

CAPÍTULO 4 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ALTOANDINO EN LA VEREDA MONTOYA (VENTAQUEMA, BOYACÁ): AVANCES



Pablo Andrés Gil-Leguizamón¹, William Javier Bravo-Pedraza¹, David Ricardo Hernández-Velandia¹⁻², Oscar Felipe Moreno-Mancilla¹, Andrés Felipe Morales-Alba⁻², John Edison Reyes Camargo¹, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco¹, Javier Andrés Muñoz-Avila¹⁻², Paulina Vergara¹, Laura Ortiz, Dalia Soraya Useche¹⁻³

¹Grupo de Investigación Sistemática Biológica (SisBio), Herbario UPTC. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

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

³Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental, Biodiversidad y Agroecología (GISABA)

INTRODUCCIÓN

La restauración ecológica busca la recuperación de ecosistemas alterados por acción humana o por fenómenos naturales, a través de la restitución de las características estructurales, diversidad y función (Laurance et al., 2002; Etter et al., 2011; Suazo-Ortuño et al., 2015). Restaurar un ecosistema requiere la integración del sistema natural intervenido con los componentes del mismo, a partir de la vegetación, la fauna, el suelo y el componente social como arquitectos constantes. Implica del mismo modo, la formación de unidades físicas similares previas al disturbio, y restaurar las interacciones entre los componentes para generar una unidad ecológica funcional similar a la original.

El monitoreo de los componentes suelo, vegetación, fauna y sociedad, durante la trayectoria es útil para interpretar el avance de la restauración, con el fin de identificar cambios en la diversidad, así como en la percepción que la comunidad local tiene de su territorio (Block et al., 2001). Por lo anterior, este capítulo integra dichos componentes a los avances de la restauración en 80 ha del DRMI Páramo de Rabanal.

4.1 COMPONENTE SUELO

El suelo y su papel en la restauración ecológica: La biota del suelo tiene por funcionalidad los procesos de descomposición y ciclo de nutrientes. La aplicación de conocimientos en la ecología del suelo contribuye en prácticas agrícolas alternativas. El suelo cumple un papel integral, que incluye aspectos físicos y químicos en la revegetación exitosa de sitios degradados; no obstante, aún son escasos los conocimientos ecológicos del suelo, las interacciones entre los principales componentes del sistema, y los procesos ecosistémicos superficiales y subterráneos

orientados a los ejercicios de restauración ecológica (Wardle & Peltzer, 2007). En el presente acápite se incluyen características físicas, químicas y biológicas del suelo.

En la vereda Montoya, se tomaron muestras de suelo (septiembre de 2016 y enero de 2019), con el fin de realizar análisis microbiológicos y fisicoquímicos en las coberturas de bosque secundario (B1), pastizal (P), arbustal (A) y bosque de acacias (BA). También, se hizo muestreo en áreas contiguas para tener puntos de comparación (Tabla 1).

Tabla 1. Coberturas vegetales implementadas para la toma de muestras de suelo en el Páramo de Rabanal, Boyacá.

Cobertura Corine Land Cover (escala 1:100.000)	Estados alternativos estables (escala 1:1)	Nombre Cobertura	Tipo de Cobertura	Código Cobertura
Bosque abierto alto de tierra firme	Bosque secundario alto andino	Bosque Secundario 1	Referencia	B1
Pastizal	Pastizal	Pastizal	Referencia	P
Arbustal	Arbustales	Arbustales	Referencia	A
Plantación forestal	Bosque de acacias	Bosque de acacias	Referencia	BA
Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastizal	Pastizal	Siembra	Ps
Arbustal	Arbustales	Arbustales	Siembra	As
Plantación forestal	Bosque de acacias	Bosque de acacias	Siembra	BAs

Análisis de suelos

Parámetros fisicoquímicos. Son suelos con texturas orgánicas en la mayoría de las coberturas evaluadas; para el segundo periodo de muestreo, las coberturas de B1, P y A presentaron texturas franco arenosas con porcentaje de arenas alto a comparación de los limos y las arcillas, además, son ideales para la siembra de diferentes especies vegetales.

Los suelos de las diferentes coberturas del páramo presentaron condiciones altas de acidez dadas por la descomposición microbiana de residuos vegetales o desechos orgánicos (Zapata, 2004). Conjuntamente, estas condiciones de acidez limitan la disponibilidad de nutrientes básicos requeridos por las plantas (p. ej.: Ca, Mg y K) (Delgado & Gómez, 2016) (Fig 1).

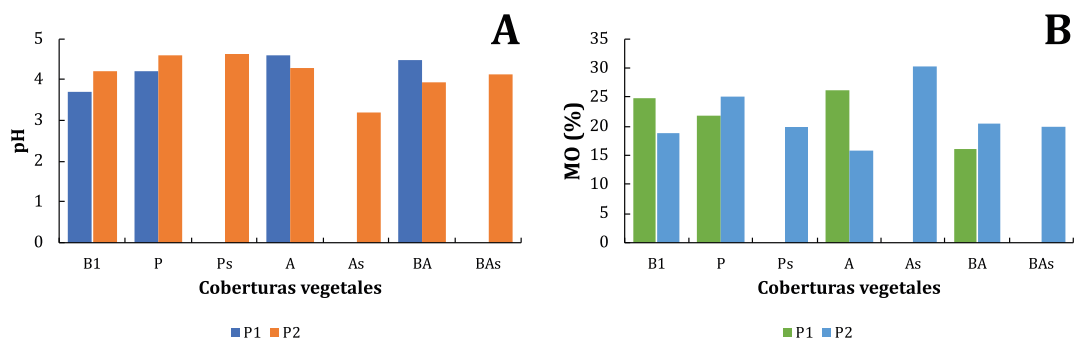


Figura 1. Valores de pH y materia orgánica registrados en dos periodos de tiempo en coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal, Boyacá. **A.** pH; **B.** materia orgánica (**B1.** Bosque secundario; **P.** Pastizal; **A.** Arbustal; **BA.** Bosque de acacias; **Ps.** Pastizal con siembra; **As.** Arbustal con siembra; **BAs.** Bosque de acacias con siembra).

Las condiciones altas de acidez en los suelos de las diferentes coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal (Fig. 1), pueden estar influyendo en el crecimiento y establecimiento de las plantas, debido a los valores bajos de pH, que generan alta saturación de aluminio (80,2 %), actuando como un factor limitante para el crecimiento de las plantas, la solubilidad del fósforo y la concentración de macronutrientes (Rout et al., 2001). Las altas concentraciones de aluminio en oportunidades causan cambios en el metabolismo de las plantas, afectando el crecimiento radical, y por ende, la disminución de la capacidad de las raíces para la toma de agua y nutrientes (Barceló & Poschenrieder, 2002).

Según Hofstede et al. (2003), los suelos con textura orgánica, como los reportados en las diferentes coberturas del Páramo de Rabanal, presentan una coloración oscura con altos contenidos de materia orgánica, sin embargo, factores como la acidez y el alto contenido de Al, hacen que la MO no se pueda descomponer fácilmente, y por ende, se obstaculice el traspaso de nutrientes básicos necesarios para el crecimiento vegetal. Cheng & An (2015), mencionan que los valores altos de MO pueden influir sobre el aumento de la disponibilidad de nutrientes, en donde se mejoran las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos.

Por otro lado, en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), se evidencia en la cobertura

de A valores más altos (22,61 $\text{cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$), seguido de la cobertura de B1 (18,7 $\text{cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$), mientras que en Ps y P se comprueban valores más bajos. Este parámetro junto con la MO son indicadores de fertilidad en los suelos, ello indica que según CIC, estos presentan mayor fertilidad y las plantas pueden acceder a los nutrientes disponibles en el suelo (Drenovsky et al., 2004).

Los macronutrientes analizados (P, Ca, Mg y K), muestran para el segundo periodo un aumento en sus valores para la cobertura P, y una disminución en A; ello indica, una correlación con los valores de pH con una alta acidez y MO alta solo para A. En Ps la concentración de P y Ca fue mayor, mientras en As, Mg y K fue mayor (Fig. 2). Estas variaciones en el contenido de macronutrientes de las diferentes coberturas, pueden estar siendo afectados por el pH ácido (Martinsen et al., 2015).

Según Wen et al. (2005), los contenidos de P disponible en el suelo pueden aumentar en el transcurso del tiempo cuando se han realizado procesos de revegetación, lo que propicia mejores condiciones para el crecimiento y establecimiento de nuevas plantas; no obstante, la disminución del P ocasiona cambios de coloración, retraso en el crecimiento y daños en las hojas de las plantas (Ortega, 1997).

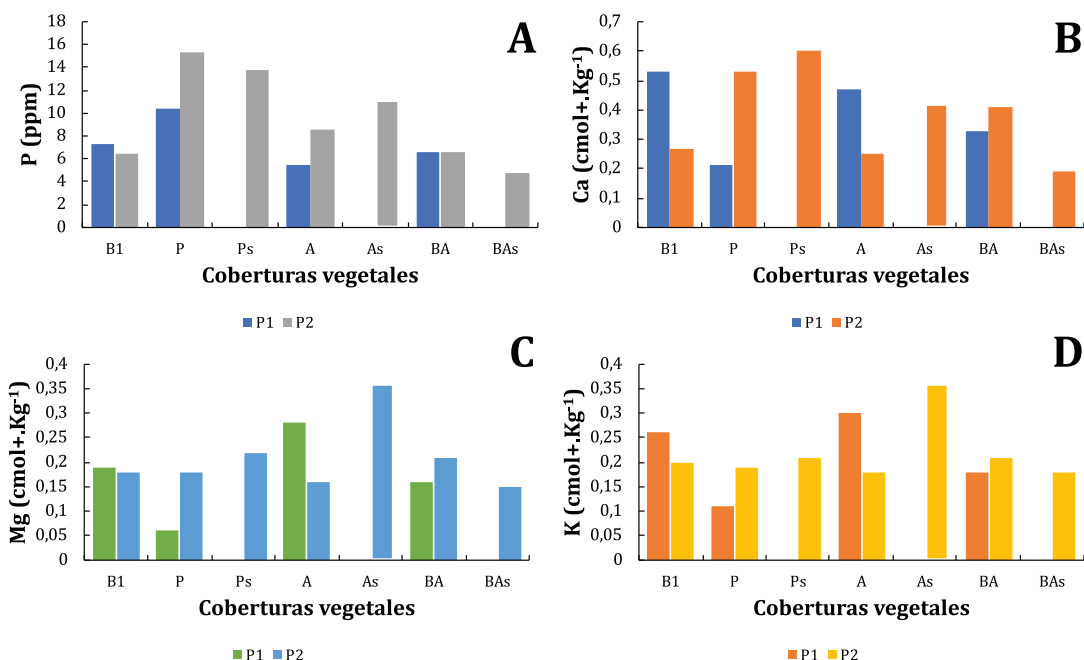


Figura 2. Características químicas de los macronutrientes del suelo obtenidos en dos periodos de tiempo en coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal, Boyacá. **A.** Concentración de fósforo (p); **B.** Concentración de Calcio (Ca); **C.** Concentración de Magnesio (Mg); **D.** Concentración de Potasio (K). (**B1.** Bosque secundario; **P.** Pastizal; **A.** Arbustal; **BA.** Bosque de acacias; **Ps.** Pastizal con siembra; **As.** Arbustal con siembra; **BAs.** Bosque de acacias con siembra).

Los micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn), no cambian significativamente durante el periodo del proyecto en las coberturas sin siembra. En el caso del Fe, aumentó en las coberturas de B1 (92,1 ppm), A (84,6 ppm) y BA (118 ppm), y disminuyó P (34,1 ppm). Mientras que, en las coberturas con siembra, aumentaron los micronutrientes Fe, Mn y Zn en As, caso contrario a lo que sucede con el Cu, que disminuyó (Fig. 3).

Según Delgado & Gómez (2016), el Fe y Mn, son nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; sin embargo, en altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos. Además, factores como el pH, el contenido de MO, la textura y la aireación del suelo, también pueden afectar la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas, los cuales cumplen con importantes funciones biológicas clave como el transporte de oxígeno, fijación de N y están involucrados en los procesos de respiración y fotosíntesis (Greenshields et al., 2007).

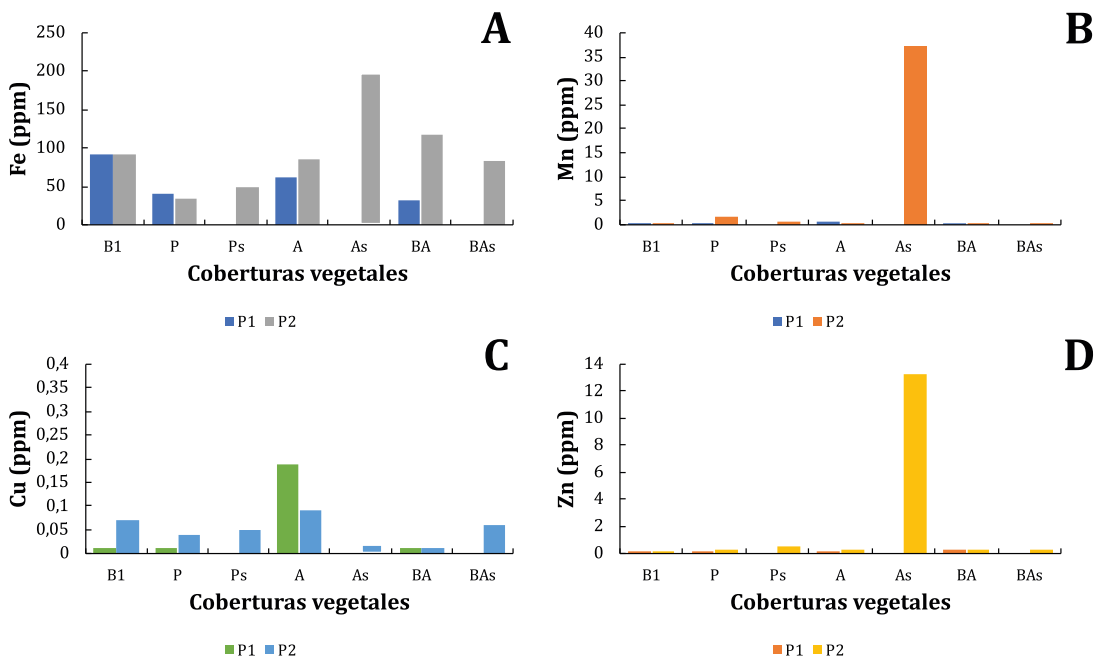


Figura 3. Características químicas de los micronutrientes obtenidos en dos periodos de tiempo en coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal, Boyacá (**B1.** Bosque secundario; **P.** Pastizal; **A.** Arbustal; **BA.** Bosque de acacias; **Ps.** Pastizal con siembra; **As.** Arbustal con siembra; **BAs.** Bosque de acacias con siembra).

Parámetros microbiológicos. Las bacterias presentaron mayor concentración en el primer periodo (7,23 Log UFC g⁻¹), respecto al segundo (6,39 Log UFC g⁻¹). Con relación a los hongos filamentosos, se obtuvieron concentraciones de 3,25 Log UFC g⁻¹

encontrando el mayor número de UFC en el primer muestreo. En general, tanto el pastizal como el arbustal con siembra, presentaron los valores más altos de microorganismos (Fig. 4).

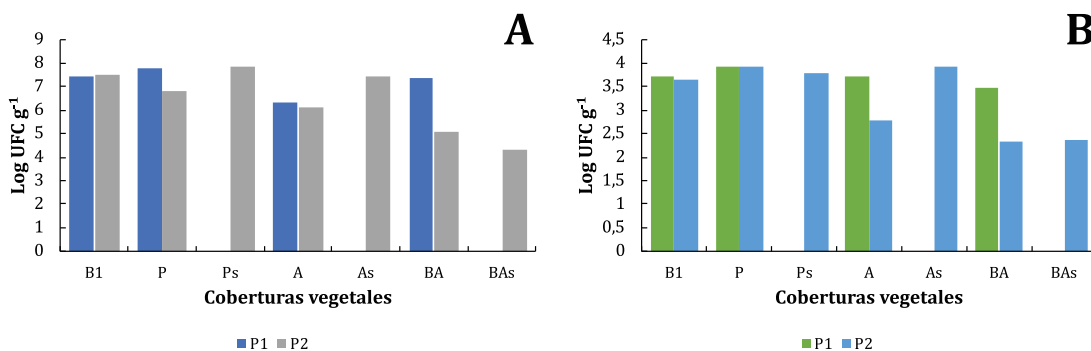


Figura 4. Concentraciones de microorganismos presentes en coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal, Boyacá. **A.** Bacterias; **B.** Hongos filamentosos (**B1.** Bosque secundario; **P.** Pastizal; **A.** Arbustal; **BA.** Bosque de acacias; **Ps.** Pastizal con siembra; **As.** Arbustal con siembra; **BAs.** Bosque de acacias con siembra).

Se aislaron un total de ocho géneros bacterianos (*Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Acinetobacter* y *Micrococcus*) y 10 fúngicos (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Cephalosporium*, *Verticillium*, *Paecilomyces* y *Sclerotinia*), siendo la cobertura de pastizal la que presentó el mayor número de aislados bacterianos y fúngicos, seguida de la cobertura de bosque secundario, y la cobertura con el menor número de géneros aislados fue el bosque de acacias. En cuanto a las coberturas con siembra, el pastizal con siembra y el Arbustal con siembra muestran mayor número de aislados microbianos que la cobertura de BAs (Fig. 5).

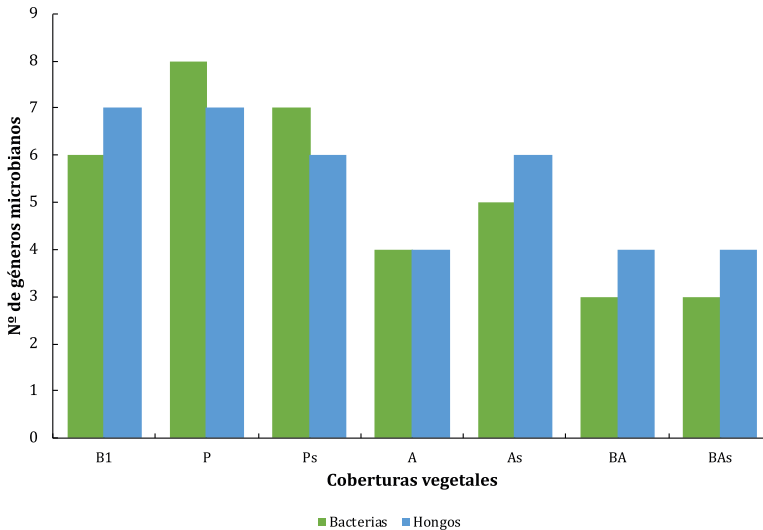


Figura 5. Número de géneros microbianos aislados en el suelo de las coberturas vegetales muestreadas en el Páramo de Rabanal, Boyacá (**B1.** Bosque secundario; **P.** Pastizal; **A.** Arbustal; **BA.** Bosque de acacias; **Ps.** Pastizal con siembra; **As.** Arbustal con siembra; **BAs.** Bosque de acacias con siembra).

Aunque se presentó gran abundancia de microorganismos aislados del suelo en las diferentes coberturas, no se muestra un recambio de especies. Los géneros bacterianos hallados en todas las coberturas fueron *Bacillus* y *Pseudomonas*, debido a su alta flexibilidad metabólica y fisiológica, que les permite adaptarse fácilmente a diferentes ecosistemas, como también a los disturbios del suelo (Fig. 6) (Allison & Martiny, 2008).

El género *Burkholderia*, como lo indica Onofre-Lemus et al. (2009), ha sido reconocido como patógeno para el hombre; no obstante, algunas especies asociadas al suelo cumplen interacciones con las plantas propiciando procesos de fijación de nitrógeno y crecimiento.

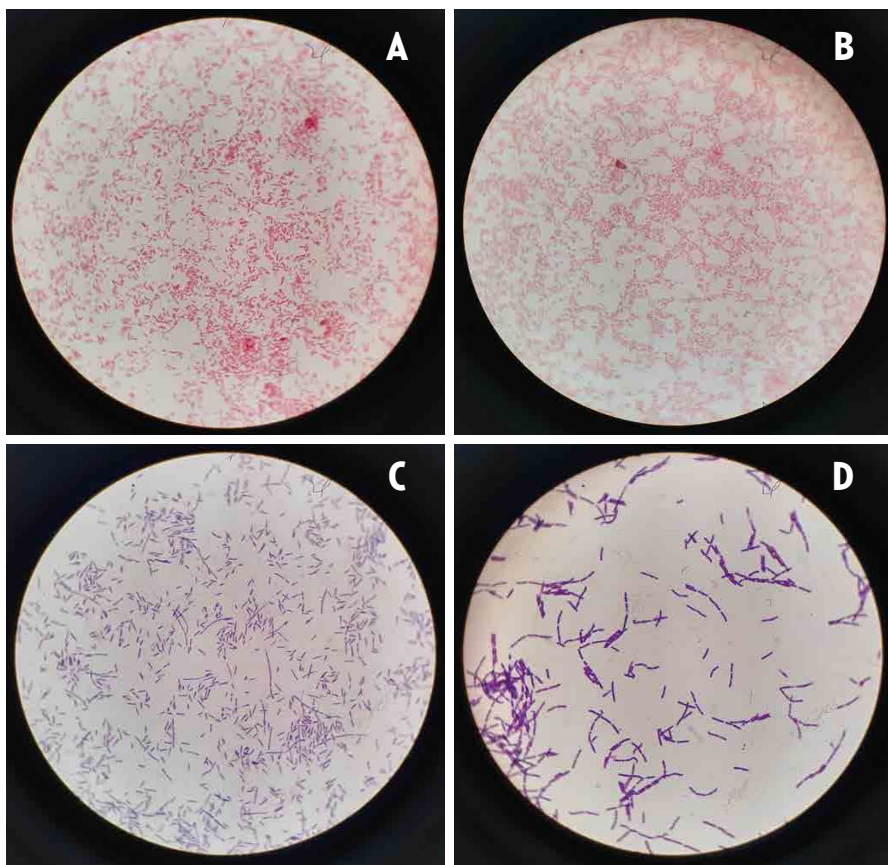


Figura 6. Principales géneros bacterianos aislados en las muestras de suelo en el Páramo de Rabanal. **A.** *Pseudomonas*; **B.** *Burkholderia*; **C y D.** *Bacillus*.

Así, los hongos filamentosos aislados, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Mucor* son los más comunes en toda el área de estudio y reportados usualmente en los suelos generados de micotóxicas, cuya función promueve el proceso de descomposición de MO (Domsch et al., 1980). No obstante, las características fisicoquímicas de estos suelos, junto a la humedad y composición vegetal, generan cambios en las comunidades de hongos y bacterias (Drenovsky et al., 2010; Lupatini et al., 2013; Wang et al., 2016).

En todo proceso de restauración ecológica se deben buscar estrategias que ayuden a incrementar los procesos de fijación de carbono por medio de la acumulación de hojarasca y el ciclaje de nutrientes a nivel de las raíces de las plantas (Cheng & An, 2015), tanto en términos de abundancia, como diversidad de microorganismos, ya que estos serían superiores cuando se empiezan a recuperar las estructura y las propiedades del suelo. Debido al poco tiempo del proyecto aun no se puede evidenciar con claridad si este proceso ha generado cambios en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, por lo tanto, se requiere de un periodo más largo.

4.2 COMPONENTE VEGETACIÓN

La vegetación y su papel en la restauración ecológica: todo proceso de restauración ecológica comprende, la organización de la vegetación identificando las rutas o trayectorias ecológicas, con el fin de devolver en el tiempo la estructura, composición y función del sistema que ha pasado por un disturbio. En este aparte se describen los resultados de las estrategias de restauración desarrolladas en Rabanal.

Abordaje del componente vegetación: Los ecosistemas en la escala de la mayoría de los proyectos de restauración toman décadas o siglos para llegar a su punto de autorregulación, por lo tanto, este proceso implica tiempo y espacio. Thom & Wellman (1996), aducen que, el tiempo para su desarrollo depende de las condiciones iniciales. En el proceso de restauración realizado en las 80 ha, el monitoreo se ejecutó durante el periodo de mayo 2017 a febrero 2019. A continuación, se presentan los resultados por indicadores (Prado-Castillo, 2005) como soporte al proceso de monitoreo a la restauración ecológica, que incluye información de niveles de organización de la biodiversidad (comunidad y ecosistema) y la inclusión de componentes (composición, estructura y función) y periodicidad.

- **Supervivencia de las plantaciones (componente vegetación)**

Escala	Atributo	Temporalidad
Población	Composición	Semestral

Los resultados corresponden al monitoreo de núcleos plantados en dos fases y responden a la totalidad de los indicadores, a través de recorridos mensuales en todos los núcleos plantados con datos de: supervivencia, estado fitosanitario y fenología. Adicionalmente, se tomó información trimestral, a partir de los diseños de plantación (9 núcleos en pastizal, 3 en pajonal-frailejónal, 3 en plantación forestal de acacias y 3 en arbustal) se registraron datos de altura total, cobertura y circunferencia de tallo (Fig. 7).



Figura 7. Registro fotográfico de monitoreos a la plantación. **A-B.** Registro de datos fisonómicos a la plantación; **C.** Muerte de plántula por necrosis; **D-F.** Rebrotos foliares de plántulas con necrosis.

Supervivencia total de la plantación en el tiempo. En total se sembraron 9579 plantas en las 80 ha de restauración ecológica, con una supervivencia > 85%; sin embargo, entre diciembre de 2017 y mayo de 2018, debido al fenómeno de heladas afectó la tasa de supervivencia, que obligó a resiembra, de tal manera que para febrero de 2019 el cumplimiento del indicador superó el 90% (Figs. 8 y 9).

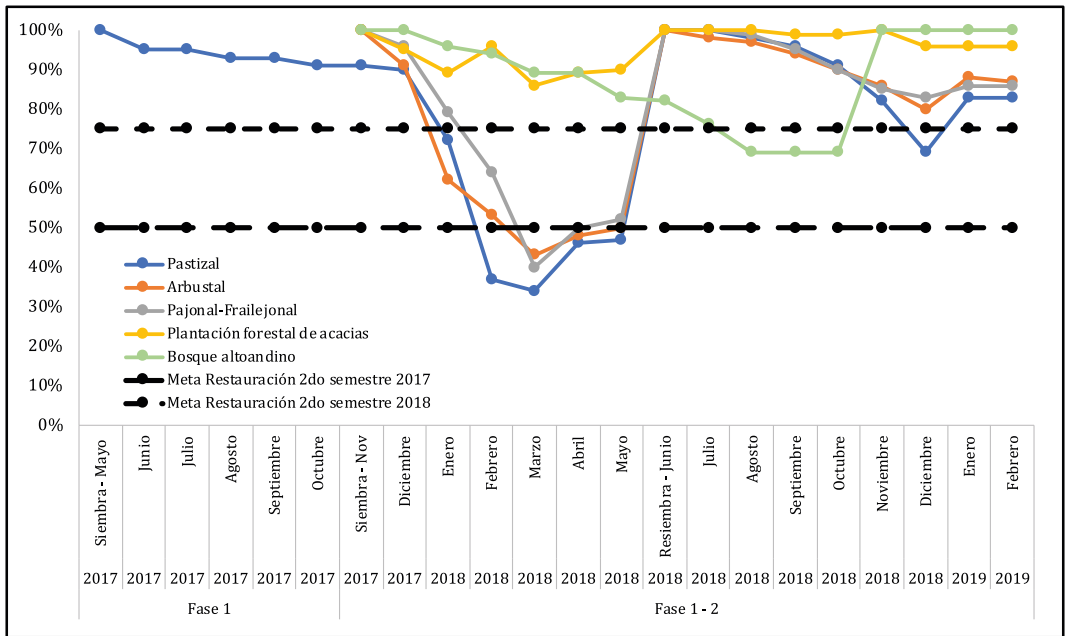


Figura 8. Supervivencia por cobertura en las 80 ha y su relación con las metas de restauración.

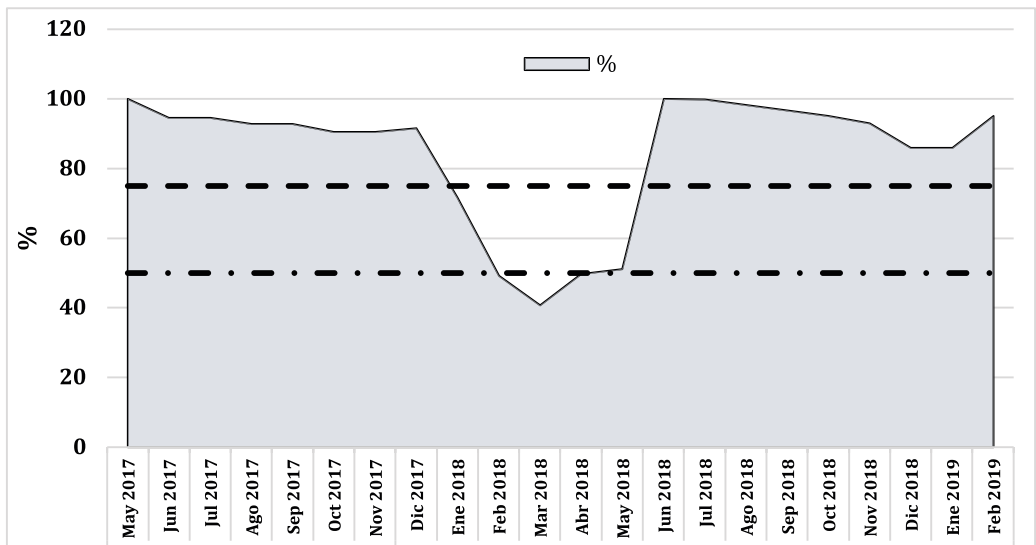


Figura 9. Supervivencia total para la plantación en 80 ha – DRMI Rabanal relacionada con las metas propuestas.

Supervivencia por especie. Los registros de supervivencia por especie para cada cobertura determinan:

- En el pastizal, especies como *Ageratina ampla*, mostraron una supervivencia estimada entre 92-99%, también, *Vallea stipularis* e *Hypericum* sp. con 81-100% cada una, *Myrcianthes rhopaloides* con 93-100%, caso opuesto ocurre con *Clusia multiflora* y *Diplostegium floribundum* con alta mortalidad, entre 70-95%, causado probablemente porque son especies de interior de bosque o asociadas a arbustales en avanzado desarrollo; no obstante, estas especies son componente fundamental en los grupos funcionales, hacen parte de estos bosques, sus estrategias de dispersión son mediadas por animales y viento respectivamente (Fig. 10-A).
- En pajonal-frailejónal, *Hesperomeles goudotiana*, *Ageratina ampla* y *Weinmannia fagaroides*, tuvieron alta supervivencia, entre 80-100%; mientras que, *Viburnum* sp. y *Cestrum buxifolium* registraron alta mortalidad (35-50%), es importante mencionar que dichas especies aparentemente muertas presentaron rebrotes foliares (Figs. 7 y 10-B).
- En plantación forestal de acacias, *Ageratina ampla*, *Vallea stipularis* y *Bucquetia glutinosa*, presentaron alta supervivencia, entre 80-100% (Fig. 10-C), así como, *Brunellia colombiana* con 93-100% (Fig. 10-D). Las restantes especies tuvieron alta mortalidad (hasta 80%).

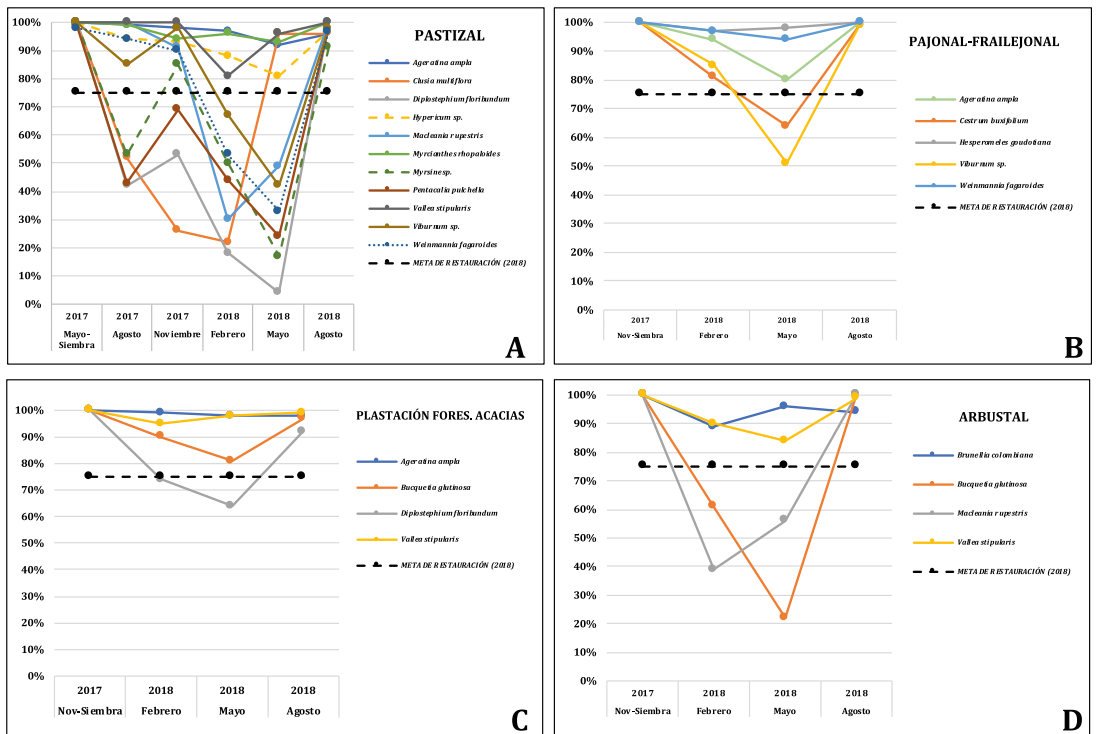


Figura 10. Supervivencia por especie (datos registrados de una muestra de núcleos sembrados). **A.** Pastizal; **B.** Pajonal-Frailejonal; **C.** Plantación forestal de acacias; **D.** Arbustal.

Estado fitosanitario por cobertura. Se evaluaron las plantas, según Rojas (2002), siguiendo el modelo de núcleo que está conformado por módulos y en cada módulo se registró el porcentaje de individuos por estado fitosanitario. Durante el periodo del trabajo, el 16% de todas las plantas presentaron algún problema fitosanitario visibles, como, por ejemplo, amarillamiento, herbivoría y necrosis; no obstante, estas afectaciones solo fueron temporales y admitieron el renuevo foliar y recuperar la vitalidad; sin embargo, debido a las heladas sí se modificaron los tiempos de floración y fructificación (Figs. 11 y 12).



Figura 11. Registros de floración en especies sembradas. **A.** *Ageratina* sp.; **B.** *Viburnum* sp.; **C.** *Hypericum* sp.; **D.** *Pentacalia pulchella*; **E-F.** *Monochaetum myrtoideum*.

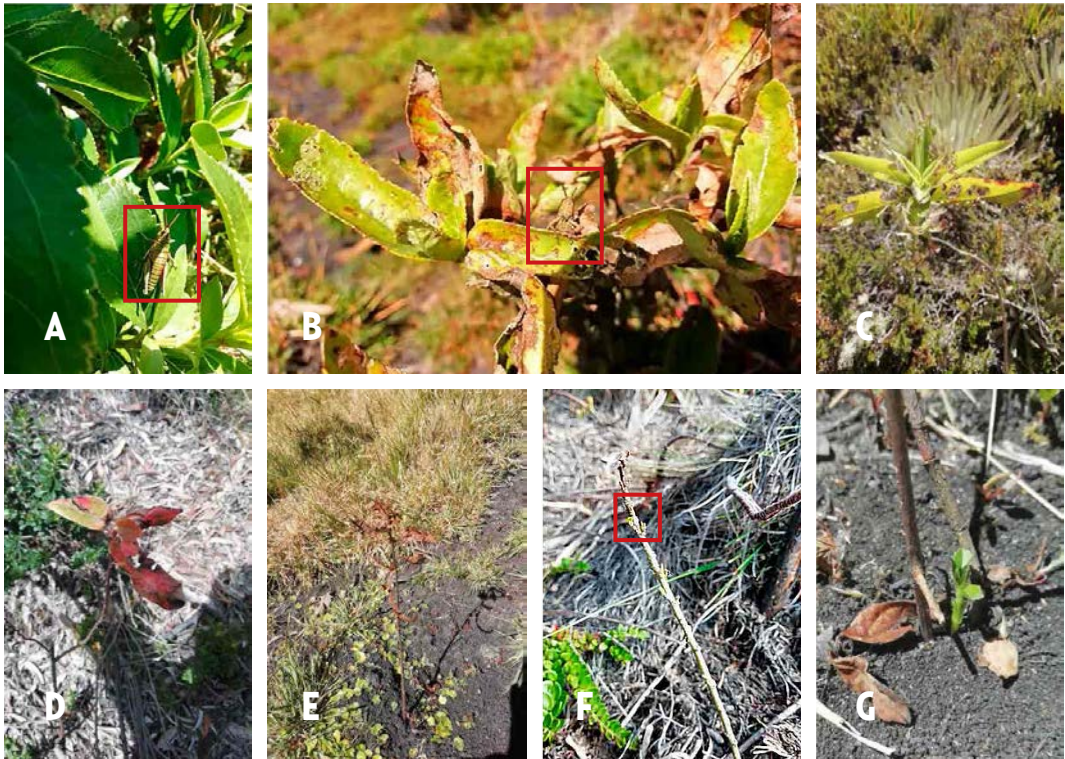


Figura 12. Registros fitosanitarios. **A-C.** Herbivoría en *Ageratina ampla*; **D.** Amarillamiento en *Vallea stipularis*; **E.** Necrosis en *Weinmannia fagaroides*; **F-G.** Rebrotos foliares en *Viburnum* sp.

Distribución de edades en grupos

Escala	Atributo	Temporalidad
Comunidad	Estructura	Semestral

De acuerdo con Krebs (1978), la estructura de edad o distribución de edades de la población, hace referencia a la proporción de individuos que pertenecen a varios grupos de edad. La distribución de edad de una población, afecta su crecimiento y dinámica, y por tanto, permite evidenciar el desarrollo de nuevas poblaciones en las áreas en restauración.

Distribución de edades por coberturas: se identificaron dos fases de vida, medidas en altura (cm), donde se destacan: plántula > 80%, respecto a juvenil 1 entre 10-20% (Fig. 13); en plantación forestal de acacias, pastizal y pajonal frailejón las plántulas superaron el 80%, mientras que arbustal fue mas del 90% (Fig. 13).

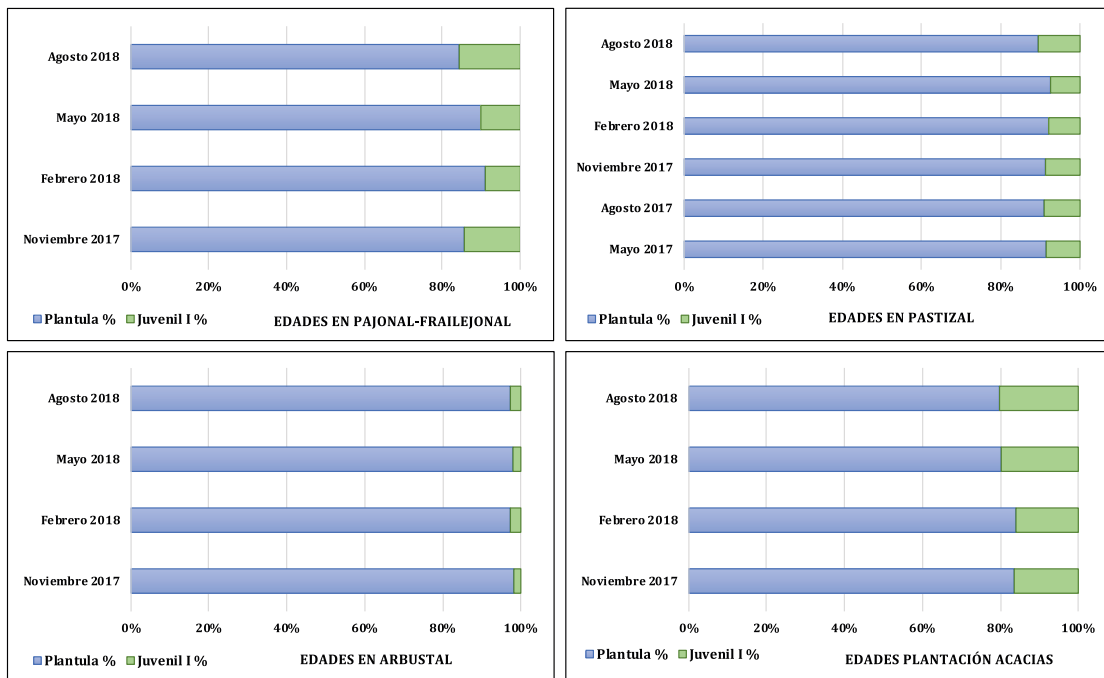


Figura 13. Distribución de edades por alturas para cada cobertura.

Distribución de edades por especie – Pastizal

Aquellas especies con mejor respuesta de establecimiento en la plantación fueron *Ageratina ampla*, *Hypericum sp.*, *Myrcianthes rhopaloides* y *Vallea stipularis*, además soportaron las heladas, se registro que *A. ampla* e *Hypericum sp.*, lograron flores y frutos en alturas hasta de 130 cm (Fig. 14). Por el contrario, especies como *Clusia multiflora*, *Diplostephium floribundum*, *Macleania rupestris*, *Pentacalia pulchella* y *Myrsine sp.*, se mantuvieron en plántulas en buena condición (Fig. 14).

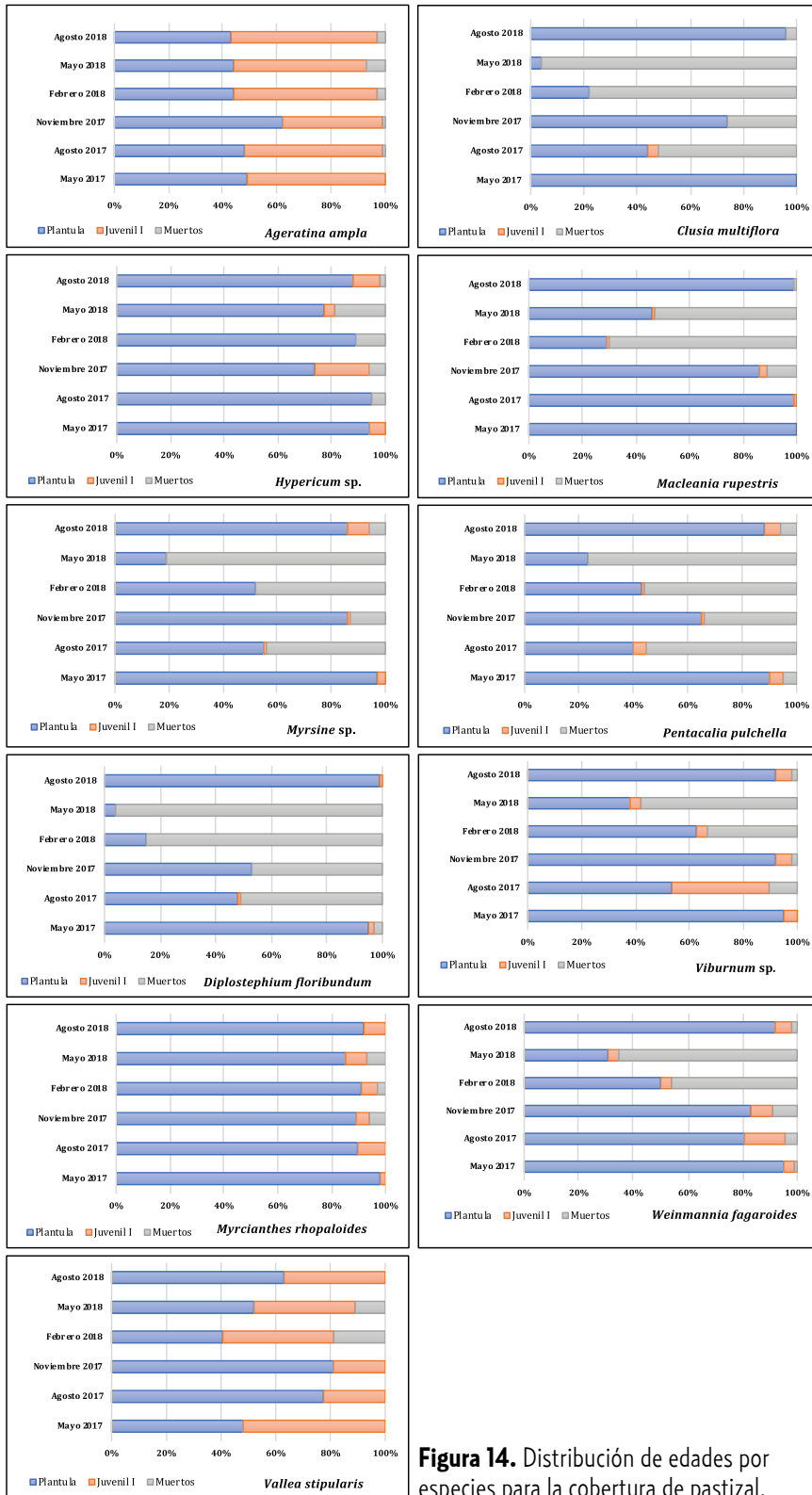


Figura 14. Distribución de edades por especies para la cobertura de pastizal.

Distribución de edades por especie – Pajonal Frailejonal

Las especies *Ageratina ampla*, *Hesperomeles goudotiana* y *Weinmannia fagaroides* presentaron los mejores establecimientos y robustez, y esta última con el 100% de supervivencia en fase plántula, mientras que *Cestrum buxifolium* y *Viburnum* sp. presentaron alta mortalidad en la edad de plántula (Fig. 15).

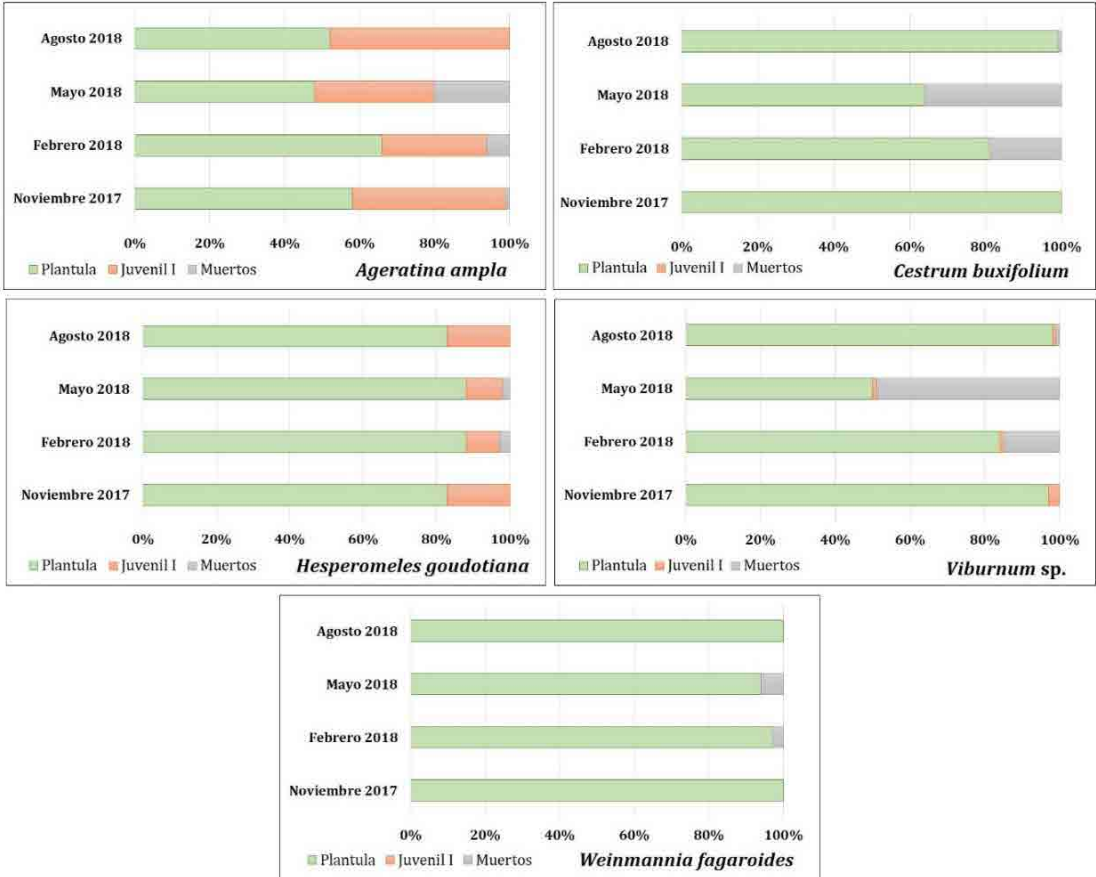


Figura 15. Distribución de edades por especies para la cobertura de pajonal-frailejonal.

Distribución de edades por especie – Arbustal

Vallea stipularis presentó mejor establecimiento en la plantación con más del 80% en plántula, mientras que *Brunellia colombiana*, *Bucquetia glutinosa* y *Macleania rupestris* se vieron afectadas por las heladas en plántulas (Fig. 16).

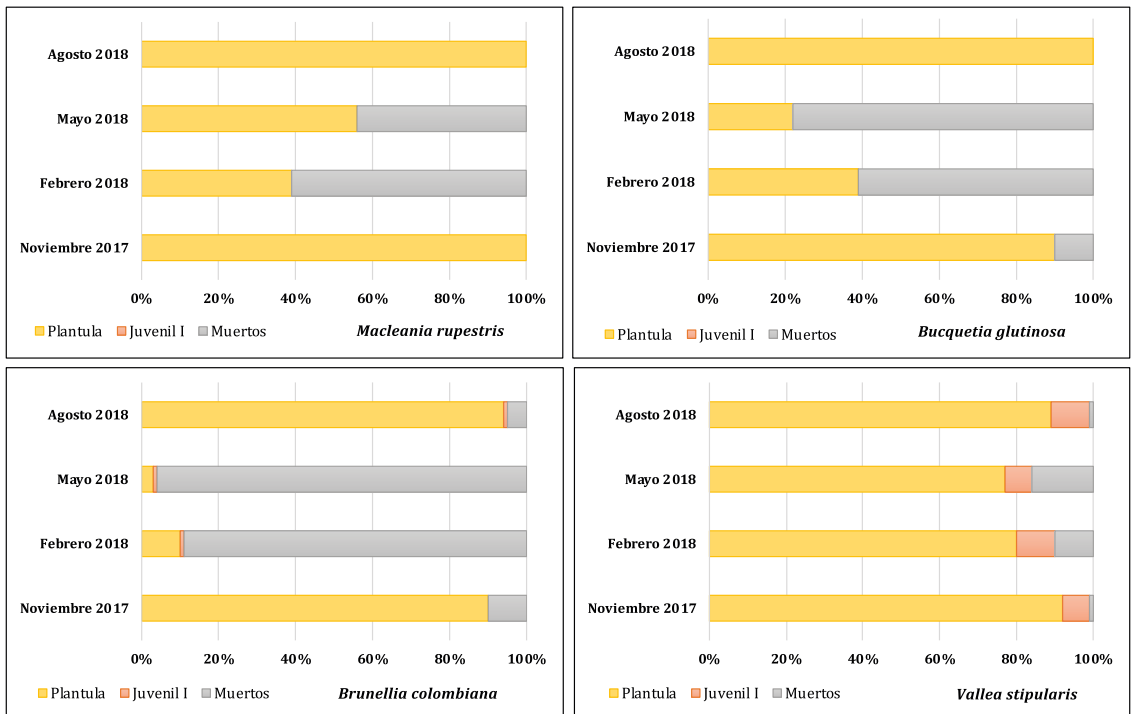


Figura 16. Distribución de edades por especies para la cobertura de arbustal.

Distribución de edades por especie – Plantación forestal de acacias

Ageratina ampla, *Vallea stipularis* y *Bucquetia glutinosa* tuvieron mejor establecimiento y robustez en la plantación tanto en plántula como juvenil I; sin embargo, *Displotephium floribundum* tuvo mortalidad menor del 10% (Fig. 17).

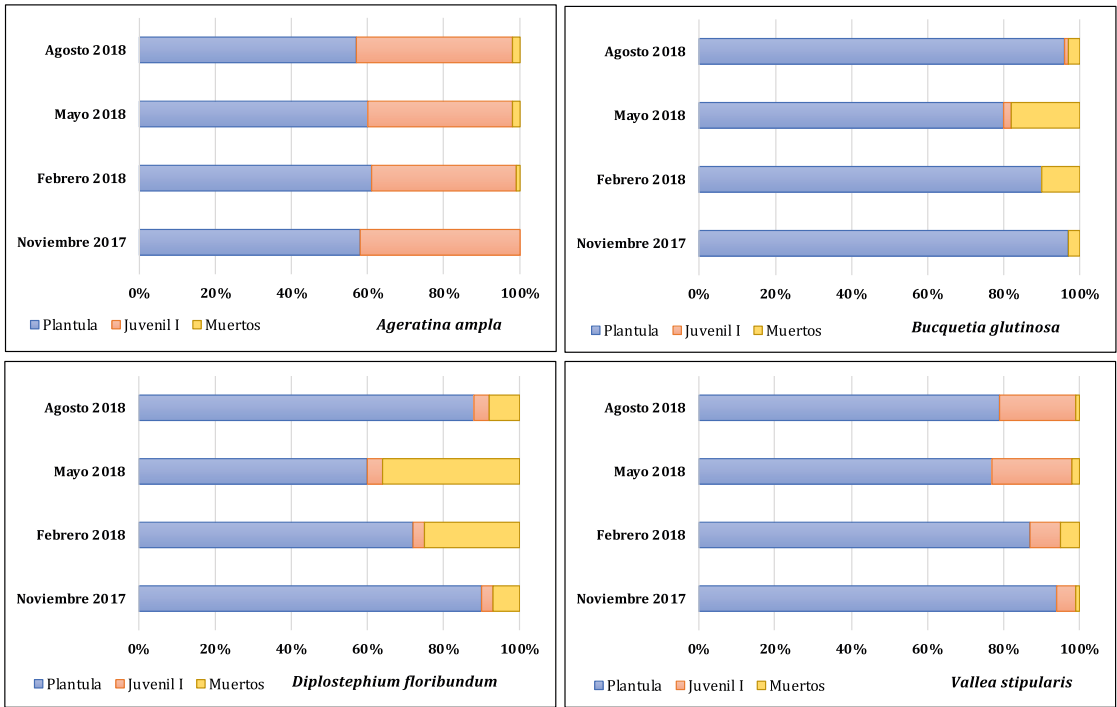


Figura 17. Distribución de edades por especies para la cobertura plantación forestal de acacias.

Cobertura de vegetación nativa

Escala	Atributo	Temporalidad
Comunidad	Estructura	Trimestral

Debido a las condiciones extremas del páramo (heladas, bajas temperaturas, alta radiación solar y fuertes vientos), los procesos de desarrollo y establecimiento de la plantación con flora nativa son lentos, no se evidencian cambios a corto plazo a escala de paisaje en las coberturas vegetales.

Para el año 2015, la cobertura de pastizal se encontraba 100% dominada por macollas de *Holcus lanatus* (rabo de burro) y *Leontodon* sp. (falso diente de león), que en conjunto conformaban un tapete que no consentía la colonización de flora nativa; para el año 2017, en el pastizal aun domina *H. lanatus*, a pesar de esto, es posible identificar el crecimiento de especies no registradas en la caracterización de vegetación y que no corresponde al hábitat de Rabanal (aliso) (Fig. 18).

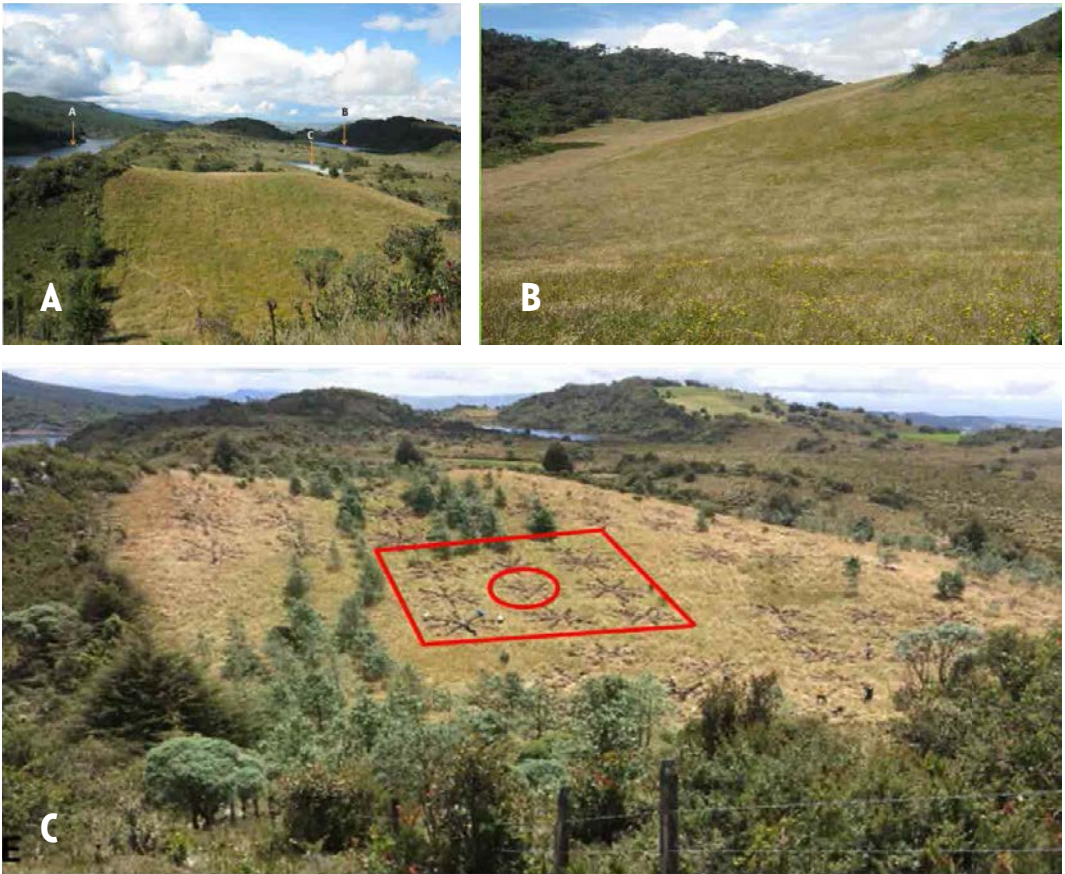


Figura 18. Sucesión temprana en coberturas de pastizal. **A-B.** Estado de la comunidad vegetal de pastizal en el 2015; **C.** Avance de la sucesión temprana en el 2017.

Es claro mencionar que las coberturas de cada plantación (medida en cm^2), determinan cambios temporales; la plantación en pastizal fluctuó respecto a las condiciones climáticas de las heladas; sin embargo, es en esta plantación donde la repuesta a la recuperación es la más favorable con individuos que cobijan hasta 3750 cm^2 , ello refleja el éxito de restauración realizada, debido a que son las mismas especies que generan estrategia de establecimiento y recuperación. Esta tendencia es similar en la plantación realizada en el pajonal-frailejónal, aunque las coberturas son inferiores (1377 cm^2).

Por el contrario, en las plantaciones realizadas en arbustal y plantación forestal de acacias, las coberturas se ven limitadas por la competencia existente con otros individuos, ejemplo, árboles de *Acacia melanoxylon* cuyo porte y altura ($> 6 \text{ m}$), impide que las especies sembradas amplíen su cobertura y altura (Fig. 19).

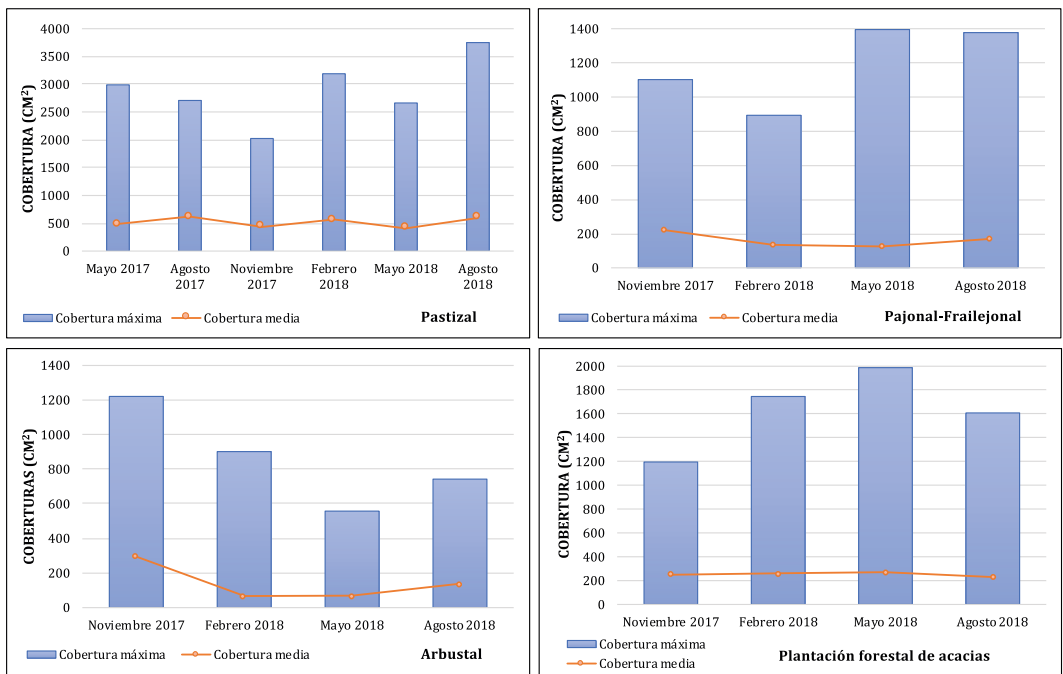


Figura 19. Cambio de la cobertura vegetal estimada para las plantaciones realizadas en cada cobertura.

Cobertura de vegetación gramínea exótica

Escala	Atributo	Temporalidad
Comunidad	Estructura	Trimestral

Las coberturas en el pastizal, donde aún domina *Holcus lanatus*, se ven modificadas por la presencia de otras especies como: *Ageratina ampla*, *Vallea stipularis*, *Myrcinthes rhopaloides* y *Weinmannia fagaroides*, cuyo establecimiento favorable empieza a generar presión sobre esta gramínea. De igual forma, en los núcleos de siembra, particularmente en las zonas donde se realizó levantamiento de la biomasa conformada por la gramínea, se observó con el tiempo el desarrollo de flora nativa principalmente *Lupinus*, *Geranium sibadioides*, *Lachemilla orbiculata* e *Hydrocotyle bonplandii*, este registro determina que, mantener el suelo expuesto permite la expresión del banco de semillas o el arribo de la flora nativa, proceso que apoya la nucleación y la sucesión temprana en Rabanal (Fig. 20).



Figura 20. Desarrollo de plantas en áreas asociadas a las siembras de pastizales. **A-B.** *Lupinus* sp.; **C-D.** *Geranium sibadioides*; **E-F.** *Lachemilla orbiculata*; **G.** *Hydrocotyle bonplandii*.

4.3 COMPONENTE FAUNA

¿Qué función cumple la fauna en la restauración ecológica? Juega un rol importante en el mantenimiento y modificación de los mismos. Las aves o insectos presentan diferentes requerimientos alimenticios provenientes de las plantas, a su vez, aportan para el mantenimiento de las comunidades vegetales mediante la polinización y dispersión de semillas. Los insectos pueden competir por el estiércol y aprueban la reincorporación rápida de nutrientes al suelo, y los anfibios y reptiles son importantes depredadores, que controlan poblaciones de insectos y animales pequeños. Para conocer qué tanto se ha restaurado un ecosistema, es necesario saber qué especies viven allí, en qué proporciones, y las relaciones con los factores abióticos.

¿Qué nos pueden decir los insectos sobre la restauración en la vereda Montoya? Los insectos son artrópodos cuya importancia funcional es variada, debido a los hábitos, formas y relaciones intra e interespecíficas que presentan, incluidos los procesos ecológicos en los que intervienen.

Escarabajos coprófagos (scarabaeidae: scarabaeidae)

Complejidad del muestreo y diversidad: se realizó un monitoreo después de la plantación, con el fin de detectar algún cambio en los escarabajos. Es así como, no se registraron especies presentes en el diagnóstico (*Homocopris achamas* y *Uroxys coarctatus*). No obstante, las especies de escarabajos encontrados en el páramo, no habitan los ecosistemas de referencia ecológica del lugar (bosque altoandino), sino que están usualmente en zonas abiertas como pastizales y pajonales, de esta forma, se esperaría un efecto inverso de la restauración, en el que, a medida que la cobertura boscosa reemplace los pastizales, los escarabajos se vean desplazados.

Por otro lado, la baja diversidad y abundancia de especies de escarabajos coprófagos en Rabanal (Tabla 2), hace que el análisis de recambio de especies, sea poco informativo en cuanto a la estructura y composición de la comunidad, debido a que esta figurada por dos especies, y en el caso de *Uroxys coarctatus*, considerada una especie rara en la zona. De esta manera, la evaluación del proceso de restauración debe enfocarse en medir otros atributos de estas especies, tales como el tamaño poblacional y el uso del espacio que hacen en la zona, de tal manera que se puedan relacionar las diferentes etapas del proceso de restauración con estas características. Por lo anterior, se esperaría no solo una reducción poblacional de *Homocopris achamas* en las zonas restauradas de Rabanal, sino una reducción en el uso que la especie le da a esta cobertura.

Tabla 2. Abundancia de escarabajos coprófagos en las diferentes coberturas del Páramo de Rabanal. A: Arbustales, BA: Bosque de acacias, PF: Pajonal-Frailejónal, F: Frailejónal, B1: Bosque secundario altoandino 1, B2: Bosque secundario altoandino 2 y 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

Mariposas (Lepidoptera: Rophalocera)

Para evaluar el cambio en las diversidades de mariposas en el Páramo de Rabanal como indicador del éxito de la intervención, se muestrearon las coberturas descritas previamente, usando los mismos métodos de trapeo (capítulo 2, metodología, recorridos libres con red entomológica y trampas tipo Van-Somer Rydon), y las mismas intensidades de muestreo. El material recolectado se etiquetó, procesó y determinó mediante el uso de claves y la base de datos en línea Butterflies of América (Warren et al., 2013), que contempla, la tribu Ithomiini dentro de la subfamilia Danainae (Brown & Freitas, 2000), y la inclusión de Hesperidae dentro de la superfamilia Papilionoidea (Mutanen et al., 2010; Regier et al., 2009).

Complejidad del muestreo: en el Páramo de Rabanal se colectaron un total de 152 mariposas pertenecientes a 13 especies y cuatro familias, *Pedaliodes* sp. 1 fue la más abundante con 85 individuos y se encontró en todas las coberturas evaluadas, seguida por *Colias dimera*, con 33 individuos que fue registrada en todas las coberturas a excepción de bosque secundario altoandino. La cobertura con mayor diversidad y abundancia de mariposas fue el pastizal, donde se colectaron un total de 110 individuos. Las coberturas con menos cantidad de especies fueron frailejonal, bosque de acacias y bosque secundario con ocho, cuatro y siete especies respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Abundancia de mariposas para las coberturas vegetales en el DRMI Rabanal (Vereda Montoya). A: Arbustales, BA: Bosque de acacias, PF: Pajonal-Frailejonal, F: Frailejonal, BI: Bosque secundario altoandino 1.

Especie	A	BI	BA	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>	2	0	2	5	19	5	33
<i>Dalla</i> sp. 1	0	1	0	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	2	0	2
<i>Hesperiinae</i> sp. 1	0	0	0	0	1	0	1
<i>Lasiophila</i> sp. 1	2	1	0	0	0	0	3
<i>Lycaenidae</i> sp. 1	2	0	1	0	3	0	6
<i>Manerebia levana</i>	0	0	0	0	3	0	3
<i>Pedaliodes empusa</i>	0	1	0	0	1	0	2
<i>Pedaliodes</i> sp. 1	3	4	1	3	74	0	85
<i>Vanessa braziliensis</i>	0	0	0	0	3	0	3
Total	11	7	4	8	110	12	152

La curva de acumulación de especies, basadas en el tamaño de la muestra refleja que el muestreo fue representativo con una completitud del 99.3 %, que indica que la probabilidad de encontrar nuevas especies de mariposas en la zona es baja; sin embargo, en el análisis para cada cobertura, el muestreo es insuficiente para el bosque secundario altoandino, bosque de acacias y frailejonal (Fig. 21).

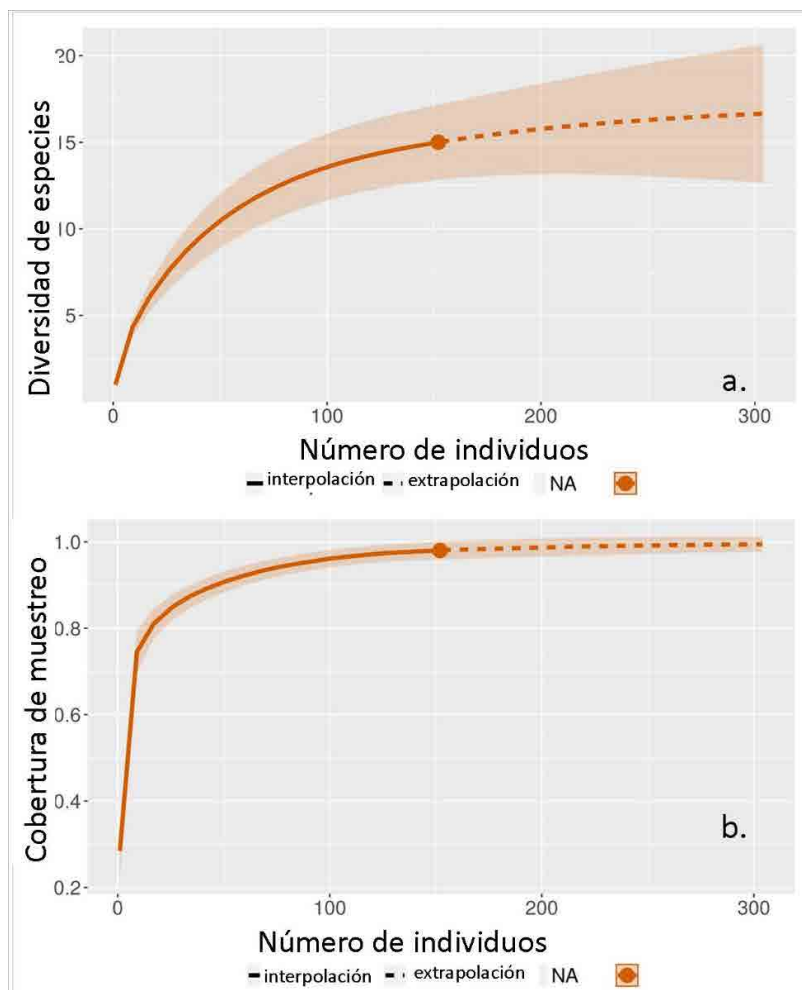


Figura 21. Completitud de muestreo para mariposas en Rabanal. **a.** Curva de rarefacción e interpolación de especies basadas en el tamaño de la muestra; **b.** Curva de cobertura de muestreo basada en el número de individuos.

Diversidad: se encuentra en el área una baja diversidad debido a las características físicas y climáticas del páramo (Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia de especies halladas en el monitoreo en contraste con las especies encontradas durante el diagnóstico. A: Arbustal, B1: Bosque Secundario Altoandino, P: Pastizal, PF: Pastizal–Frailejonal.

Especie	A_0	A_1	BA_0	BA_1	P_0	P_1	PF_0	PF_1	Total
<i>Altopedaliodes cocytia</i>	0	0	0	0	1	0	4	0	5
<i>Altopedaliodes nebris</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Altopedaliodes</i> sp. 1	0	0	0	0	2	0	2	0	4
<i>Colias dimera</i>	0	2	0	2	11	8	5	0	33
<i>Dalla</i> sp. 1	0	0	0	0	2	0	0	0	3
<i>Dalla</i> sp. 2	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Hesperiinae</i> sp. 1	0	0	0	0	1	1	0	0	2
<i>Lasiophila</i> sp. 1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Lycaenidae</i> sp. 1	0	2	0	1	0	3	0	0	6
<i>Manerebia levana</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Pedaliodes empusa</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	2
<i>Pedaliodes</i> sp. 1	0	3	0	1	8	66	0	0	85
<i>Vanessa brazilensis</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	3
Total	4	7	0	4	32	78	12	0	152

Recomendaciones y alternativas: los páramos son ecosistemas agrestes que ponen a prueba la fisiología de los insectos que allí se han logrado establecer (Tobón, 1986), por esta razón, sus abundancias e incidencias son bajas y no facilitan el monitoreo de forma efectiva con los métodos tradicionales; sin embargo, un estudio enfocado a otras dinámicas de sus poblaciones puede arrojar información importante sobre los procesos de sucesión ecológica. En este apartado recomendamos implementar estudios de dispersión, patrones de movimiento y colonización de coberturas usando métodos de captura, marcaje y recaptura (CMR).

Para escarabajos coprófagos, la metodología propuesta por Martínez-Quintero et al. (2013) es la más apropiada, esta consiste en marcar escarabajos en el pronoto con un número serial usando una herramienta rotativa con punta de esmeril. Los datos del CMR se analizan usando el paquete estadístico Rcapture (Baillargeon & Rivest, 2007) en R Core software, basado en el modelo de Joly-Seber (Schwarz, 2001). Se recomienda que los especímenes marcados se capturen usando trapeo mixto (trampas de caída con cebo, trampas de intercepción de vuelo y revisión manual de bostas de excremento vacuno y equino cercanas al área de estudio) (Martí-

nez-Revelo & Lopera-Toro, 2014; van Langevelde, 2000).

¿Qué nos pueden decir los anfibios y reptiles sobre la restauración en la vereda Montoya-DRMI Rabanal?

Los ecosistemas del Neotrópico están amenazados por el cambio de uso de suelo, que provoca la deforestación por implementar sistemas agrícolas como la ganadería o la agricultura, generando una alteración en las coberturas vegetales de áreas naturales, particularmente de los bosques (Laurance et al., 2002; Etter et al., 2011; Angarita-Sierra, 2014; Acuña-Vargas et al., 2016). La fragmentación, la pérdida y degradación del hábitat en los bosques de la Región Andina conlleva a la disminución de las poblaciones de las especies y, por lo tanto, una pérdida de servicios ecosistémicos (Laurance et al., 2002; Etter et al., 2011; Angarita-Sierra et al., 2013; Suazo-Ortuño et al., 2015).

Como organismos ectotérmicos, los anfibios y reptiles dependen de la ganancia o pérdida de calor que le proporcionen los hábitats y microhábitats en sitios donde se llevan a cabo los procesos de sucesión ecológica (Tigmotermia: ganancia de calor a través del suelo y heliotermia: ganancia de calor a través del sol). Lo anterior, permite que muchos de

estos organismos regulen su temperatura corporal, tomando ventaja de las condiciones que se encuentren en el medio ambiente como son: sombra, zonas o cuevas de protección, cuerpos de agua, superficies frías, entre otras situaciones que proporcione el hábitat (Vitt & Caldwell, 2009).

El monitoreo en ecosistemas de páramo arrojó un total de 272 individuos de anfibios, distribuidos en tres familias y tres especies; mientras en reptiles se encontraron 50 individuos, distribuidos en tres familias y tres especies (Tabla 5; Figs. 22–23). La cobertura con todas las especies de anfibios y reptiles fue el herbazal (HE). En esta cobertura predominan frailejonales, pajonales y pequeños cuerpos de agua como humedales. Estos hábitats brindan una serie de recursos (como alimento o refugios) y condiciones abióticas (como la humedad o temperatura) que ayudan a la sobrevivencia de las especies que allí se encuentran.

Tabla 5. Lista de especies de anfibios y reptiles observados en el monitoreo realizado a las diferentes coberturas vegetales del Páramo de Rabanal, Vereda Montoya. Municipio de Ventaquemada. Arbustal (AR), Bosque altoandino (BA), Herbazal (H) y Mosaico de Pastos con espacios naturales (PA). En monitoreos: 1, 2 y 3.

TAXÓN				COBERTURA VEGETAL												
Clase	Orden	Familia	Especie	AR1	AR2	AR3	BA1	BA2	BA3	HE1	HE2	HE3	PA1	PA2	PA3	Total
Amphibia	Anura	Craugastoridae	<i>Pristimantis</i> aff. <i>bogotensis</i>	5	8	12	7	3	1	17	30	8	0	6	0	97
		Hylidae	<i>Dendropsophus</i> <i>molitor</i>	2	1	4	0	0	0	43	71	28	8	6	10	173
	Caudata	Pletodontidae	<i>Bolitoglossa</i> <i>adspersa</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
Reptilia	Squamata	Dactyloidae	<i>Anolis</i> <i>heterodermus</i>	2	0	0	0	0	0	3	4	9	0	0	1	19
		Gymnophthalmidae	<i>Anadia</i> <i>bogotensis</i>	0	1	3	0	0	0	3	5	10	0	0	2	24
		Tropiduridae	<i>Stenocercus</i> <i>trachycephalus</i>	1	0	0	1	0	0	1	0	3	0	0	1	7
Total general				10	10	19	8	3	1	67	111	59	8	12	14	322

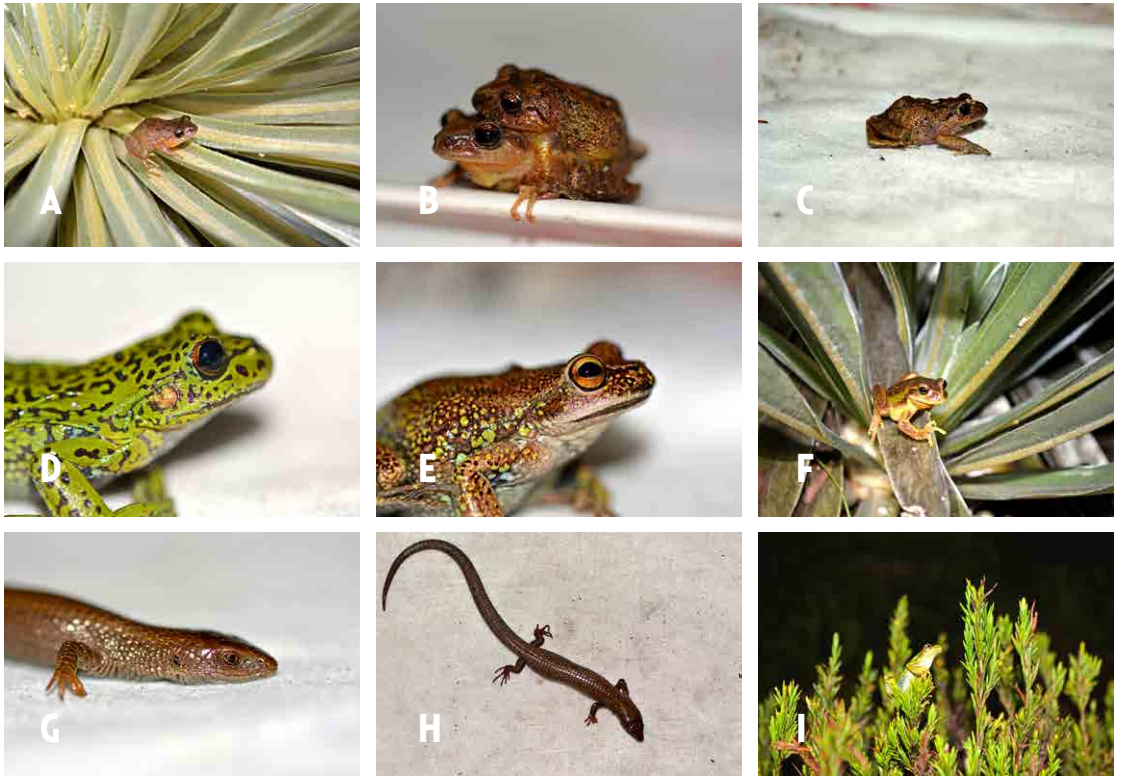


Figura 22. Anfibios y reptiles en el área de estudio, Páramo de Rabanal. **A-C.** *Pristimantis* aff. *bogotensis*; **D-F** e **I** *Dendropsophus molitor*; **G-H.** *Anadia bogotensis*.



Figura 23. Registros fotográficos de reptiles. **A.** *Stenocercus trachycephalus*; **B.** *Anolis heterodermus*.

La alta abundancia de las especies observadas en Herbazal en comparación con las otras coberturas, puede ser explicada con anfibios como la rana *Dendropsophus labialis*, que son comunes de observar en los páramos y bosques altoandinos de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Guarnizo et al., 2014). Debido a que es una especie que presenta metamorfosis, necesita cuerpos de agua para llevar a cabo este ciclo de vida (Lüddecke, 1997) y dado que el HE, se caracteriza por sus

abundantes cuerpos de agua como humedales, y pequeñas lagunas, lo convierte en un lugar óptimo para la presencia de estos organismos.

Además, el HE presenta diferentes formas de crecimiento, dentro de estas las rosetas, que son típicas de los frailejones (hojas y necromasa) y puyas (hojas), que generan pequeños microhábitats entre sus hojas donde se alojan diferentes especies de anfibios y reptiles (p. ej.: *Pristimantis* aff. *bogotensis* y *D. molitor*). En la necromasa también se hicieron observaciones de la salamandra *Bolitoglossa adpersa* y el lagarto *Anadia bogotensis*.

Las coberturas que presentaron la mayor abundancia y riqueza luego de HE, fueron AR y PA, en las que existen pequeños cuerpos de agua, que alguna vez fueron reservorios o bebederos del ganado, y explica la presencia de *D. molitor*. También AR se encontraba rodeada de zonas rocosas, y es ahí donde se observan algunos ejemplares y posturas de *A. bogotensis*, así como, *Anolis heterodermus* y *Stenocercus trachycephalus* en el estrato bajo de los arbustos.

En BA se encuentra esta fauna asociada a su borde, por lo tanto, se asume que utilizan esta área más como sitio de refugio que de alimentación. Lo anterior, se puede explicar a partir de la baja riqueza y abundancia de entomofauna.

Sin embargo, no se puede hacer una relación de los anfibios y reptiles a los procesos de restauración en el páramo, ya que, no se evidencian cambios por las abruptas condiciones ambientales, y un tiempo más prolongado de monitoreo. No obstante, se registran las especies *Dendropsophus molitor*, *Pristimantis* aff. *bogotensis*, *Anolis heterodermus*, *Anadia bogotensis* y *Stenocercus trachycephalus*, que suelen encontrarse en áreas con intervención antrópica como borde de carretera, potreros para ganadería, cultivos y bebederos (Torres-Carvajal et al., 2010; Guarnizo et al., 2014; Rodríguez-Barbosa et al., 2017).

4.4 LA GENTE DE LA VEREDA MONTROYA

Comunidades rurales, la academia y el intercambio de saberes

La transferencia de conocimiento involucró diferentes actores como Instituciones Educativas con sedes rurales de Matanegra y San José del Gacal, además de personas interesadas en la propuesta. Se desarrollaron capacitaciones, en temas como, agroecología, vivero, propagación, fenología, abonos orgánicos y caldos trofobióticos, entre otros (Fig. 24).



Figura 24. Elaboración de caldo supermagro, abono orgánico tipo bokashi, San José del Gacal.

En las actividades desarrolladas se hizo el seguimiento al abono orgánico preparado previamente (Fig. 24), para la acción de microorganismos aerobios, realizando volteos de manera constante y protegiéndolo del sol y la lluvia con plástico (Fig. 25).



Figura 25. Volteos de abono orgánico preparado, adición de melaza y cubrimiento con plástico.

De igual forma, se hicieron talleres sobre elaboración de caldo super magro como fertilizante edáfico de acuerdo a los análisis de suelo realizados previamente, caldos sulfocálcico, bordelés y de ceniza para el control de patógenos e insectos y con el fin de proporcionar resistencia al cultivo frente a las condiciones climáticas adversas como heladas y sequías (Figs. 26 y 27).



Figura 26. Elaboración de caldo mineral de ceniza para uso doméstico.



Figura 27. Capacitación de los diferentes abonos orgánicos, caldos trofobióticos y purines.

Se realizaron jornadas ambientales con los estudiantes de básica primaria de las instituciones Educativas de Matanegra y San José del Gacal; jornadas relacionadas con temas de conservación de ecosistemas, páramo, flora y fauna, contaminación ambiental, restauración ecológica, trabajo en vivero, reciclaje, entre otras, con el fin de promover la protección del Páramo de Rabanal; asimismo, los estudiantes participaron en un taller de cartografía social y de cuidado del planeta (Figs. 28-30).



Figura 28. Capacitación ambiental, Escuela de Matanegra.



Figura 29. Identificación de animales en la región, cultivos presentes, Páramo de Rabanal.



Figura 30. Taller de reciclaje Institución Educativa Sede San José del Galcal.

En el ejercicio de cartografía social realizado, se describen como espacio significativo en el sector, la presencia de la escuela, además de identificar como principales actividades económicas la agricultura de papa, zanahoria y haba, y la ganadería; se destaca el reconocimiento de los estudiantes de los frailejones y de la Laguna Verde en Rabanal. Así como, la importancia de las plantas, que proporcionan oxígeno y la protección de las fuentes hídricas.

Finalmente, se realizó una actividad para el establecimiento de cercas vivas en la Institución Educativa de San José del Galcal y en predios privados contiguos al área de influencia, acciones que promueven la propagación de material nativo, y dan cuenta de la importancia y sensibilización de la población que ha participado en las diferentes actividades del proyecto y la recuperación de ecosistemas degradados.

Divulgación

Participó la Junta Administradora del acueducto veredal, se contó con la asistencia de 198 personas de las veredas Bojirque, Chital, Puente Piedra, Tierra Negra, Zipacón, Estancia Grande y Montoya con el fin de establecer cercas vivas con árboles nativos en zonas estratégicas (Fig. 31).



Figura 31. Evento de socialización con la comunidad del Acueducto Veredal.

La población interesada se vinculó desde el 2016 hasta febrero de 2019, en acciones de trabajo en vivero y plantaciones, capacitaciones en técnicas de viverismo, preparación de sustrato, recolección de plántulas, estacas y semillas, tratamientos pregerminativos, siembra de plántulas. Con los principales actores interesados en el proyecto de restauración ecológica, se realizó una entrevista de identificación de conocimientos adquiridos durante las actividades ejecutadas en campo y en los espacios de capacitación, esto con el propósito de reconocer el aprendizaje adquirido (Fig. 32).



Figura 32. Comunidad participante en proyecto de restauración ecológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña-Vargas, J.C. 2016. Anfibios y reptiles asociados a cinco coberturas de la tierra, municipio de Dibulia, la Guajira, Colombia. *Acta Zoológica Mex.*, 32: 133-146.
- Allison, S. & Martiny, J. 2008. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 11512-11519.
- Angarita-Sierra, T. 2014. Diagnóstico del estado de conservación del ensamble de anfibios y reptiles presentes en los ecosistemas de sabanas inundables de la cuenca del río Pauto, Casanare, Colombia. *Rev. La Acad. Colomb. Ciencias*, 38: 53-78.
- Angarita-Sierra, T., Ospina-Sarría, J., Anganoy-Criollo, M., Pedroza-Banda, R. & Lynch, J.D. 2013. Guía de campo de los anfibios y reptiles del departamento de Casanare (Colombia). Bogotá-Arauca, Serie Biodiversidad para la Sociedad No. 2. Universidad Nacional de Colombia, Sede Orinoquía; YOLUKA ONG, Fundación de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Bogotá-Arauca.
- Baillargeon, S. & Rivest, L.P. 2007. Rcapture: loglinear models for capture-recapture in R. *Journal of Statistical Software*, 19(5): 1-31.
- Barceló, J. & Poschenriede, C. 2002. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review. *Environ. Exp. Bot.*, 48: 75-92.
- Block, W.M., Franklin, A.B., Ward, J.P., Ganey, J.L. & White, G.C. 2001. Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restoration Ecol.*, 9: 293-303.
- Brown-K., J.R. & Freitas, A.V.L. 2000. Atlantic forest butterflies: Indicator for landscape conservation. *Biotropica*, 32: 934-956.
- Cheng, M. & An, S. 2015. Responses of soil nitrogen, phosphorous and organic matter to vegetation succession on the Loess Plateau of China. *Journal Arid Land*, 7(2): 216-223.
- Delgado, A. & Gómez, J. 2016. Soil. Physical, chemical and biological properties. Chapter 2. En: Villalobos, E. Fereres (eds.), *Principles of agronomy for sustainable agriculture*, Springer International. España. 549 p.
- Domsch, K.H., Gams, W. & Anderson, T. 1980. *Compendium of soil fungi*, vol. I. Academic, London. 859 p.
- Drenovsky, R.K. Steenwerth, L. Jackson, & Scow, K. 2010. Land use and climatic factors structure regional patterns in soil microbial communities. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 27-39.
- Drenovsky, R., Graham, 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.

- Etter, A., Mcalpine, C., Seabrook, L. & Wilson, K.A. 2011. Incorporating temporality and biophysical vulnerability to quantify the human spatial footprint on ecosystems. *Biol. Con.*, 144: 1585-1594.
- Greenshields, L., Guoshen, L., Feng, J., Selvaraj, G. & Wei, Y. 2007. The siderophore biosynthetic gene SID1, but not the ferroxidase gene FET3, is required for full *Fusarium graminearum* virulence. *Mol. Plant Pathol.*, 8: 411-421.
- Guarnizo, C.E., Armesto, O., Acevedo, A. 2014. *Dendropsophus labialis* (Peters 1863). Catálogo Anfibios y Reptiles. Colombia., 2: 56-61.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. & Cerra, M. 2003. Los páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN, Quito, Ecuador.
- Krebs, C.J. 1978. A review of the Chitty hypothesis of population regulation. *Canadian Journal of Zoology*, 56: 2463-2480.
- Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., Gascon, C., Bierregaard, R.O., Laurance, S.G. & Sampaio, E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22 years investigation. *Conserv. Biol.*, 16: 605-618.
- Lüddecke, H. 1997. Colonization of the eastern Andes of Colombia by anurans: Evidence from natural history data of *Hyla labialis*. *Salamandra*, 33: 111-132.
- Lupatini, M., Suleiman, A., Jacques, A., Antonioli, R., Kuramae, R., Camargo, E. & Roesch, L. 2013. Soil-borne bacterial structure and diversity does not reflect community activity in Pampa biome. *PlosOne*, 8(10): e76465.
- Martínez-Quintero, B.G., Cultid-Medina, C.A. & Rudas-Grajales, J.C. 2013. Método para marcar escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y su implementación en los Andes de Colombia. *Acta Zool. Mex.*, 29(2): 448-451.
- Martínez-Revelo, D.E. & Lopera-Toro, A. 2014. Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de los páramos del departamento de Nariño (Colombia). *Biota Colombiana*, 15(1): 62-72.
- Martinsen, V., Alling, V., Nuria, N., Mulder, J., Hale, S., Ritz, C., Rutherford, D., Heikens, A., Breedveld, G. & Cornelissen, G. 2015. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*, 61: 821-834.
- Mutanen, M., Wahlberg, N. & Kaila, L. 2010. Comprehensive gene and taxón coverage elucidates radiation patterns in moths and butterflies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277: 2839-2848.
- Onofre-Lemus, J., Hernández-Lucas, I., Girard, L. & Caballero-Mellado, J. 2009. ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminase activity, a widespread trait in *Burkholderia* species, and its growth-promoting effect on tomato plants. *Appl. Environ. Microbiol.*, 75: 6581-6590.
- Ortega, D. 1997. Fertilización en cultivos de flores. En: Silva, F. (ed.). Fertilización. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. pp. 136-147.
- Prado-Castillo, L.F. 2012. Plan de restauración ecológica del patrimonio natural de las áreas protegidas adscritas a la Dirección Territorial Andes Nororientales. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Versión preliminar. Bucaramanga, Santander. 83 p.

- Regier, J. C., Zwick, A., Cummings, M.P., Kawahara, A.Y., Cho, S., Weller, S., [...], Mitter, C. 2009. Toward reconstructing the evolution of advanced moths and butterflies (Lepidoptera: Ditrysia): an initial molecular study. *Evolutionary Biology*, 9: 1-21.
- Rodríguez-Barbosa, C.A., Mendoza-Roldán, J.S. & Gómez Sánchez, D.A. 2017. *Stenocercus trachycephalus* (Duméril, 1851). Anfibios y reptiles. *Catálogos anfibios y reptiles*. Colomb., 3: 67-74.
- Rojas, F. 2002. Metodología para la evaluación de la calidad de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica* mill.) en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1): 75-81.
- Rout, G., Samantara, S. & Das, P. 2001. Aluminum toxicity in plants: A review. *Agronomie*, 21(1): 3-21.
- Schwarz, C.J. 2001. The Jolly-Seber model: more than just abundance. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 6(2): 195-205.
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J.E., Mendoza, L., López-Toledo, N., Lara-Uribe, C., Márquez-Camargo, J.G., Paz-Gutiérrez, & Rangel-Orozco, J.D. 2015. High resilience of herpetofaunal communities in a human-modified tropical dry forest landscape in western Mexico. *Trop. Conserv. Sci.*, 8: 396-423.
- 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.
- Thom R.M. & Wellman, K.F. 1996. Planning aquatic ecosystem restoration monitoring programs. Evaluation of Environmental Investments Research Program. IWR for U.S. Army Corps of Engineers - Report 96-R-23. 128 p.
- Torres-Carvajal, O., Ayala, F. & Carvajal-Campos, A. 2010. Reptilia, Squamata, Iguanidae, *Anolis heterodermus* Duméril, 1851: Distribution extension, first record for Ecuador and notes on color variation. *Check List*, 6: 189-190.
- Van Langevelde, F. 2000. Scale of habitat connectivity and colonization in fragmented nuthatch populations. *Ecography*, 23(5): 614-622.
- Vitt, L.J. & Caldwell, J.P. 2009. Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles. Tercera Edición. Academic Press, Elsevier, San Diego California. U.S.A. 697 p.
- Wang, Q., Zeng, Z. & Zhong, M. 2016. Soil moisture alters the response of soil organic carbon mineralization to litter addition. *Ecosystems*, 19: 450-460.
- Wardle D.A. & Peltzer D.A. 2007. Aboveground-belowground linkages, ecosystem development, and ecosystem restoration. En: Walker L.R., Walker J. & Hobbs R.J. (Eds.). *Linking restoration and ecological succession*. Springer series on environmental management. Springer, New York, NY.
- Warren, A.D., Davis, K.J., Stangeland, E.M., Pelham, J.P. & Grishin, N.V. 2013. Illustrated lists of american butterflies. Butterflies of America Foundation. Recuperado de: <http://www.butterfliesofamerica.com>
- Wen, Z., Jiao, F. & Liu, B. 2005. Natural vegetation restoration and soil nutrient dynamic of abandoned farmlands in forest-steppe zone on Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied ecology*, 16(11): 2025-2029.
- Zapata, H. 2004. *Química de la acidez del suelo*. Cargraphics, Cali. 208 p.

