Elaboración cabos de herramientas
Arrayán negro	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Semilla	Zoocoria	Elaboración cabos de herramientas
Cucharo	<i>Myrsine dependens</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	Semilla	Zoocoria	No registrado
Cucharo grande	<i>Myrsine</i> sp. 2	Rescate	Zoocoria	No registrado

Nombre común	Nombre científico	Forma de propagación en vivero	Mecanismo de dispersión de semillas	Usos en el DRMI rabanal
Amarillo	<i>Ocotea calophylla</i> Mez	Semilla y Rescate	Zoocoria y Barocoria	No registrado
Cajeto	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i> (Kunth) Baker	Semilla	Anemocoria	No registrado
Pentacalia	<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Ericaceae hoja pequeña	<i>Pernettya</i> sp. 1	Semilla	Zoocoria	No registrado
Asteraceae envés morado	<i>Scrobicaria ilicifolia</i> (L. f.) B. Nord.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Raque	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Semilla	Zoocoria	Construcción de cercas vivas y cabos de herramientas
Garrocho	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Semilla	Zoocoria	Leña y Construcción de cercas vivas
Encenillo	<i>Weinmannia</i> sp.	Semilla	Anemocoria	Maderable para estacones de cercas y como leña

Sucesión asistida a través de la técnica de nucleación

Las estrategias propuestas para la restauración ecológica se enfocaron en: procesos de nucleación asistida y otras técnicas/tecnologías asociadas a plantaciones de especies nativas para la restauración de comunidades y de poblaciones de especies forestales amenazadas, a saber:

- Estrategia 1: Procesos de nucleación asistida en áreas dominadas por gramíneas exóticas, especies forestales exóticas y/o colonizadas por especies de páramo.
- Estrategia 2: Ampliación de bordes de bosque altoandino.
- Estrategia 3: Incremento del establecimiento de individuos en la población de una especie forestal amenazada.

Las estrategias a continuación expuestas fueron ejecutadas con la implementación de *dos fases* de siembra, según coberturas vegetales dentro de las 80 ha (Tabla 11).

Tabla 11. Implementación de fases de siembra por cobertura.

Fase de siembra	Fecha de siembra	Cobertura intervenida
Fase I	Mayo de 2017	Mosaico de pastos con espacios naturales
		Bosque abierto
		Herbazal (pajonal-frailejónal)
Fase II	Noviembre de 217	Arbustal
		Plantación forestal (Acacias)

Las estrategias desarrolladas fueron las siguientes:

- **Estrategia 1: Procesos de nucleación en áreas dominadas por: 1. Gramíneas exóticas; 2. Especies colonizadoras de páramo; 3. Especies de arbustales y forestales exóticas**

La nucleación en Rabanal se propuso como la adecuación de espacios propicios para la dispersión y establecimiento de especies, que propenden por la sucesión natural en áreas de bosque altoandino degradadas y dominadas por gramíneas exóticas, especies forestales exóticas y colonizadas por especies de páramo.

Diseño de restauración de la nucleación asistida

- *Procesos de nucleación en áreas dominadas por gramíneas exóticas (Fase de siembra I, Cobertura Mosaico de pastos con espacios naturales).*

Consistió en núcleos conformados por nueve módulos, cada núcleo con un área mínima de 380 m² y un total de 261 individuos (9 individuos arbóreos y 252 individuos arbustivos). Los módulos corresponden a áreas no inferiores a 42 m², que incorporaron cinco especies nativas de diversos hábitos (arbóreo y arbustivo), plantados en cuatro anillos, con una distancia de 80 cm entre plántulas (Fig. 25).

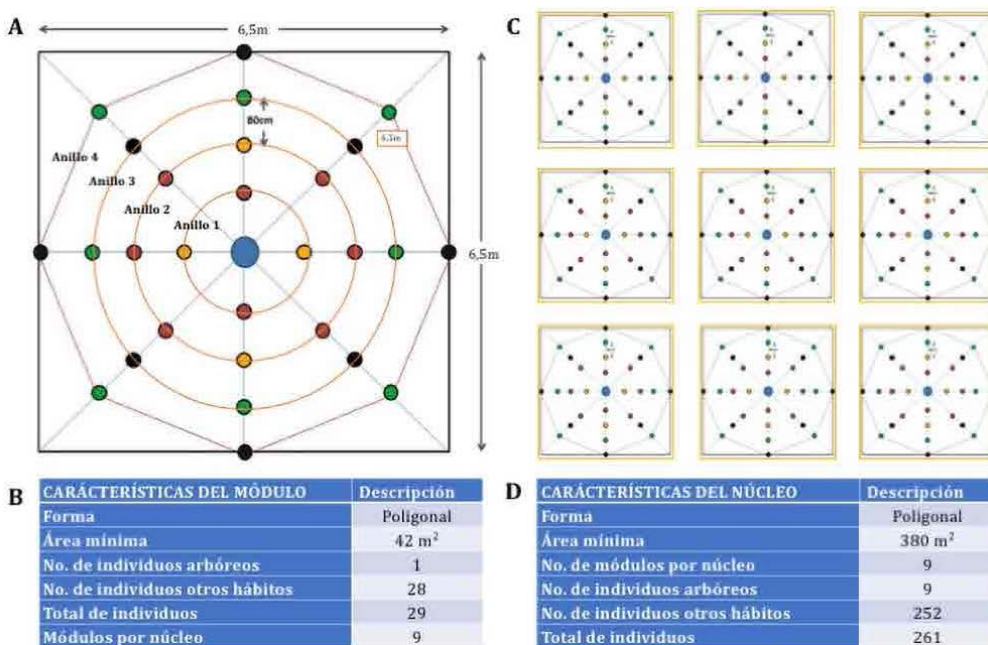


Figura 25. Diseño espacial de plantación para la cobertura "mosaico de pastos con espacios naturales" DRMI Rabanal. **A.** Diseño espacial de cada módulo, los círculos rojos, amarillos, verdes y negros corresponden a cuatro diferentes especies arbustivas, escogidas al azar y dependiendo de la disponibilidad de especímenes en vivero pero del mismo grupo funcional, el azul en el centro, corresponde a una especie arbórea; **B.** Características de cada módulo, se detallan formas, áreas y cantidades de individuos por forma de crecimiento; **C.** Diseño espacial del núcleo, cada núcleo conformado por nueve módulos; **D.** Características de cada núcleo, se detallan forma, área, No. de módulos y cantidad total de individuos por formas de crecimiento.

De esta forma, se implementaron 153 módulos que conforman 17 núcleos, con un total 4437 individuos plantados en esta cobertura; la riqueza de plantas en esta primera fase estuvo conformada por 20 especies entre arbustivas y arbóreas (Tabla 12).

La combinación de especies se justificó en la diversidad funcional en biotipos, síndromes de polinización y de dispersión, a su vez, en incluir especies arbustivas con altas tasas de renovación de biomasa aérea y tolerancia a la luz. De esta forma, y según la disponibilidad de individuos propagados en vivero, se realizaron combinaciones homogéneas para los núcleos 1 a 3, 4 a 6 y 7 a 9; los restantes núcleos guardan combinaciones diferentes, solo los núcleos 16 y 17 están conformados por más de cinco especies, debido al acervo final de material disponible en el vivero. A continuación, se relacionan dichas agrupaciones (Tabla 12).

Tabla 12. Combinación de especies por núcleos y anillos de plantación (Fase 1), cobertura de "mosaico de pastos con espacios naturales".

Núcleo	Anillos de plantación	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
1	Centro	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Hypericum sp.</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
2	Centro	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Hypericum sp.</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
3	Centro	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Hypericum sp.</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
4	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Diplostegium floribundum</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Pentacalia pulchella</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Myrsine sp.</i>	Arbusto	8	72
5	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Diplostegium floribundum</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Pentacalia pulchella</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Myrsine sp.</i>	Arbusto	8	72

Núcleo	Anillos de plantación	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
6	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Diplostegium floribundum</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Pentacalia pulchella</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Myrsine sp.</i>	Arbusto	8	72
7	Centro	<i>Vallea stipularis</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Macleania rupestris</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
8	Centro	<i>Vallea stipularis</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Macleania rupestris</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
9	Centro	<i>Vallea stipularis</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Macleania rupestris</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
10	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Vallea stipularis</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Viburnum sp.</i>	Arbusto	8	72
11	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Hypericum sp.</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Macleania rupestris</i> + <i>Myrsine sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	8	72
12	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Weinmannia sp.</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Gynoxis sp.</i> + <i>Diplostegium sp.</i> 1	Arbusto	8	72
	3	<i>Myrsine sp.</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72

Núcleo	Anillos de plantación	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
13	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Pentacalia pulchella</i> + <i>Morella</i> sp.	Arbusto	8	72
	3	<i>Weinmannia</i> sp.	Arbusto	8	72
	4	<i>Vallea stipularis</i>	Arbusto	8	72
14	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Vallea stipularis</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Weinmannia</i> sp.	Arbusto	8	72
15	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Vallea stipularis</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Weinmannia</i> sp.	Arbusto	8	72
	3	<i>Vallea stipularis</i>	Arbusto	8	72
	4	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
16	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Weinmannia</i> sp.	Arbusto	4	36
	2	<i>Diplostegium rosmarinifolium</i>	Arbusto	8	72
	3	<i>Myrsine</i> sp. 1	Arbusto	8	72
	4	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	8	72
17	Centro	<i>Clusia multiflora</i>	Árbol	1	9
	1	<i>Myrciantes rhopaloides</i>	Arbusto	4	36
	2	<i>Hypericum</i> sp.	Arbusto	8	72
	3	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	8	72
	4	<i>Hesperomeles goudotiana</i>	Arbusto	8	72

El proceso de intervención en campo implicó, medición detallada de módulos, traslado de plántulas, ahoyado y plantación del material, esta actividad fue apoyada por la comunidad local (Figs. 26 y 27).

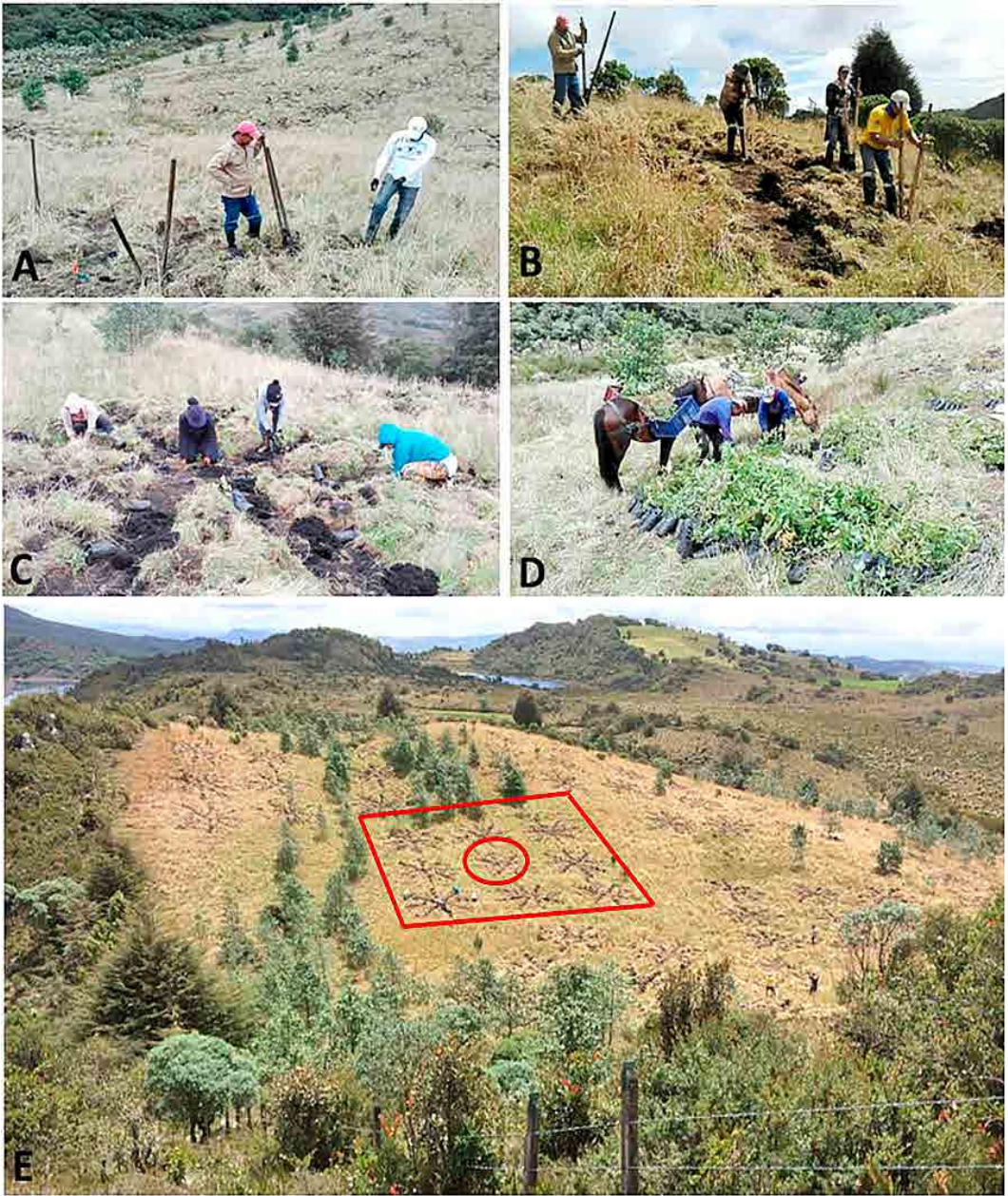


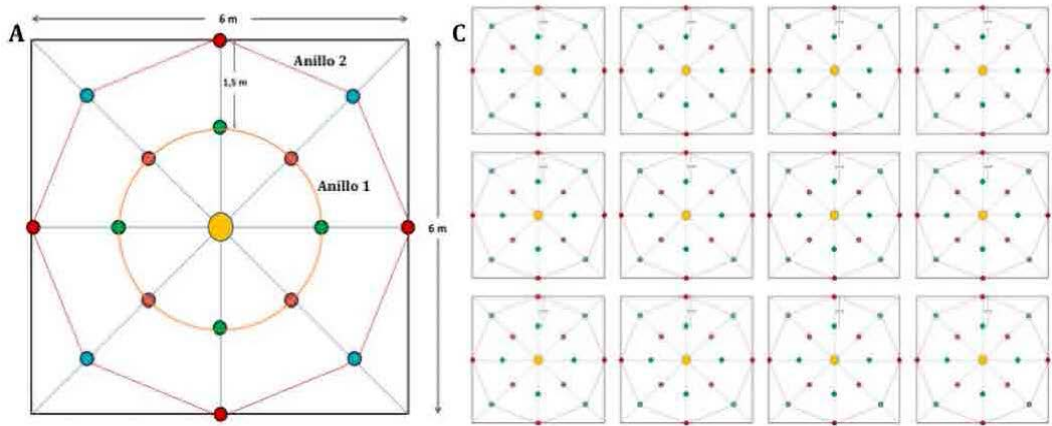
Figura 26. Registros fotográficos de la implementación del diseño en la cobertura "mosaico de pastos con espacios naturales". **A.** Medición y ubicación de módulos; **B.** Ahoyado en cada módulo; **C.** Plantación de material propagado; **D.** Transporte de plántulas; **E.** Panorámica del área de influencia directa de plantación Fase 1, cada núcleo (recuadro rojo), está conformado por 9 módulos (óvalo rojo).



Figura 27. Equipo de trabajo (comunidad local-Biólogos UPTC), plantación Fase I Páramo de Rabanal.

- *Procesos de nucleación en áreas dominadas por especies de páramo (Fase de siembra II, Cobertura de Herbazal, fisonomía de pajonal-frailejona).*

El diseño consistió en la composición de núcleos con un área mínima de 432 m², conformados por 12 módulos y un total de 204 individuos por núcleo (12 individuos arbóreos y 192 individuos arbustivos por núcleo) (Fig. 28). En cada módulo (36 m²) se incorporaron cinco especies nativas (una arbórea y cuatro arbustivas). Para este diseño se implementaron 108 módulos distribuidos en nueve núcleos, y una siembra total de 1836 plántulas. De esta forma, y según la disponibilidad de individuos propagados en vivero, se realizaron combinaciones homogéneas para los núcleos 18, 22 y 25. En la Tabla 13 se relacionan dichas agrupaciones.



B CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO	Descripción
Forma	Poligonal
Área mínima	36 m ²
No. de individuos arbóreos	1
No. de individuos otros hábitos	16
Total de individuos	17
Módulos por núcleo	12

D CARACTERÍSTICAS DEL NÚCLEO	Descripción
Forma	Poligonal
Área mínima	432 m ²
No. de módulos por núcleo	12
No. de individuos arbóreos	12
No. de individuos otros hábitos	192
Total de individuos	204

Figura 28. Diseño espacial de plantación para la cobertura "herbazal" DRMI Rabanal. **A.** Diseño espacial de cada módulo, el círculo amarillo corresponde a una especie arbórea, los círculos verdes, rojo, vino-tinto y azul a cuatro especies arbustivas; **B.** Características de cada módulo, se detallan formas, áreas y cantidades de individuos por forma de crecimiento; **C.** Diseño espacial del núcleo, cada núcleo conformado por 12 módulos; **D.** Características de cada núcleo, en esta se detallan forma, área, No. de módulos y cantidad total de individuos por formas de crecimiento.

Tabla 13. Combinación de especies por núcleos y anillos de siembra (Fase II), cobertura de "herbazal".

Núcleo	ID_INDIVI	Anillos de siembra	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
18	PF18	Centro	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	1	12
		1	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		1	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	4	48
		2	<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip	Arbusto	4	48
		2	<i>Viburnum</i> sp.	Arbolito	4	48
19	PF19	Centro	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Árbol	1	12
		1	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	48
		1	<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.	Arbusto	4	48
		2	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		2	<i>Myrsine</i> sp.	Arbusto	4	48
20	PF20	Centro	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Árbol	1	12
		1	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		1	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	48
		2	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	4	48
		2	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	4	48
21	PF21	Centro	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	1	12
		1	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	4	48
		1	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	48
		2	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	48
		2	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
22	PF22	Centro	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	1	12
		1	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		1	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	4	48
		2	<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip	Arbusto	4	48
		2	<i>Viburnum</i> sp.	Arbolito	4	48

Núcleo	ID_INDIVI	Anillos de siembra	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
23	PF23	Centro	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	1	12
		1	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	48
		1	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	48
		2	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbusto	4	48
		2	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Arbolito	4	48
24	PF24	Centro	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Árbol	1	12
		1	<i>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Arbusto	4	48
		1	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		2	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	4	48
		2	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	48
25	PF25	Centro	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	1	12
		1	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		1	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	4	48
		2	<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip	Arbusto	4	48
		2	<i>Viburnum</i> sp.	Arbolito	4	48
26	PF36	Centro	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	1	12
		1	<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	Arbusto	4	48
		1	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	48
		2	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4	48
		2	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	4	48
					TOTAL	1836

- *Procesos de nucleación en áreas dominadas por arbustos y especies forestales exóticas (Fase de siembra II, Coberturas de arbustales y plantación forestal de acacias).*

Nucleación en arbustal: Consistió en núcleos de 150 m², conformados por 6 módulos y un total de 150 individuos por núcleo (72 individuos arbóreos y 78 individuos arbustivos por núcleo). Los módulos (25 m²) incorporaron cuatro especies nativas (dos arbóreas y dos arbustivas). La plantación se realizó en iguales proporciones entre árboles y arbustos. Las especies fueron distribuidas según el diseño de núcleo tipo cuadrado (Fig. 29). A partir de este diseño, se implementaron 90 módulos en 15 núcleos, con un total de 2250 plántulas sembradas (Tabla 14).

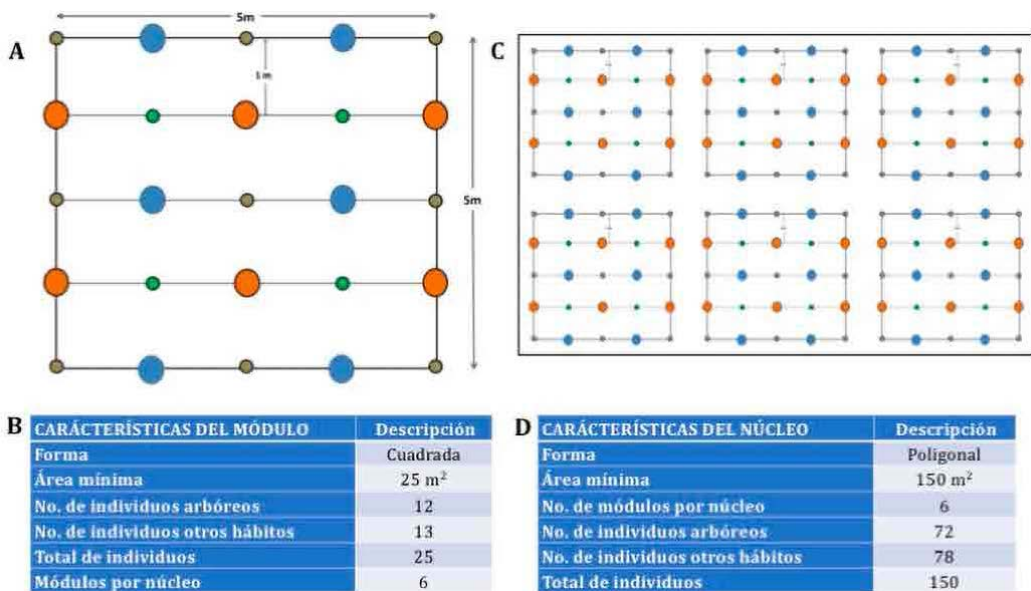


Figura 29. Diseño espacial de plantación para la cobertura "arbustal y plantación forestal" DRMI Rabanal. **A.** Diseño espacial de cada módulo, los círculos azules y anaranjados corresponden a dos especies arbóreas, los círculos verdes a dos especies arbustivas; **B.** Características de cada módulo, se detallan formas, áreas y cantidades de individuos por forma de crecimiento; **C.** Diseño espacial del núcleo, cada núcleo conformado por seis módulos; **D.** Características de cada núcleo, se detallan forma, área, No. de módulos y cantidad total de individuos por formas de crecimiento.

Tabla 14. Combinación de especies por núcleos de siembra (Fase II), cobertura de "arbustal".

Núcleo	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
29	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	9	54
	<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.	Árbol	6	36
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	24
30	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	6	36
	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	4	24
31	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	Árbol	6	36
	<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.	Arbusto	4	24

Núcleo	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
32	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	6	36
	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Arbolito	6	36
	<i>Weinmannia fagaroides</i> Kunth	Arbolito	4	24
33	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	Arbusto	6	36
	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	6	36
	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	4	24
34	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Arbolito	6	36
	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	6	36
	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	4	24
35	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	9	54
	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	6	36
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	Arbusto	4	24
37	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	6	36
	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	4	24
38	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	9	54
	<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.	Árbol	6	36
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	24
39	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	9	54
	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	24
40	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	9	54
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Arbolito	6	36
	<i>Viburnum</i> sp.	Arbusto	4	24
41	<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	Arbusto	9	54
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.	Arbusto	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	24

Núcleo	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
42	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	9	54
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	6	36
	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur	Arbolito	6	36
	<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.	Arbusto	4	24
43	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	9	54
	<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.	Árbol	6	36
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	4	24
44	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	9	54
	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	6	36
	<i>Clusia multiflora</i> Kunth	Árbol	6	36
	<i>Macleania rupestris</i> (Kunth) A.C. Sm.	Arbusto	4	24
			TOTAL	2250

Nucleación en plantación forestal de Acacia melanoxylon: Consistió en núcleos (150 m²) conformados por 6 módulos y un total de 150 individuos por núcleo (72 individuos arbóreos y 78 individuos arbustivos por núcleo), el diseño guarda igual configuración que los realizados para la cobertura de arbustal. De esta forma, en la plantación forestal de acacias fueron implementados 18 módulos en tres núcleos, con un total de 450 plántulas sembradas (Fig. 30, Tabla 15).



Figura 30. Registros de campo, Fase II de siembra. **A.** Traslado de material del vivero al lugar de siembra; **B.** Disposición temporal del material vegetal en áreas contiguas a la zona de siembra; **C-D.** Implementación de núcleos en pajonal-frailejónal, delimitación y siembra; **E-F.** Implementación de núcleos en arbustal, delimitación y siembra; **G-H.** Implementación de núcleos en plantación forestal de exóticas, delimitación y siembra.

Tabla 15. Combinación de especies por núcleos de siembra (Fase II), cobertura de "plantación forestal".

Núcleo	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por módulo	Cantidad sembrada por núcleo
26	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	9	54
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	6	36
	<i>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Arbusto	4	24
27	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	9	54
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	6	36
	<i>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Arbusto	4	24
28	<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	9	54
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Arbolito	6	36
	<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	Arbusto	6	36
	<i>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Arbusto	4	24
			Total	450

- **Estrategia 2: Ampliación de bordes de bosque altoandino**

Entender que el ecotono es una zona de transición natural entre dos ecosistemas complementarios, justifica esta estrategia de restauración. El ecotono o hábitat de borde, en este caso, es la zona de transición entre el bosque altoandino y los pastizales de gramíneas exóticas dominante (Forman & Gordon, 1986; Forman, 1995).

Diseño de restauración de bordes de bosque

El diseño consistió en plantación de 10 especies entre árboles y arbustos, en áreas contiguas a bosque; para esto se propusieron formas tipo polígono (rectángulos o bandas) con áreas no mayores a 60 m², de cada especie se plantaron cinco individuos distanciados cada metro; en total se plantaron nueve bandas (núcleos), con 54 individuos respectivamente (4 árboles, 50 arbustos; 486 individuos en total). Cada banda mantuvo las siguientes características (Tabla 16). Según la fisonomía del borde de bosque, la distancias entre bandas fue de 0,5 y 3 m. De esta forma, *Vallea stipularis* (especie arbórea) fue sembrada paralela al borde de bosque, mientras que las restantes especies fueron dispuestas de forma transversal a la cobertura (Fig. 31).

Tabla 16. Combinación de especies por núcleos de siembra (Fase I), en la estrategia ampliación de bordes de bosque.

Núcleo	Especie	Forma de crecimiento	Cantidad sembrada por núcleo	Total sembrada
1 a 9 con igual configuración de siembra	<i>Vallea stipularis</i>	Árbol	4	36
	<i>Ageratina scorodonioides</i>	Arbusto	5	45
	<i>Macleania rupestris</i>	Arbusto	5	45
	<i>Monochaetum myrtoideum</i>	Arbusto	5	45
	<i>Pentacalia pulchella</i>	Arbusto	5	45
	<i>Weinmannia fagaroides</i>	Árbol	5	45
	<i>Bucquetia glutinosa</i>	Árbol	5	45
	<i>Myrsianthes rhopaloides</i>	Árbol	5	45
	<i>Viburnum sp.</i>	Árbol	5	45
	<i>Hesperomeles goudotiana</i>	Arbusto	5	45
	<i>Ageratina ampla</i>	Arbusto	5	45
	TOTAL			54

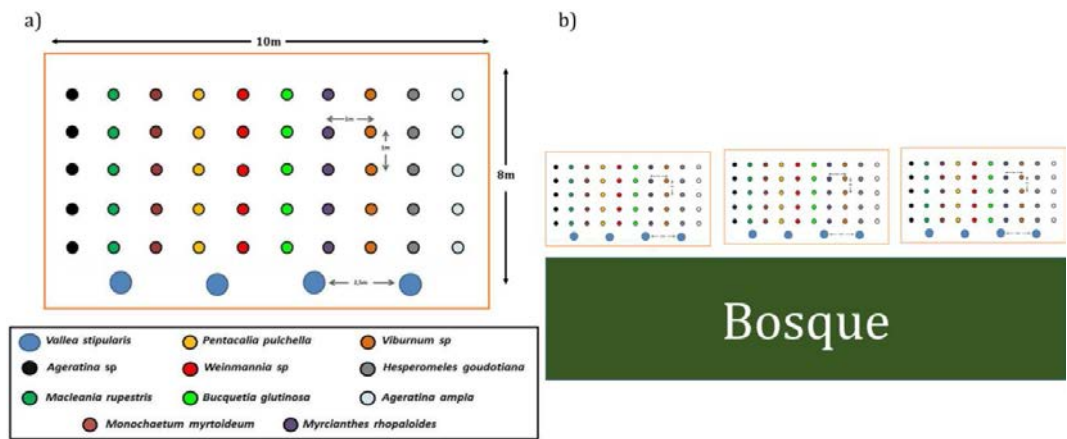


Figura 31. Diseño de plantaciones para ampliación de bordes de bosque. **a)** Distribución de especies arbustivas y arbóreas; **b)** Distribución espacial de bandas, nótese que *Vallea stipularis* es la especie más próxima al borde de bosque.

• **Estrategia 3: Incremento del establecimiento de individuos en la población de una especie forestal amenazada**

Es evidente el efecto que han tenido las acciones humanas sobre el territorio de interés. La pérdida de la cobertura de bosque altoandino para la ampliación de la frontera agropecuaria, o bien por el uso indiscriminado de recursos como la madera, para su comercialización o la construcción de residencias y cercas, ha conllevado a una amplia fragmentación de hábitats. El restablecimiento de las poblaciones de especies forestales nativas bajo amenaza o extintas localmente, favorecería la regeneración natural; por lo anterior, se seleccionó *Ocotea calophylla* (laurel), y se hizo enriquecimiento al interior de fragmentos de bosque.

En total, para las fases de siembra I y II, en las coberturas de mosaico de pastos con espacios naturales (gramíneas exóticas), herbazal (pajonal-frailejónal), arbustal y plantación forestal (acacias), se establecieron 44 núcleos de regeneración natural, que incluyeron un total de 8973 plántulas sembradas (Estrategia 1); adicionalmente, como estrategia de ampliación de borde de bosque, se sembraron 486 individuos (Estrategia 2), y en la cobertura de bosque abierto (bosque altoandino), como estrategia de restauración a escala de poblaciones, se implementó la siembra de 120 individuos de *Ocotea calophylla* (Estrategia 3).

En general se sembraron 9579 plantas en la extensión de las 80 ha de restauración-DRMI Rabanal; a pesar de ello, debido al éxito de propagación obtenido en las estrategias de vivero, al desarrollo y robustez del material vegetal, y como responsabilidad ambiental aunada al estudio (ante la necesidad de no perder el material propagado), se realizó la siembra adicional de 1152 plantas dentro del área de estudio, siembra que no fue monitoreada.

A continuación, se relaciona la cantidad de material plantado por estrategia de restauración en el DRMI Rabanal, 80 ha (Tabla 17, Fig. 32):

Tabla 17. Cantidad de individuos plantados por estrategia de restauración.

Estrategia de restauración	Cantidad módulos por núcleo	Cantidad de núcleos sembrados	Cantidad de individuos por módulo	Total individuos plantados
<i>Estrategia 1. Procesos de nucleación en áreas dominadas por gramíneas exóticas</i>	9	17	29	4437
<i>Estrategia 1. Nucleación asistida nucleación en áreas dominadas por especies de páramo (pajonal-frailejónal)</i>	12	9	17	1836
<i>Estrategia 1. Procesos de nucleación en áreas dominadas por arbustos</i>	6	15	25	2250
<i>Estrategia 1. Procesos de nucleación en áreas dominadas por especies forestales exóticas</i>	6	3	25	450
<i>Estrategia 2. Ampliación de bordes de bosque altoandino</i>	1	9	54	486
<i>Estrategia 3. Incremento del establecimiento de individuos en la población de una especie forestal amenazada.</i>	-	-	-	120
TOTAL				9579

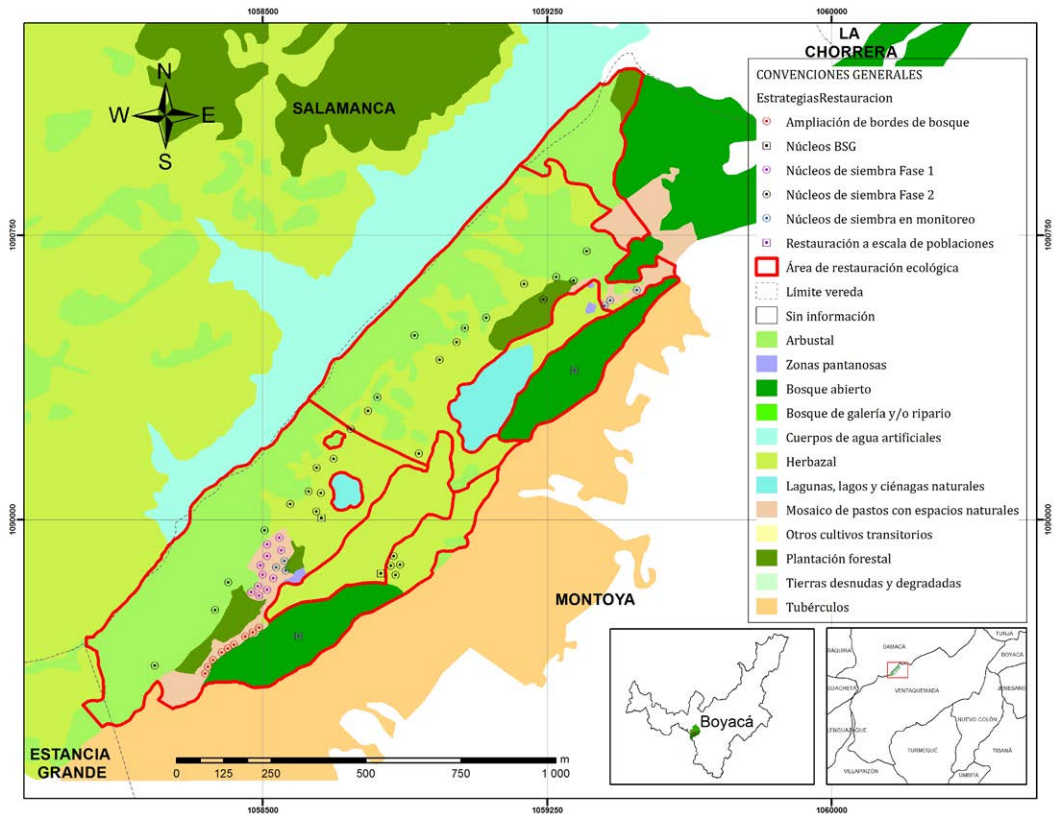


Figura 32. Distribución espacial de la nucleación asistida realizada en el DRMI Rabanal (80 Ha), incluidas Fase I y II de siembra.

PROPAGACIÓN DE PLANTAS NATIVAS

En el proceso de establecimiento de proyectos de restauración ecológica, uno de los factores de mayor importancia es la consecución de material biológico de calidad (plantas), materia prima para la formulación e implementación de diseños de siembra; a continuación, se relacionan los criterios para la selección de árboles o rodales semilleros para la propagación de plántulas en vivero:

- planta en edad reproductiva, es decir, que tenga la capacidad de producir flores, frutos y semillas;
- planta de origen nativo, propia del ecosistema de referencia y con características ecológicas deseadas para el proyecto;
- que en su estructura se evidencien características fenotípicas deseables de replicar; tener buen estado fitosanitario, o sea, que no presente ataque por patógenos;
- la planta seleccionada como fuente semillera debe estar presente en la zona de estudio, en el área de influencia directa o indirecta, además debe estar en el mismo rango altitudinal, y creciendo en ambientes muy similares ecológicamente a los sitios definitivos de siembra,

ya que con esto se garantiza que tenga una mayor probabilidad de supervivencia; -las semillas deben estar sanas y tener buenos porcentajes de germinación; -se seleccionaron como mínimo tres individuos adultos, a los cuales se les realizó el aprovechamiento de menos del 20% de frutos y semillas; finalmente, cada fuente semillera se georreferenció, esto con el fin de establecer las rutas de recorrido para verificar estados fenológicos a lo largo del año.

Posterior a la selección de rodales semilleros, también se establecieron una serie de pasos para realizar la correcta colecta de los frutos y semillas, considerando los aspectos previos:

-Para el caso de frutos carnosos, se determinó el grado de madurez con características cualitativas como la tonalidad y la consistencia del fruto, esto se realizó de la mano de los viveristas, los cuales han crecido ligados a estas plantas, y por tanto, conocen los estados de madurez de los frutos, junto al trabajo bibliográfico y de profesionales; en el caso de la familia Asteraceae, se buscaron capítulos en estado maduro y con producción de aquenios, y se colectaban los capítulos cuyos aquenios fueran de color marrón, beige o amarillo quemado, siendo los que presentan los mejores índices de germinación; es importante considerar, que la producción de semillas vacías en esta familia es muy alta, por lo que se deben realizar colectas de calidad, que garanticen la germinación.

- Se realizaron pruebas de corte a las semillas, con el fin de verificar la maduración y calidad de los embriones.

-El almacenamiento de los frutos y semillas en campo se hizo en bolsas de papel o de tela. Cada bolsa fue rotulada con el nombre de la planta, fecha y sitio de colecta.

-En el vivero se realizó la limpieza de los frutos y semillas, para ello, se retiraron las impurezas, y en el caso de los frutos carnosos, se realizó el despulpe y separación de semillas.

-Posterior a la limpieza de las semillas, se realizó una selección manual de las mismas, en este paso se descartan semillas que se observen en mal estado, o que estén contaminadas.

-Se realizaron tratamientos pre-germinativos (de ser necesarios) para cada semilla, según requerimientos como imbibición, escarificación y choque térmico (Tabla 18).

-Posterior a esto, se procedió a realizar la siembra de las semillas en los sustratos preparados, según los requerimientos de humedad y porosidad del sustrato, lo cual depende principalmente de la especie.

Tabla 18. Tratamientos Pre-germinativos aplicados para las especies propagadas en el vivero Rabanal.

ESPECIE	Tratamiento pre-germinativo de la semilla			Siembra directa después de la limpieza de la semilla
	Imbibición	Choque térmico	Escarificación	
<i>Vallea stipularis</i> L. f.				x
<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth				x
<i>Pernettya</i> sp.	x			
<i>Ageratina</i> sp.				x
<i>Gynoxys</i> sp.				x
<i>Berberis</i> sp.				x
<i>Miconia</i> sp.		x		
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh				x
<i>Viburnum</i> sp.				x
<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip	x	x	x	
<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.	x			
<i>Myrsine</i> sp.	x			
<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.				x
<i>Ocotea calophylla</i> Mez	x			
<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	x			
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	x			
<i>Diplostephium floribundum</i> (Benth.) Wedd.				x
<i>Diplostephium tenuifolium</i> Cuatrec.				x
<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) Parra-Os.		x	x	
<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	x			
<i>Clusia multiflora</i> Kunth				x
<i>Weinmannia</i> sp.	x			
<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don				x
<i>Scrobicaria ilicifolia</i> (L. f.) B. Nord.				x
<i>Pernettya</i> sp. 2	x			
<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.				x

TIPOS DE SUSTRATOS

En el proceso de germinación de semillas de las diferentes especies propagadas en el vivero Rabanal, se han manejado sustratos de tipo inerte y orgánico, con los que se preparan diferentes mezclas según el tipo de semilla y los requerimientos de humedad y porosidad. Se muestra a continuación el listado de sustratos usados, tanto para germinación como para encapchado de material vegetal en bolsa (Tabla 19).

Tabla 19. Tipos de sustratos usados en el vivero Rabanal

Sustratos inertes	Sustratos orgánicos
<p>Arena lavada: es un sustrato de origen inerte, de grano fino, que tienen características importantes como brindar porosidad a las mezclas en que es usada, además de conferir una buena permeabilidad hídrica para evitar encharcamientos en las mezclas.</p>	<p>Turba: es de origen vegetal, que ha pasado por un proceso de compostaje, y tienen una buena carga orgánica; posee buena capacidad de retención de agua. Al ser de origen industrial, se garantiza que es un sustrato esterilizado y libre de arvenses, se mezcla muy bien con otros tipos de sustratos y proporciona buena aireación a las raíces.</p>
<p>Vermiculita: es un mineral fino que está compuesto principalmente de silicatos, se caracteriza por presentar un aspecto brillante en láminas, este sustrato presenta buena capilaridad, y relación de drenaje de agua y aireación de las raíces.</p>	<p>Abono orgánico tipo bocachi: fue fabricado en el vivero Rabanal, la materia prima fue, residuos de cocina como cáscaras de frutas y vegetales, abono fresco de bovino, melaza y levadura industrial. Para la preparación, se deben mezclar todos los ingredientes mencionados anteriormente, y se cubren con un plástico para empezar un proceso de fermentación y descomposición, además de esto se deben hacer volteos cada 3 días. El abono puede estar listo para ser usado de 20 a 30 días después. Este abono confiere a los sustratos una buena enmienda orgánica y capacidad de retención hídrica.</p>
<p>Cascarilla de arroz: es un subproducto de la industria arrocería, confiere a los sustratos buena aireación y drenaje de agua; debido a su origen, debe ser sometido a un proceso de esterilización, o transformarlo en cascarilla incinerada, las dos técnicas se practicaron en el vivero Rabanal.</p>	<p>Humus de lombriz: es elaborado a partir de la descomposición de desechos orgánicos como residuos de cocina, cartón, papel, hojarasca, y abonos de bovinos y equinos, por parte de las lombrices. El humus confiere a las mezclas elaboradas buen porcentaje de materia orgánica, y los nutrientes necesarios para el óptimo desarrollo en semilleros y bolsas. Este sustrato es suministrado por microempresas dedicadas a esta actividad.</p>
	<p>Capote de monte y hojarasca: se obtienen a partir de la descomposición natural de hojarasca y materia orgánica de las zonas boscosas aledañas al vivero Rabanal, su uso es restringido solo a especies con requerimientos especiales para la germinación, y es mezclado con sustratos inertes y orgánicos. El capote pasa por un proceso de limpieza, y es cernido con el fin de obtener un sustrato con partículas uniformes. Lo que se busca con el uso del capote, es brindar a la semilla condiciones muy similares a las que esta va a encontrar en su ambiente natural, y con esto tener mejores porcentajes de germinación en semillas de <i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.; <i>Ocotea calophylla</i> Mez; <i>Weinmannia</i> sp. y <i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip.</p>

SUSTRATOS PARA GERMINACIÓN EN SEMILLEROS

En el proceso de germinación de material vegetal en el vivero Rabanal, se ha evidenciado que las semillas requieren de sustratos que brinden condiciones óptimas para su germinación, se ha trabajado así:

Sustrato usado para germinación de semillas. Está compuesto por los siguientes ingredientes: turba, vermiculita, arena, humus de lombriz y tierra negra. El procedimiento para la preparación de la mezcla es: se usa como base, 4 k de tierra negra de vivero previamente cernida y esterilizada, 2 k de turba, ½ lb de vermiculita, 3 lb de arena lavada, 1 lb de humus de lombriz, 1 lb de bocachi (opcional), estas se mezclan hasta homogenizar para ser puesto en la cama de germinación.

Sustrato para germinación de especies de porte arbóreo con requerimientos especiales para la germinación, caso *Brunellia colombiana*, *Hesperomeles goudotiana*, *Ocotea calophylla*, *Weinmannia fagaroides* y *Clethra fimbriata*: está compuesto principalmente de materia orgánica y sustratos que brindan buen porcentaje de porosidad y retención de humedad, principalmente busca equiparar las condiciones propias del sitio de origen de las semillas. En cuanto a los componentes, para este sustrato se requiere: 1 k de turba, 1/2 lb de vermiculita, 2 k de bocachi, 2 k de humus de lombriz, ½ lb de arena lavada, 2 k de Capote de monte, 500 gr de hojarasca. Se deben mezclar todos los componentes, menos la hojarasca y el capote de monte, los cuales son agregados al final, se dispone la mezcla en el semillero y se agrega una capa de capote de monte, se siembran las semillas y se agregan la hojarasca y otra capa de capote de monte, según el tamaño de la semilla; posteriormente, se deben regar los semilleros a diario, para obtener buenos resultados de germinación (Fig. 33, Tabla 20).



Figura 33. Vista general de un semillero realizado con el sustrato de capote y hojarasca para la especie *Ocotea calophylla* (Amarillo).

Tabla 20. Especies y tipos de sustratos utilizados para la germinación en el vivero Rabanal.

ESPECIE	Turba, vermiculita, arena, humus de lombriz, tierra negra.	Turba, vermiculita, bocachi, humus de lombriz, arena, capote de monte y hojarasca.
<i>Vallea stipularis</i> L. f.	X	
<i>Cestrum buxifolium</i> Kunth	X	
<i>Pernettya</i> sp.	X	
<i>Ageratina</i> sp.	X	
<i>Gynoxys</i> sp.	X	
<i>Berberis</i> sp.	X	
<i>Miconia</i> sp.	X	
<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	X	
<i>Viburnum</i> sp.	X	
<i>Hesperomeles goudotiana</i> (Decne.) Killip		X
<i>Brunellia colombiana</i> Cuatrec.		X
<i>Myrsine</i> sp.	X	
<i>Pentacalia pulchella</i> (Kunth) Cuatrec.	X	
<i>Ocotea calophylla</i> Mez		X
<i>Bucquetia glutinosa</i> (L. f.) DC.	X	
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth		X
<i>Diplostephium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	X	
<i>Diplostephium tenuifolium</i> Cuatrec.	X	
<i>Morella parvifolia</i> (Benth.) Parra-Os.	X	X
<i>Monochaetum myrtoideum</i> (Bonpl.) Naudin	X	
<i>Clusia multiflora</i> Kunth	X	
<i>Weinmannia</i> sp.		X
<i>Gaiadendron punctatum</i> (Ruiz & Pav.) G. Don	X	X
<i>Scrobicaria ilicifolia</i> (L. f.) B. Nord.	X	
<i>Pernettya</i> sp. 2	X	
<i>Ageratina ampla</i> (Benth.) R.M. King & H. Rob.	X	

Dificultades en crecimiento y germinación

Se evidencia en dos etapas, ya sea en la germinación o en el momento del trasplante a bolsa, estos inconvenientes están estrechamente ligados a la calidad de la semilla y los requerimientos nutricionales de las plántulas.

-*Gaiadendron punctatum* (Ruiz & Pav.) presentó buenos porcentajes de germinación en sus semillas, el problema, es el estancamiento del crecimiento una vez el trasplante a bolsa, también Velandia & Fajardo (2004) lo indican, argumentando posibles inconvenientes como la maduración del fruto y factores fisiológicos de la especie, sumado a que es una planta parásita.

Dificultades respecto a los porcentajes de germinación de semillas en Asteráceas, es el gran porcentaje de semillas sin embrión o vacías; por lo anterior, para garantizar la germinación debe aumentarse el número de semillas por lote.

-*Ocotea calophylla* Mez (Amarillo), después de varios ensayos el sustrato corresponde al compuesto por capote de monte y hojarasca; otra dificultad fue la disponibilidad de semillas de calidad, ya que solo se pueden cosechar una vez al año, y las semillas viables no alcanzan el 40% del total de la recolecta.

Control de patógenos

En el vivero Rabanal se realizó de forma manual, así como con la aplicación de insecticidas orgánicos; adicionalmente, se contó con opciones de insecticidas de origen químico, los cuales se aplicaron como último recurso de control y eliminación de patógenos.

En cuanto a las labores manuales de control fue constante el manejo de insectos como áfidos, larvas, entre otros. Como medidas preventivas y de control en los focos de infestación, se realizaron aislamientos en zona de cuarentena, y se aplicaron biopreparados compuestos por jabón rey, ajos y hierbas amargas. En cuanto al control por hongos, se suministraron zumos de manzanilla, ya que poseen azufre, y actúan controlando el hongo; también se utilizó la preparación de caldo bordes, el cual controla insectos y hongos.

En cuanto al control químico para insectos, se utilizaron productos con el principio activo llamado cipermetrina, el cual es un poderoso insecticida de contacto de amplio espectro; para hongos; del mismo modo se emplearon productos con el principio activo difenoconazole, conocido comercialmente como Kurdo, producto que controla de manera efectiva las infestaciones por hongos.

Para el control de babosas y caracoles, se elaboraron trampas de atracción, las cuales consisten en impregnar un trapo con cerveza y dejarlo durante toda la noche, en la mañana, se colectan las babosas, las cuales son posteriormente eliminadas; otro método para atraerlas, son cáscaras de naranja. Como medidas químicas, se utilizó cal viva, así como, un producto comercial llamado matababosa, en el cual tiene como principio activo metaldehído al 7%.

Especies propagadas en el vivero Rabanal

Como resultado del seguimiento periódico a las especies al interior del vivero, se obtuvieron datos suficientes para establecer los tiempos mínimos en que una planta llega a un estado óptimo, para salir a etapa de endurecimiento. Se debe aclarar, que las tallas mínimas de salida a endurecimiento pueden variar según la especie, ya que, algunas son de lento crecimiento; así mismo, deben tener una talla mínima de por lo menos 30 cm de altura para ser llevadas a siembra en campo.

Para analizar el desarrollo de las plantas, se midieron atributos como la altura y la cobertura, estos datos fueron registrados al 10% de los individuos de cada lote y por especie; las plantas fueron marcadas con el fin de medir el mismo individuo

en cada seguimiento. Las mediciones fueron realizadas cada 8, 15 o 20 días; la frecuencia dependía del crecimiento de cada especie, es decir, especies de rápido y lento crecimiento.

En la Figura 34, se muestra el tiempo de desarrollo en altura y cobertura para el raque (*Vallea stipularis* L. f.), el cual alcanza una talla mínima para salida a endurecimiento a los 170 días, esta planta se considera de rápido crecimiento y tuvo buena respuesta en cuanto al establecimiento en siembras.

De igual forma, se muestra el tiempo de desarrollo en altura y cobertura para el garrocho (*Viburnum triphyllum* Benth) (Fig. 34), ya que alcanza la talla mínima para salida a endurecimiento a los 250 días; es una especie de crecimiento intermedio, en la cual se evidenció que, en algunas etapas de crecimiento y desarrollo, es propensa al ataque por hongos, evidenciándose en los decrecimientos en cobertura. Como medida para mitigar estos ataques, se realizaron controles periódicos y aplicaciones de fungicidas.

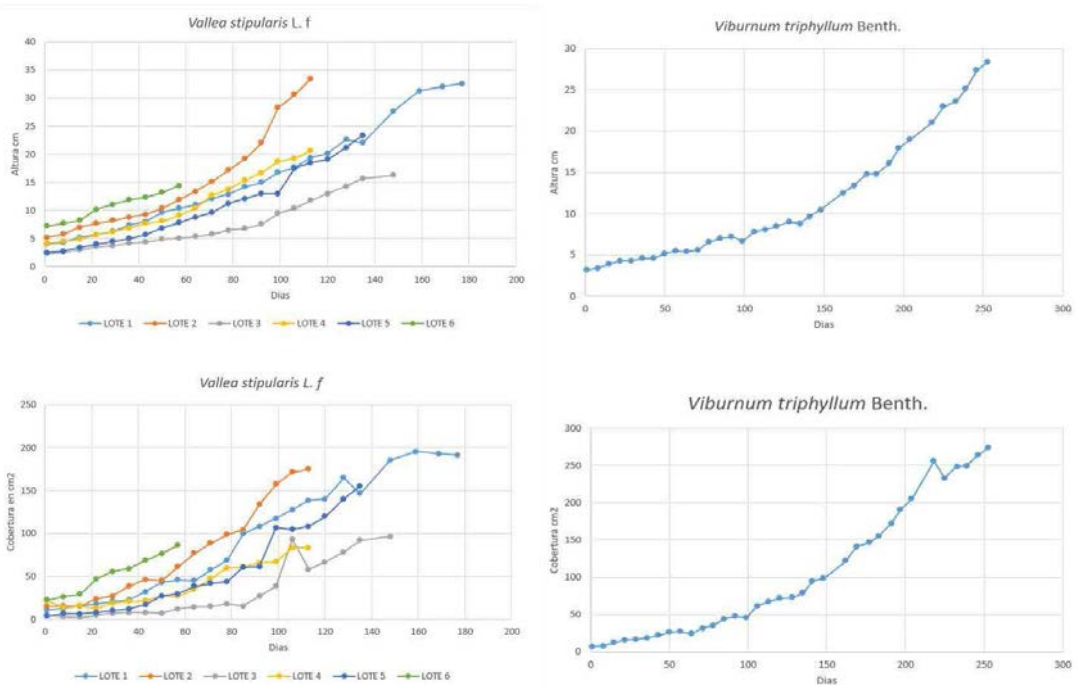


Figura 34. Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Vallea stipularis* L. f. (Raque) y *Viburnum triphyllum* Benth (Garrocho).

En la Figura 35., se presenta el desarrollo en altura y cobertura para el Jarillo (*Ageratina ampla* (Benth.) R.M. King & H. Rob.), esta especie es de rápido crecimiento, a los 180 días alcanza las alturas mínimas para salida a endurecimiento; presentó ataques por hongos, que conllevaron a pérdidas en cobertura; sin embargo, como se observa en la gráfica, las plantas se recuperaron gracias a los tratamientos aplicados.

Igualmente, se entrevistó que el desarrollo para el Mortiño (*Hesperomeles goudotiana* (Decne.) Killip) (Fig. 35), es de crecimiento lento y tarda 250 días en alcanzar alturas promedio de 18 cm, esta planta alcanza su talla mínima de crecimiento en etapa de endurecimiento.

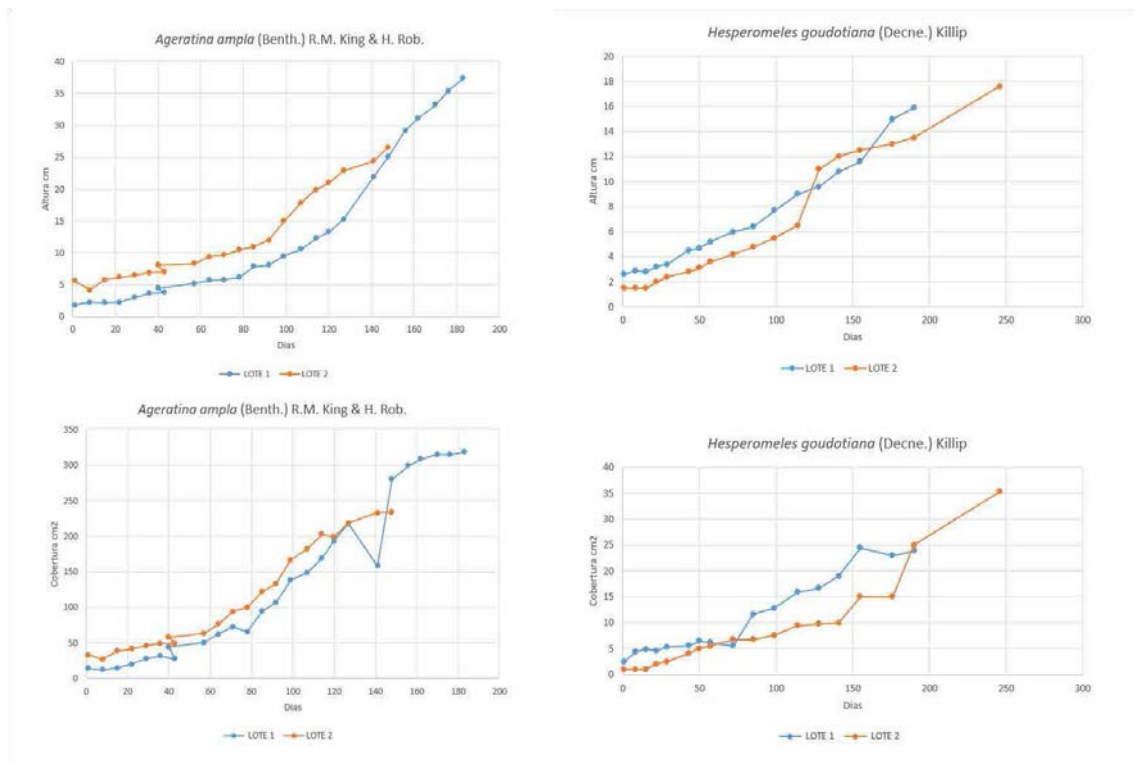


Figura 35. Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Ageratina ampla* (Benth.) R.M. King & H. Rob. (Jarillo) y *Hesperomeles goudotiana* (Decne.) Killip (Mortiño).

En las subsecuentes Figuras 36 a 39, se detalla la tendencia de crecimiento en otras especies; en estas, el desarrollo se consideró rápido, si en los primeros 15 días se identificaron meristemos foliares y hojas verdaderas, o lento si posterior a ese tiempo no se observó un desarrollo definido.

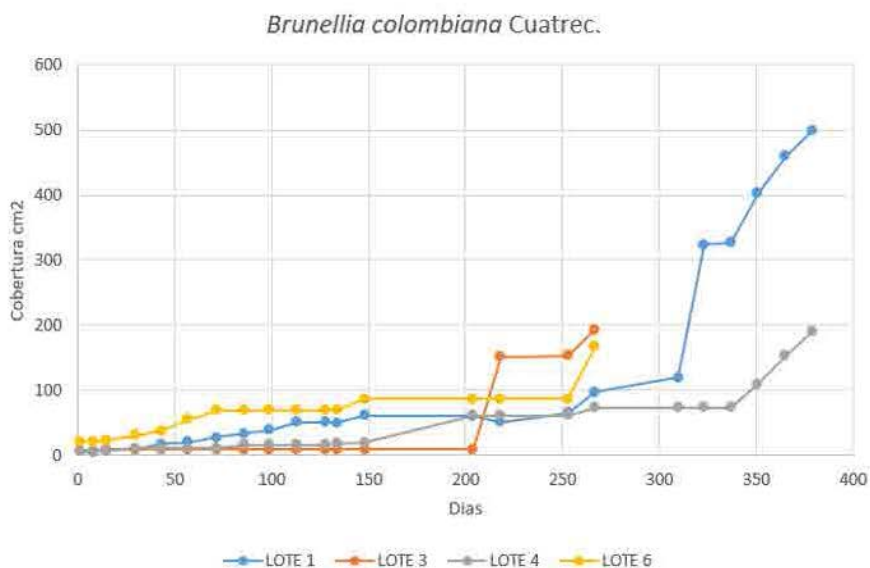
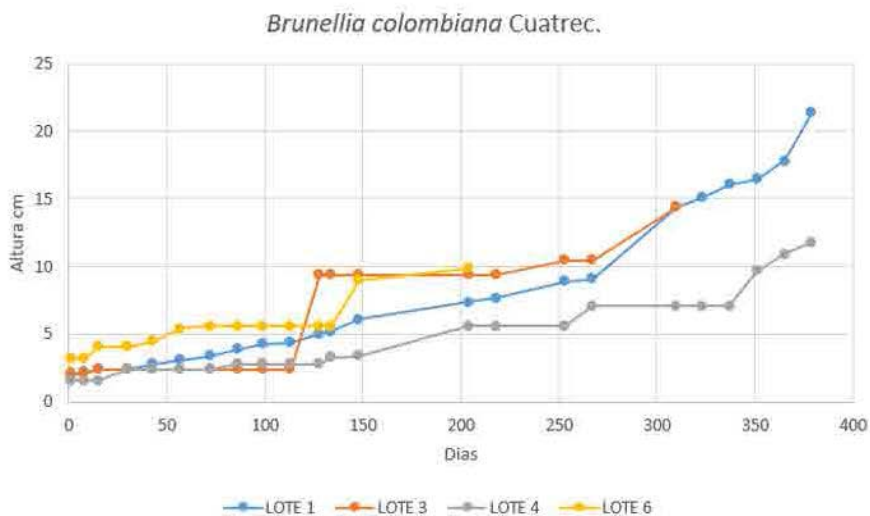
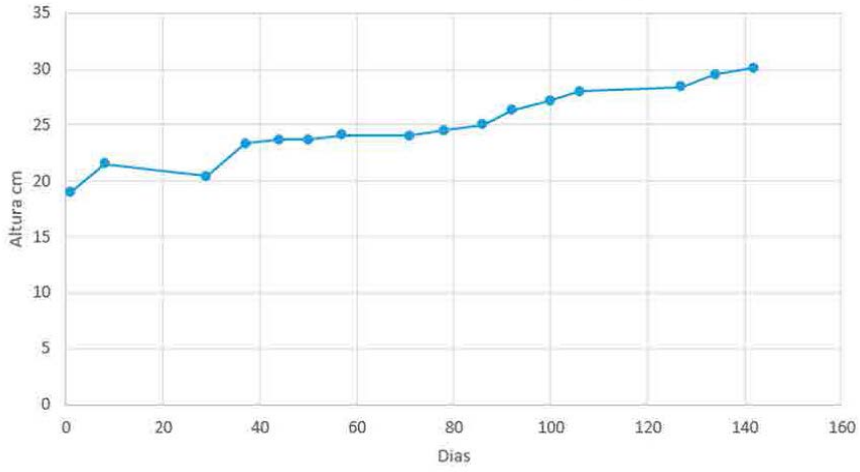
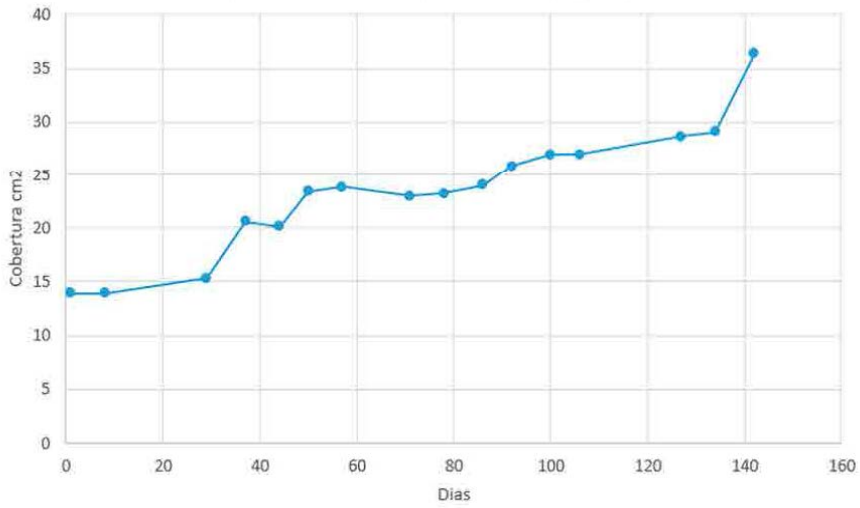


Figura 36. Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Brunellia colombiana* Cuatrec. (Susque) y *Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng. (Cucharó).

Myrsine dependens (Ruiz & Pav.) Spreng.



Myrsine dependens (Ruiz & Pav.) Spreng.



Continuación Figura 36.

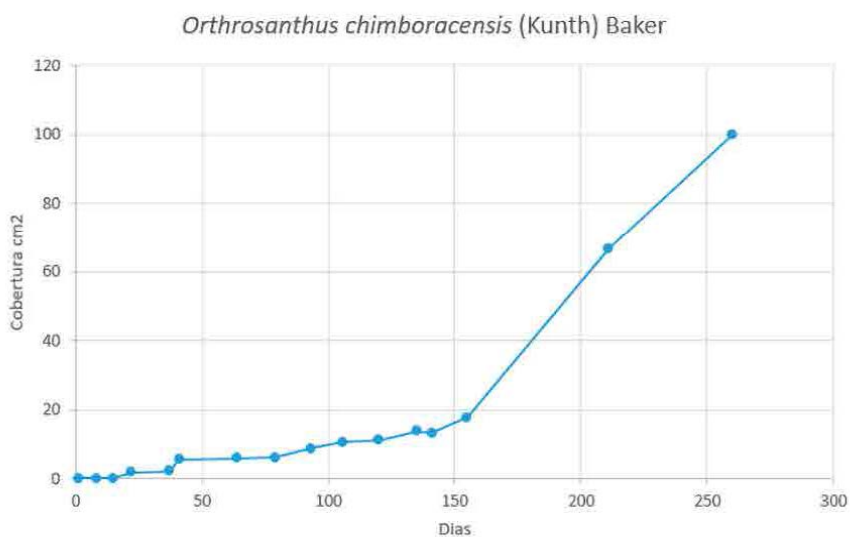
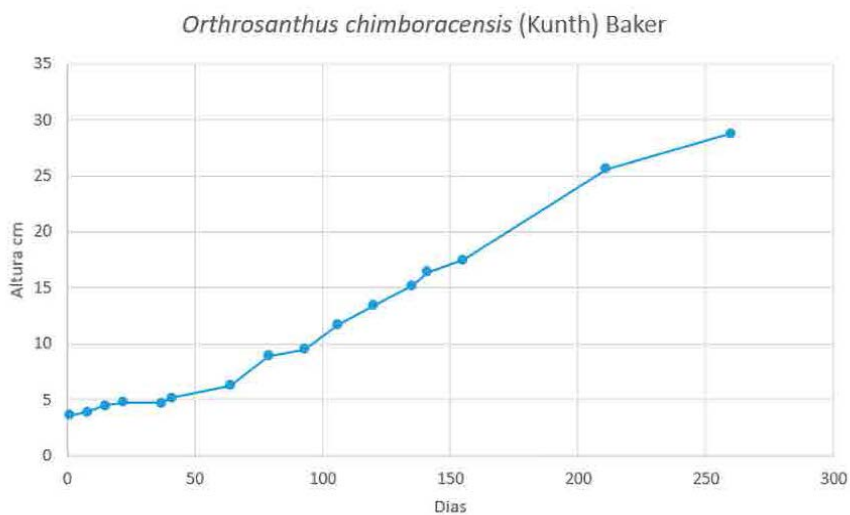
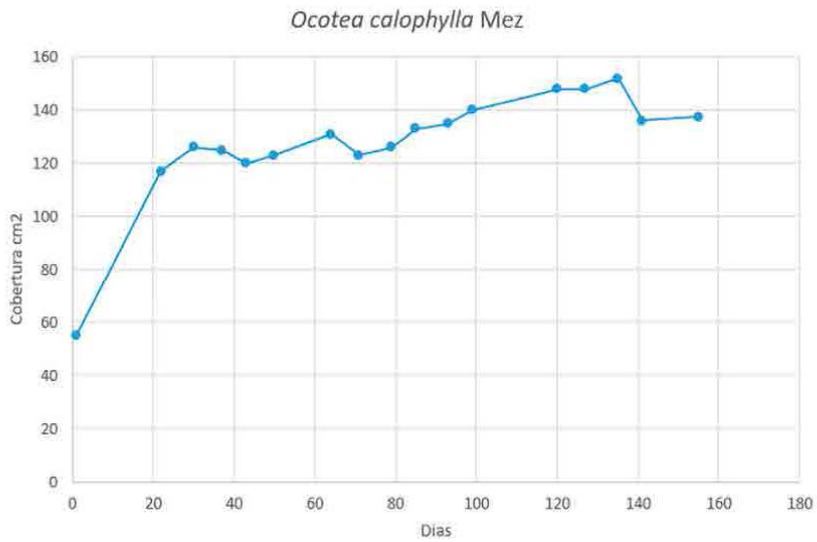
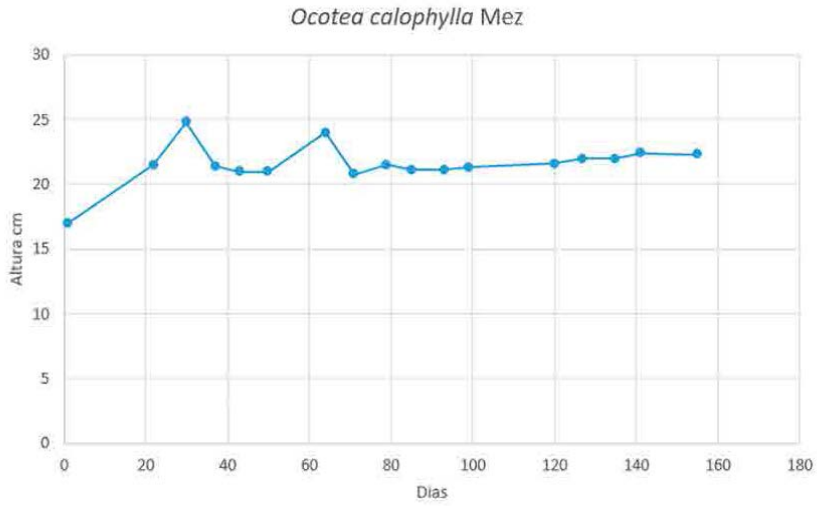


Figura 37. Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Orthrosanthus chimboracensis* (Kunth) Baker (Cajeto) y *Ocotea calophylla* Mez (Amarillo).



Continuación Figura 37.

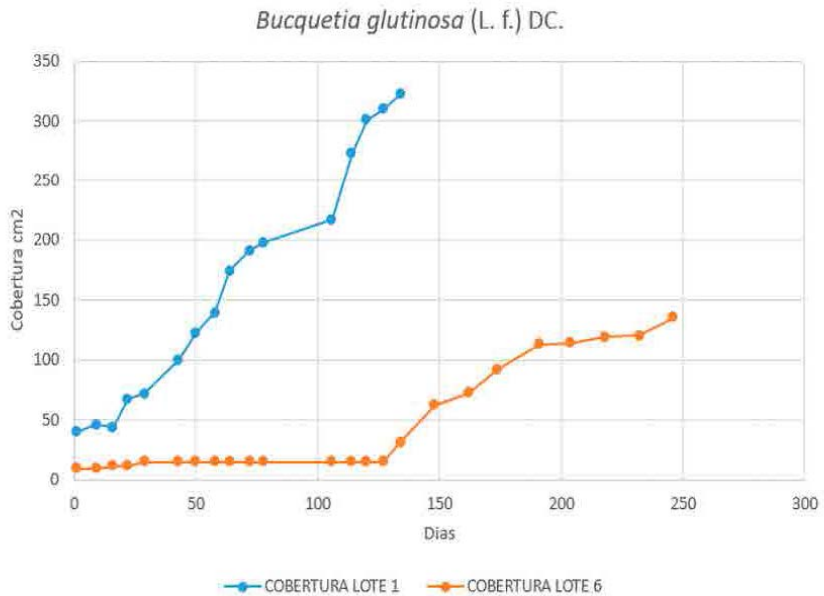
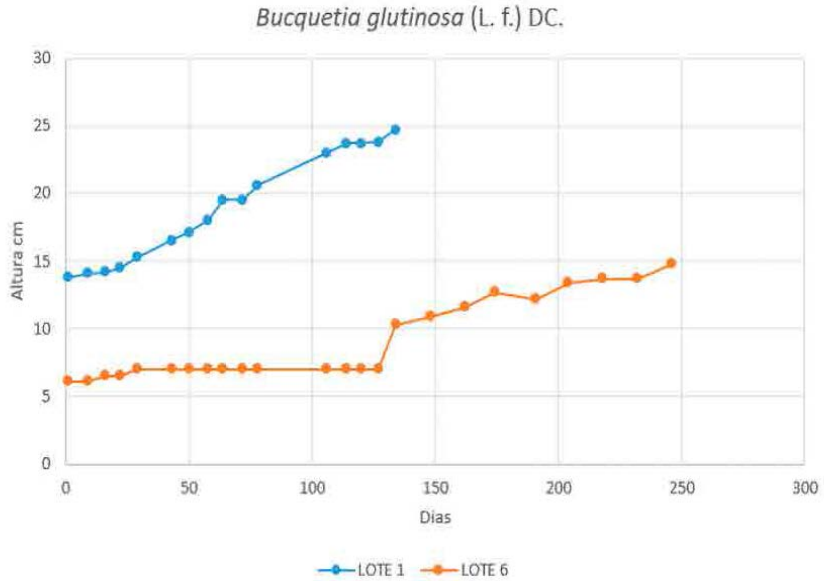
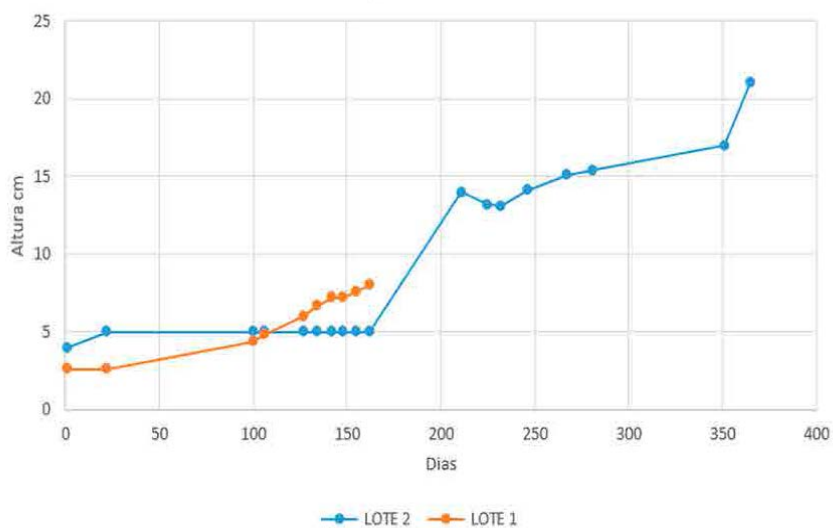
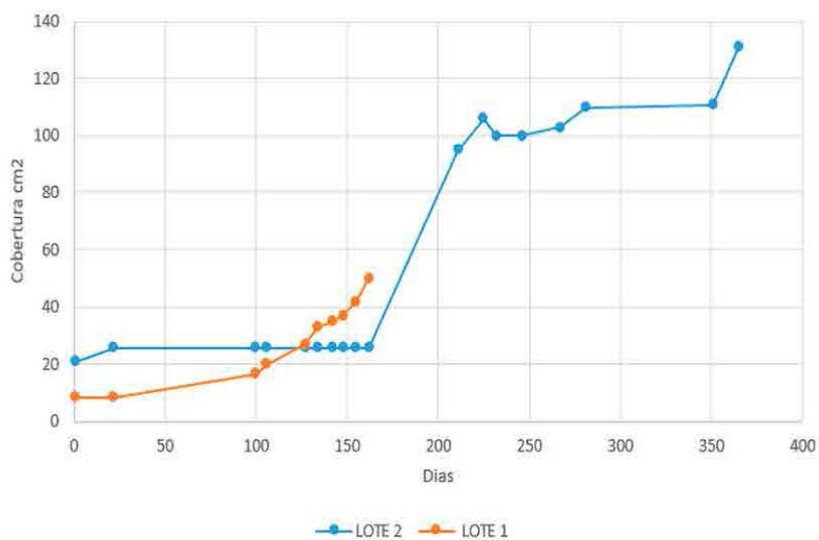


Figura 38. Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Bucquetia glutinosa* (L. f.) DC. (Charne) y *Clethra fimbriata* Kunth (Manzano).

Clethra fimbriata Kunth



Clethra fimbriata Kunth



Continuación Figura 38.

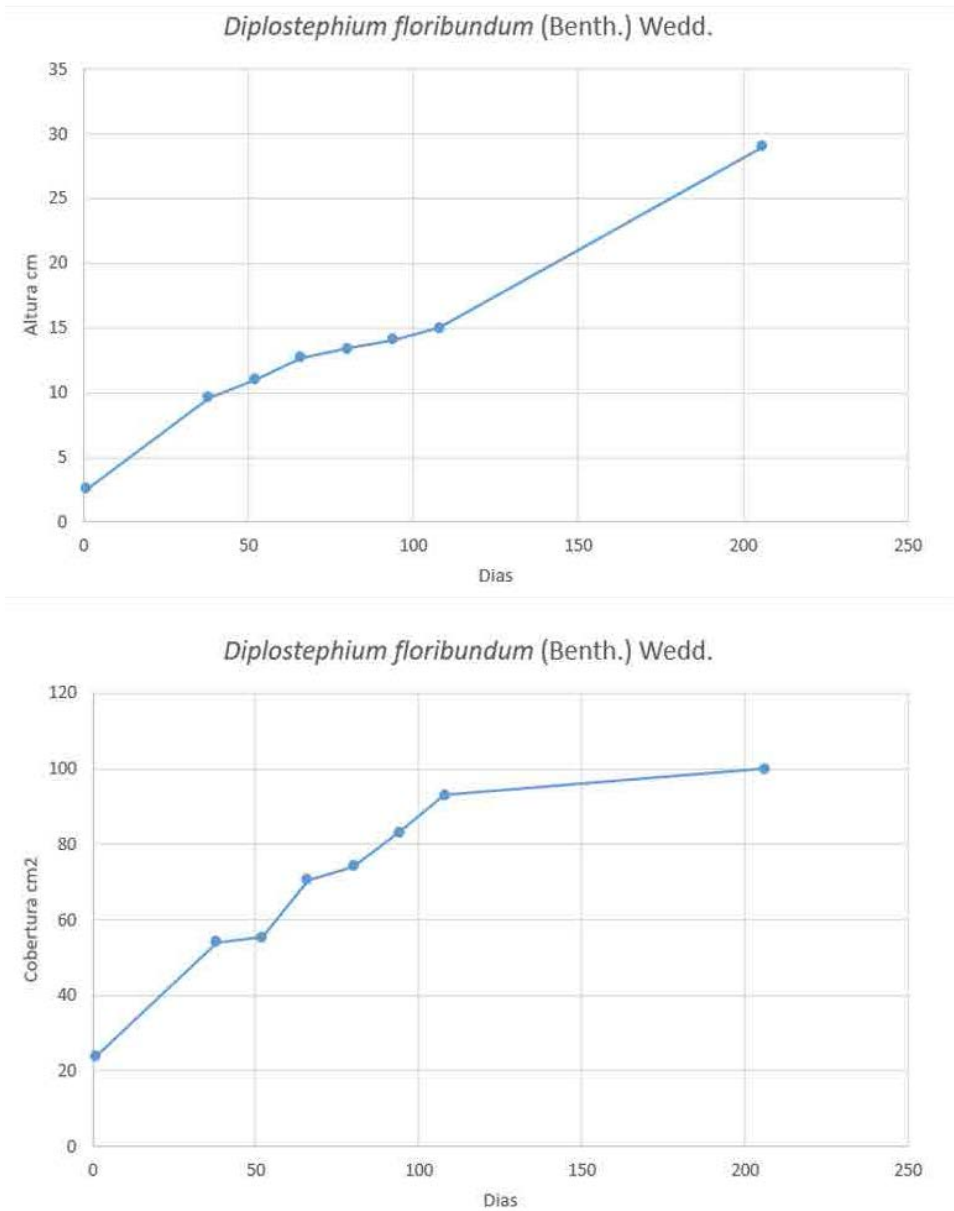


Figura 39. Crecimiento en altura y cobertura para la especie *Diplostephium floribundum* (Benth.) Wedd.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M. 1973. Ecological zonation and the butterflies of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Journal of Natural History*, 7(6): 699-718.
- Alvarado-Roberto, F. & Arias-Buriticá, J. 2015. Highest elevation recorded for a nesting dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) in the Americas. *The Coleopterists Bulletin*, 69(4): 789-792.
- Baca-Valle, A. 2011. Propuesta metodológica de restauración ecológica en los páramos del volcán Chiles, Nariño. Methodological proposal of ecological restoration in paramos of the volcano Chiles, Nariño. *Ambiente y Sostenibilidad*, 1: 66-71.
- Bennett, A.F. 1998. Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN Forest Conservation Programme, Conserving Forest Ecosystems Series # 1. Cambridge, UK.
- Brown-K., J.R. & Freitas, A.V.L. 2000. Atlantic forest butterflies: Indicator for landscape conservation. *Biotropica*, 32: 934-956.
- 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): 245-264.
- 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, C. & Jost, L. 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93: 2533-2547.
- Chen, M., Cui, W., Zhu, K., Xie, Y., Zhang, C. & Shen, W. 2014. Hydrogen-rich water alleviates aluminum-induced inhibition of root elongation in alfalfa via decreasing nitric oxide production. *Journal of Hazardous Materials*, 267: 40-47.
- CORPOCHIVOR. 2014. Actualización y socialización del plan de manejo ambiental para el Distrito Regional de Manejo Integrado páramo de Rabanal. Disponible en: http://webanterior.corpochivor.gov.co/sites/default/files/attach/Plan_Manejo_rabanal.pdf.
- Díaz, S., Lavorel, S., Chapin III, F.S., Tecco, P.A., Gurvich, D.E. & Grigulis, K. 2007. Functional diversity-at the crossroads between ecosystem functioning and environmental filters. En: *terrestrial ecosystems in a changing world*. Springer Berlin Heidelberg. p. 81-91.
- Drenovsky, R., Graham, V.O.D. & Scow, K. 2004. Soil water content and organic carbon availability are major determinants of soil microbial community composition. *Microb Ecol.*, 48: 424-430.
- Escobar, F. & Chacón, P. 2000. Distribución espacial y temporal en un gradiente de sucesión de la fauna de coleópteros (Scarabaeinae, Aphodiinae) en un bosque tropical montano, Nariño (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 48(4): 961-975.
- Estupiñán, L., Gómez, J., Barrantes, V. & Limas, L. 2009. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el Granizo (Cundinamarca - Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 12(2): 79-89.

- Figuerola del Castillo, L., Melgarejo, M., Fuentes de Piedrahíta, C., Lozano de Yunda, A. 2010. Mineralización de 14c-glifosato y seguimiento de la dinámica de las poblaciones de *Pseudomonas* sp. en tres suelos del departamento del Tolima (Colombia) sometidos a diferente uso. *Agronomía Colombiana*, 28(3): 413-420.
- Fonseca, C.R. & Ganade, G. 2001. Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 89(1): 118-125.
- Forman, R.T. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3): 133-142.
- Forman, R.T. & Godron, M. 1986. *Landscape ecology*. Jhon Wiley & Sons, New York. 619 p.
- 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.
- Kochian, L., Piñeros, M. & Hoekenga, O. 2005. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. *Plant and Soil*, 247: 175-195.
- Lauber, C., Hamady, M., Knight, R. & Fierer, N. 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Appl. Environ. Microbiol.*, 75(15): 5111-5120.
- Marín, M.A., Giraldo, C.E., Marín, A.L., Álvarez, C.F. & Pysz, T.W. 2015. Differences in butterfly (Nymphalidae) diversity between hillsides and hilltop forest patches in the northern Andes. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 50: 194-203.
- Martínez-Revelo & Lopera-Toro, 2014. Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de los páramos del departamento de Nariño (Colombia). *Biota Colombiana*, 15(1): 62-72.
- Medina, W., Macana-García, D.C. & Sánchez, F. 2015. Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el páramo de Rabanal (Boyacá-Colombia). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 6(2): 185-198.
- Medina, C., Lopera-Toro, A., Vitolo, A. & Gill, B. 2001. Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de Colombia. *Biota Colombiana*, 2(2): 131-144.
- Moreno-Mancilla, O. & Molano, F. 2016. Variación en las abundancias de *Homocopris achamas* (Harold, 1867) (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en el páramo de Rabanal, Boyacá-Colombia. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 7(2): 67-73.
- Moret, P. 2009. Altitudinal distribution, diversity and endemism of Scarabidae (Coleoptera) in the páramos of Ecuadorian Andes. En: *Annales de la Société entomologique de France*. Taylor & Francis Group. p. 500-510.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A. & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcua, S. & Favila, M.E. 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biol. Conserv.*, 141: 1461-1474.
- Pereira-Santos, J., Marini-Filho, O.J., Freitas, A.V.L. & Uehara-Prado, M. 2016. Monitoramento de borboletas: o papel de um indicador biológico na gestão de unidades de conservação. *Biodiversidade Brasileira*, 6(1): 87-99.

- PNNC, Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2013. Reformulación y actualización de planes de manejo de las áreas del sistema de parques nacionales naturales: Análisis de Situaciones de Manejo. Grupo Planeación y Manejo, Subdirección de Gestión y Manejo [PowerPoint slides].
- 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.
- Rousk, J., Baath, E., Brookes, P., Lauber, C., Lozupone, C., Caporaso, G., Knight, R., Fierer, N. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The Isme Journal*, 4: 1340-1351.
- Sømme, L. 1986. Tolerance to low temperatures and desiccation in insects from Andean paramos. *Arctic and Alpine Research*, 18(3): 253-259.
- Tobón, R.H.B. 1986. Insectos de los páramos: maravillas en la coevolución entre plantas y animales. *Boletín Cultural y Bibliográfico*, 23(08): 33-42.
- Van der Hammen, T., 1997. Páramos. En: Chaves, M.E. & Arango, N. (Eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, pp. 10-37.
- Velandia-Q., D. & Fajardo-G., A. 2004. Producción y adaptación en vivero de algunas especies representativas en las áreas rurales del distrito capital de la región del Sumapaz. *Colombia Forestal*, 8(17): 22-42.
- Vergara-Buitrago, P.A., Morales-Puentes, M.E., Useche, D.S. & Gil-Leguizamón, P.A. 2018. Encuentros para el reconocimiento y aprendizaje ambiental con la comunidad campesina del páramo de Rabanal (Boyacá, Colombia). *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2): 398-410.

