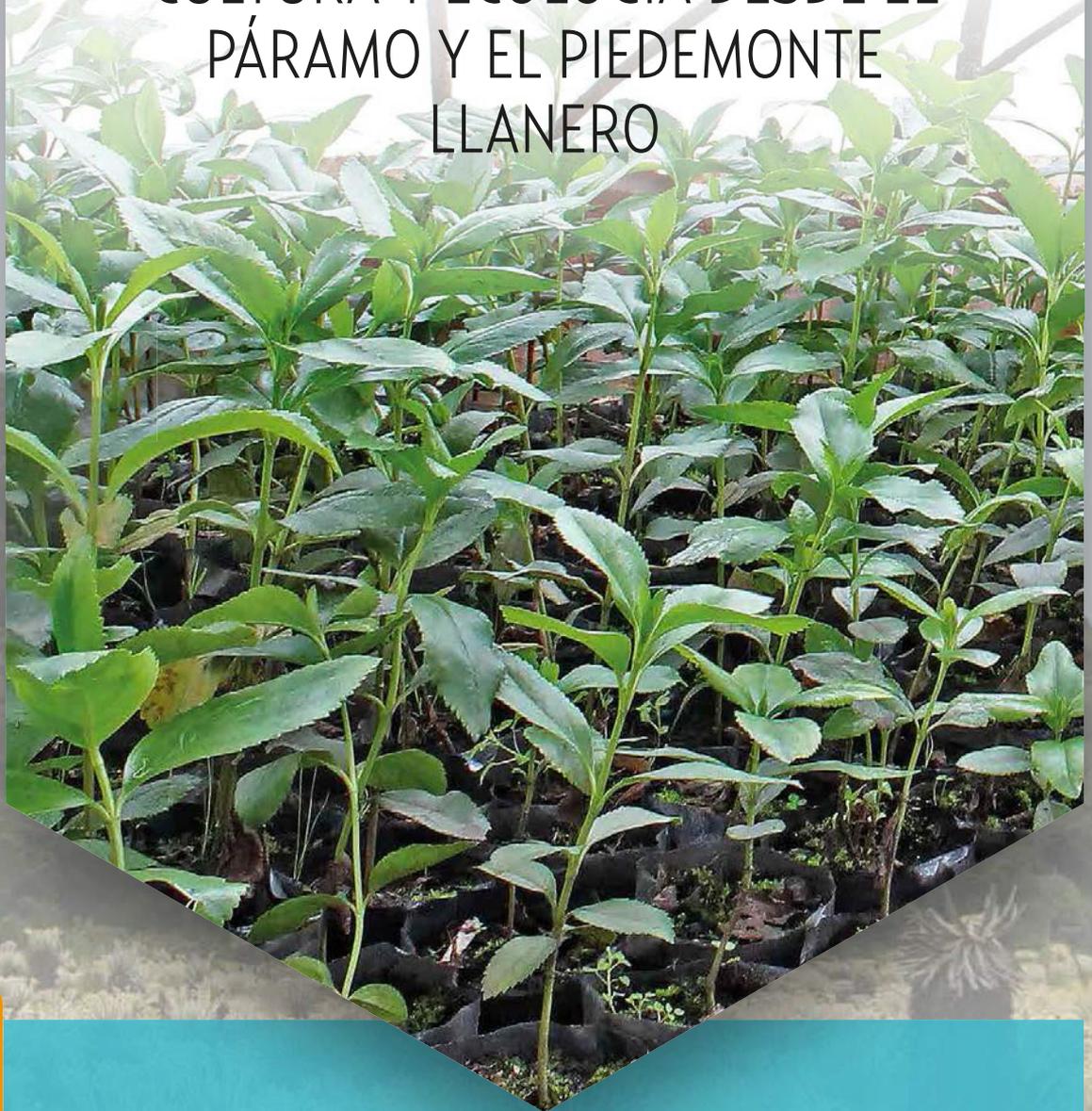


# RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA:

CULTURA Y ECOLOGÍA DESDE EL  
PÁRAMO Y EL PIEDEMONTE  
LLANERO



## COORDINADORES

LUIS FERNANDO PRADO-CASTILLO | PABLO ANDRÉS GIL-LEGUIZAMÓN  
ALEXANDER SABOGAL-GONZÁLEZ | MARÍA EUGENIA MORALES-PUENTES

**COORDINADORES:**

LUIS FERNANDO PRADO-CASTILLO  
PABLO ANDRÉS GIL-LEGUIZAMÓN  
ALEXANDER SABOGAL-GONZÁLEZ  
MARÍA EUGENIA MORALES-PUENTES

# **RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA: CULTURA Y ECOLOGÍA DESDE EL PÁRAMO Y EL PIEDEMONTE LLANERO**

**Restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero** / Luis Fernando Prado-Castillo; Pablo Andrés Gil-Leguizamón; Alexander Sabogal-González; María Eugenia Morales-Puentes. Tunja: Editorial UPTC, 2018. 280 p.  
ISBN 978-958-660-335-5

1. Restauración ecológica, 2. Área degradada, 3. Flora nativa, 4. Participación comunitaria.  
(Dewey 507).



Primera Edición, 2018  
500 ejemplares (impresos)  
**Restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero**  
ISBN 978-958-660-335-5

Colección de Investigación UPTC No. 127  
© Luis Fernando Prado-Castillo, 2018  
© Pablo Andrés Gil-Leguizamón, 2018  
© Alexander Sabogal-González, 2018  
© María Eugenia Morales-Puentes, 2018  
© De los autores, 2018  
© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2018

**Editorial UPTC**  
Edificio Administrativo – Piso 4  
Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá  
comite.editorial@uptc.edu.co  
www.uptc.edu.co

**ECOPETROL**  
Rubén Darío Moreno Rojas  
Vicepresidente de Operaciones y Mantenimiento de Transporte

Aníbal Fernández de Soto Camacho  
Vicepresidente de Desarrollo Sostenible

Sandra Patricia Báez Rojas  
Administradora Convenio 5211740

Olga Lucía Carvajal Sánchez  
Gestora Técnica Convenio 5211740

**Rector, UPTC**  
Alfonso López Díaz

**Comité Editorial**  
Sonia Esperanza Díaz Márquez, Ph.D.  
Enrique Vera López, Ph. D  
Yolima Bolívar Suárez, Mg.  
Sandra Gabriela Numpaque Piracoca, Mg.  
Olga Yaneth Acuña Rodríguez, Ph.D.  
María Eugenia Morales Puentes, Ph.D.  
Rafael Enrique Buitrago Bonilla, Ph.D.  
Nubia Yaneth Gómez Velasco, Ph.D.  
Carlos Mauricio Moreno Téllez, Ph.D

**Editora en Jefe**  
Ruth Nayibe Cárdenas Soler, Ph. D.

**Coordinadora Editorial**  
Andrea María Numpaque Acosta, Mg.

**Corrección de Estilo**  
Liliana Paola Muñoz Gómez

**Diseño editorial**  
Euler Enrique Nieto Bernal

**Diagramación**  
Raúl Saavedra Ariza

**Impresión**  
Búhos Editores Ltda.  
Calle 57 N°. 9-36, Barrio Santa Rita  
Tels.: 7442264 - 7440301 - 7457261  
www.buhoseditores.com  
Tunja / Boyacá Colombia

Libro financiado por la Dirección de Investigaciones de la UPTC y ECOPETROL S.A. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Libro resultado del Proyecto de investigación UPTC – ECOPETROL; con SGI número 1219.

Citación: Prado-Castillo, L.F.; Gil-Leguizamón, P.A.; Sabogal-González, A.; Morales-Puentes, M.E. (Coord.) (2018). *Restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero*. Tunja: Editorial UPTC.

# EQUIPO DE TRABAJO

## **EQUIPO DE INVESTIGACIÓN**

Alexander Sabogal-González, Andrés Felipe Morales-Alba, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco, Clodomiro Gil Reina, Dalia Soraya Useche, David A. Luna-Sarmiento, Diana Marcela Restrepo Quiceno, Diana Patricia Caro-Melgarejo, David Ricardo Hernández Velandia, Gerson Peñuela-Díaz, Javier Andrés Muñoz-Avila, Jeison Adrián Olaya Angarita, John Edison Reyes Camargo, Judier Karelly Melgarejo Colmenares, Laura Angélica Ortiz Murcia, Luis Fernando Prado-Castillo, María Eugenia Morales-Puentes, Mauricio Gámez Rodríguez, Merly Yenedith Carrillo, Nohora Alba Camargo Espitia, Oscar Felipe Moreno-Mancilla, Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Paulina Alejandra Vergara Buitrago, Rafael Alejandro Solano, Ramiro Jerez Cárdenas, Teresa Andrea Cárdenas-Tamayo, Viviana Maritza Alvarado-Fajardo, Wilderson Medina, Wilmer Mora Espitia, William Javier Bravo Pedraza.

## **EQUIPO DE CAMPO**

Alexander Sabogal-González, Andrés Felipe Morales-Alba, Bleidy Xiomara Villalba-Carmona, Carlos Nelson Díaz-Pérez, Clodomiro Gil Reina, Dalia Soraya Useche, David A. Luna-Sarmiento, David Ricardo Hernández Velandia, Diana Marcela Restrepo Quiceno, Diana Patricia Caro-Melgarejo, Edna Carolina Sánchez Chávez, Gerson Marcel Peñuela Díaz, Javier Andrés Muñoz-Avila, Jeison Adrián Olaya Angarita, John Edison Reyes-Camargo, Jorge Enrique Gil-Novoa, Juan Sebastián Herrera Martínez, Judier Karelly Melgarejo Colmenares, Laura Angélica Ortiz Murcia, Luis Fernando Prado-Castillo, María Eugenia Morales-Puentes, Mauricio Gámez Rodríguez, Naisla Tatiana Manrique-Valderrama, Nohora Alba Camargo Espitia, Óscar Felipe Moreno-Mancilla, Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Paulina Alejandra Vergara Buitrago, Ramiro Jerez Cárdenas, Viviana Maritza Alvarado Fajardo, Wilderson Medina, Wilmer Mora Espitia, William Javier Bravo Pedraza.

## **TRABAJO DE LABORATORIO Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN**

Alexander Sabogal-González, Andrés Felipe Morales-Alba, Bleidy Xiomara Villalba-Carmona, Carlos Nelson Díaz-Pérez, Dalia Soraya Useche, David Ricardo Hernández Velandia, David A. Luna-Sarmiento, Diana Marcela Restrepo Quiceno, Diana Patricia Caro-Melgarejo, Edna Carolina Sánchez Chávez, Javier Andrés Muñoz-Avila, Jeison Adrián Olaya Angarita, John Edison Reyes-Camargo, Jorge Enrique Gil-Novoa, Judier Karelly Melgarejo Colmenares, Laura Angélica Ortiz Murcia, Luis Fernando Prado-Castillo, María Eugenia Morales-Puentes, Naisla Tatiana Manrique-Valderrama, Nohora Alba Camargo Espitia, Óscar Felipe Moreno-Mancilla, Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Paulina Alejandra Vergara Buitrago, Viviana Maritza Alvarado Fajardo, Wilderson Medina, William Javier Bravo Pedraza.

## **FOTOGRAFÍA**

Andrea Simbaqueba, Andrés Felipe Morales-Alba, Andrés Leonardo Ovalle Pacheco, David Camilo Martínez, David Ricardo Hernández, Javier Andrés Muñoz-Avila, John Edison Reyes-Camargo, Jorge Enrique Gil-Novoa, Lina Marcela Lozano Jácome, Magda Rocío Escobar, María Eugenia Morales-Puentes, Óscar Felipe Moreno-Mancilla, Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Raquel Sofía Gómez, Stefanny Porras, Wilderson Medina, William Javier Bravo Pedraza.

## **CARTOGRAFÍA**

Gladys Alcya Riaño Cano, Pablo Andrés Gil-Leguizamón.

## **TRABAJO LOGÍSTICO**

Doris Torres García

## **GRUPO SISTEMÁTICA BIOLÓGICA – SISBIO - UPTC**



# CONTENIDO

PRESENTACIÓN DE ECOPETROL..... 9

PRESENTACIÓN UPTC..... 11

AGRADECIMIENTOS..... 13

INTRODUCCIÓN ..... 14

## **CAPÍTULO 1**

APROXIMACIÓN CONCEPTUAL PARA LA  
RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS ANDINOS ..... 17

Luis Fernando Prado-Castillo, Teresa Andrea Cárdenas-Tamayo, Merly Yenedith Carrillo-Fajardo

## **CAPÍTULO 2**

ABORDAJE METODOLÓGICO PARA LA  
RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS ANDINOS ..... 31

Luis Fernando Prado-Castillo, David A. Luna-Sarmiento, Alexander Sabogal-González, Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Jeison Adrián Olaya-Angarita, David Ricardo Hernández-Velandia, William Javier Bravo-Pedraza, Nohora Alba Camargo-Espitia, Wilderson Medina, Javier Andrés Muñoz-Avila, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco, Oscar Felipe Moreno-Mancilla, Andrés Felipe Morales-Alba, John Edison Reyes Camargo

## **CAPÍTULO 3**

RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL  
BOSQUE ALTOANDINO EN LA VEREDA  
MONTOYA (VENTAQUEMADA, BOYACÁ):  
DIAGNÓSTICO, DISEÑO Y PROPAGACIÓN  
DE ESPECIES NATIVAS ..... 65

Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Diana Patricia Caro-Melgarejo, William Javier Bravo-Pedraza, Rafael Alejandro Solano, Nohora Alba Camargo-Espitia, Oscar Felipe Moreno-Mancilla, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco, Javier Andrés Muñoz-Avila, Andrés Felipe Morales-Alba, John Edison Reyes Camargo, David Ricardo Hernández-Velandia, Wilderson Medina, Clodomiro Gil Reina, Ramiro Jerez Cárdenas, Eduardo Moreno Rodríguez, Luis Fernando Prado-Castillo

## **CAPÍTULO 4**

### **RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ALTOANDINO EN LA VEREDA MONTOYA (VENTAQUEMADA, BOYACÁ): AVANCES ..... 139**

Pablo Andrés Gil-Leguizamón, William Javier Bravo-Pedraza, David Ricardo Hernández-Velandia, Oscar Felipe Moreno-Mancilla, Andrés Felipe Morales-Alba, John Edison Reyes Camargo, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco, Javier Andrés Muñoz-Avila, Paulina Vergara, Laura Ortiz, Dalia Soraya Useche

## **CAPÍTULO 5**

### **RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ANDINO EN LA VEREDA MONSERRATE (SABANALARGA, CASANARE): DIAGNÓSTICO Y DISEÑO .. 179**

Jeison Adrián Olaya-Angarita, William Javier Bravo-Pedraza, Judier Karelly Melgarejo-Colmenares, Diana Patricia Caro-Melgarejo, Oscar Felipe Moreno-Mancilla, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco, Javier Andrés Muñoz-Avila, Andrés Felipe Morales-Alba, John Edison Reyes Camargo, Wilderson Medina, Gerson Peñuela-Díaz, David Ricardo Hernández-Velandia, Mauricio Gámez Rodríguez, Wilmer Mora Espitia, Luis Fernando Prado-Castillo

## **CAPÍTULO 6**

### **RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ANDINO EN LA VEREDA MONSERRATE (SABANALARGA, CASANARE): AVANCES ..... 227**

Jeison Adrián Olaya-Angarita, William Javier Bravo-Pedraza, David Ricardo Hernández-Velandia, Pablo Andrés Gil-Leguizamón, Oscar Felipe Moreno-Mancilla, Andrés Felipe Morales-Alba, John Edison Reyes Camargo, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco, Javier Andrés Muñoz-Avila, Paulina Vergara, Laura Ortiz

## **CAPÍTULO 7**

### **SÍNTESIS Y PERSPECTIVAS DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LAS VEREDAS MONTOYA (VENTAQUEMADA, BOYACÁ) Y MONSERRATE (SABANALARGA, CASANARE).....263**

Luis Fernando Prado-Castillo, María Eugenia Morales-Puentes

### **GLOSARIO ..... 274**





# PRESENTACIÓN

La presente publicación es el resultado de la ejecución del Convenio de Colaboración 5211740 celebrado entre la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y la Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol S.A., en el Proyecto 6 (SGI 1219), el cual tuvo como objetivo principal ejecutar acciones de restauración ecológica de 105 ha en el DRMI Rabanal (Ventaquemada, Boyacá) y en el municipio de Sabanalarga (Casanare). Lo anterior, como medida de compensación ambiental en el marco de la ejecución del Proyecto del Poliducto Andino.

Es muy importante para Ecopetrol S.A., demostrar que los proyectos de infraestructura son ejecutados con un sello de responsabilidad social y ambiental, en los que siempre se ha procurado mitigar al máximo el impacto sobre los ecosistemas. Se debe tener en cuenta que sobre los sitios de estudio se han venido desarrollando procesos históricos de impactos de tipo antropogénico como talas, quemas, minería, ganadería extensiva y la ampliación de la frontera agrícola, que afectan directamente la diversidad de especies en la zona. Por lo anterior, el presente trabajo pretende mostrar las estrategias diseñadas e implementadas a través de procesos de restauración ecológicas en los ecosistemas de alta montaña, páramo y piedemonte llanero, y destacar la provisión de servicios ecosistémicos que estos sitios ofrecen. Esta iniciativa quiere dar a conocer, lo importante que es cuidar y preservar los bosques, ya que son el hogar de una amplia gama de plantas y animales que cumplen un rol en el desarrollo de una serie de procesos como el ciclaje de nutrientes, el ciclo del agua y la regulación hídrica.

La restauración ecológica y la interacción con la participación de la comunidad son el tema principal, se muestran las plantas nativas, además de fauna importante en esta dinámica de los ecosistemas alto andinos de páramo, así como del piedemonte llanero, haciendo énfasis en los municipios de Ventaquemada (Boyacá) y Sabanalarga (Casanare). Este material bibliográfico pretende convertirse en una herramienta útil no solo para la comunidad académica, sino también para la comunidad en general y sobre todo para los habitantes de las localidades de influencia del proyecto, con el fin último de conocer algunas de las especies, de una manera fácil y didáctica.

Se debe resaltar la labor y el trabajo que ha venido haciendo el grupo de investigación Sistemática Biológica (SisBio) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, ya que sus integrantes buscaron estrategias de trabajo desde el conocimiento básico, el trabajo con la comunidad y la búsqueda de mejorar fragmentos de bosque en diferentes estados de deterioro en las diferentes localidades, y que estamos seguros que se convertirá en una herramienta y punto de partida para futuros estudios. El personal profesional y técnico que realizó sus aportes a este libro está comprometido con entregar un producto de calidad y con el que buscan demostrar que los proyectos de investigación también deben involucrar a la comunidad campesina, ya que con ellos y su conocimiento empírico el aporte cobra un significado importante.

**Ruben Darío Moreno Rojas**

Vicepresidente de Operaciones y Mantenimiento de Transporte

**Aníbal Fernández de Soto Camacho**

Vicepresidente de Desarrollo Sostenible



*"Restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero"*, surge como producto de tipo investigativo enmarcado en el convenio 5211740 de 2012 – Proyecto 6: *Restauración ecológica de 105 ha en el Parque Natural Regional Rabanal, en el departamento de Boyacá (municipios de Samacá y Ventaquemada) y en el departamento de Casanare (municipio de Sabanalarga)* – elaborado a partir de trabajo técnico, académico y aportes financieros entre la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) y la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol S.A.).

Es finalidad de la UPTC apoyar el fortalecimiento de la actividad formativa, orientada a la búsqueda de solución de problemas en el campo biológico y donde se vincule también la comunidad. Tanto coordinadores como autores de capítulos aportan ideas significativas plasmadas en esta obra, producto del trabajo arduo en campo y laboratorio. *"Restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero"* es un descubrimiento más de nuestro territorio colombiano, puesto a disposición de la comunidad científica y general, que expone la realidad de la transformación de nuestros ecosistemas y las estrategias para recuperarlos.

A través de este libro, el lector encontrará información de interés que describe las experiencias desarrolladas sobre la restauración ecológica en dos ecosistemas contrastantes, la alta montaña en Boyacá (DRMI Rabanal, municipio de Ventaquemada) y del piedemonte llanero en Casanare (vereda Monserrate-municipio de Sabanalarga). Para nuestra *Alma Máter*, este documento es resultado de investigación con calidad y espera que se consolide como soporte bibliográfico para futuras investigaciones, en materia de cultura, educación, ciencia, tecnología e innovación en el presente y futuro de la restauración ecológica y la flora y fauna nativa.

**GABRIEL PATARROYO MORENO**  
Decano Facultad de Ciencias



# AGRADECIMIENTOS

Este libro denominado *restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero*, solo fue posible gracias al Convenio 5211740 de 2012, celebrado entre la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Ecopetrol S.A. y al proyecto 6: *Restauración ecológica de 105 ha en el Parque Natural Regional Rabanal, en el departamento de Boyacá (Municipio de Samacá y Ventaquemada) y en el departamento de Casanare (municipio de Sabanalarga)* establecido en la Resolución 1547 de 2010, con código SGI 1219.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; a los funcionarios vinculados a las Vicerrectorías de Investigación y Extensión, Académica y Administrativa, y a los departamentos de Tesorería y Servicios Generales; a la Facultad de Ciencias especialmente al Decano Gabriel Patarroyo Moreno, quienes siempre estuvieron dispuestos a apoyar el desarrollo del proyecto y el Convenio.

A los ingenieros que apoyaron el desarrollo del proyecto, Argemiro Valencia, Carol Lina Rondón, Blanca Jiménez, Paola Barrera, Víctor Rivera, Alfredo Rodríguez, Mario Bermúdez, Rafael Solano, Olga Carvajal y Sandra Báez.

Agradecimiento especial a la comunidad del páramo Rabanal, a los residentes de la vereda Montoya (municipio de Ventaquemada) sector San José del Galal; a Clodomiro Gil, Hermencia Gómez, Ramiro Jerez Cárdenas, Gloria Gómez, Eduardo Moreno e Isabel Bautista, parte fundamental de este proyecto, como participantes efectivos en todas las actividades de los muestreos de flora y fauna, los seguimientos a

las especies y la toma de datos, así como aportes en el conocimiento local de las plantas.

A los estudiantes y profesores del *Centro Educativo San José del Galal* de Rabanal, así como del *Centro Educativo Mata Negra* quienes siempre participaron activamente en desarrollo del proyecto y demostrando su apoyo e interés.

A los habitantes de Sabanalarga (Casanare) por su constante apoyo y disposición para colaborar con todo lo pertinente al proyecto. A Mauricio Gámez Rodríguez (Choyo), Wilmer Mora Espitia, Diana Lily Vargas por su hospitalidad y ayuda además del trabajo constante en campo y toma de datos.

A Fabián Michelangeli por la determinación de muestras de Melastomataceae, Julián Camilo Farfán por Orchidaceae; Marvin Anganoy, Andrés Felipe Aponte, Leonardo Niño y John Lynch, quienes colaboraron con la identificación de algunas especies de anfibios y reptiles. A Carlos Nelson Díaz por sus conocimientos.

A los integrantes del Grupo de Investigación Sistemática Biológica (SisBio) y al Herbario UPTC de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por todo el apoyo logístico en el proceso de ejecución de este proyecto, en actividades como la toma de fotografías, registro de datos, herborización de plantas vasculares, apoyo en procesos curaduriales del material botánico.

Por último, a todas y cada una de las personas que aportaron un granito de arena para que este proyecto saliera adelante.

# INTRODUCCIÓN

Colombia es sinónimo de exuberancia biológica, sus innumerables historias geológicas la han convertido en el refugio perfecto de miles de especies animales y vegetales. Los movimientos tectónicos que hicieron posible su ubicación en el trópico, permitieron particularidades climáticas; el levantamiento de la cordillera de los Andes que generó maravillosos ecosistemas a lo largo de su gradiente y que mantiene en suelo colombiano una red fluvial sin igual; la formación del istmo de Panamá, que unió Suramérica con Centro y Norteamérica situando al territorio en la puerta para el intercambio de flora y fauna, y que generó dos ambientes marinos únicos, entre otros fenómenos, han convertido al país en un laboratorio biológico, en donde la vida se ha autorizado inimaginables aventuras evolutivas y cuyo resultado es la megadiversidad que lo habita.

El conocimiento de esta megadiversidad no solo representa una manera de entender que el entorno y nosotros mismos, somos producto de procesos intangibles a grandes escalas de tiempo, que apenas se vislumbra. También constituye una herramienta fundamental para descifrar el funcionamiento de los ecosistemas, y consentir su uso en el contexto de la sostenibilidad y manejo respetuoso de los recursos naturales. La gran variedad de ecosistemas presentes en Colombia, además de ser invaluable reservorio de flora y fauna, proveen innumerables servicios ecosistémicos, sin los cuales ninguna sociedad podría ser sustentada. Hábitats tan disímiles y particulares como el páramo y el piedemonte llanero brindan beneficios fundamentales, como la captación y protección del recurso hídrico (entre muchos otros), que influye directamente en la calidad de vida de las comunidades locales.

Por esta razón, el objetivo de **"RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DE MONTAÑA: CULTURA Y ECOLOGÍA DESDE EL PÁRAMO Y EL PIEDEMONTE LLANERO"**, es presentar al lector una aproximación a la diversidad biológica de dos ecosistemas altamente estratégicos; tendiendo un puente entre ciencia y sociedad que incentive a las comunidades locales a conocer los organismos que allí habitan y, que repercuta en la apropiación, conservación, uso sostenible y gestión del territorio.





# CAPÍTULO 1

# APROXIMACIÓN CONCEPTUAL PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS ANDINOS



**Luis Fernando Prado-Castillo<sup>1-2</sup>, Teresa Andrea Cárdenas-Tamayo<sup>3</sup>,  
Merly Yenedith Carrillo-Fajardo<sup>2-4</sup>**

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

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

<sup>3</sup>Gerencia Ambiental, Empresa Grupo de Energía de Bogotá.

<sup>4</sup>Biodiversidad UNICÓRDOBA. Programa de Biología, Universidad de Córdoba, Montería, Córdoba.

# LA SUCESIÓN ECOLÓGICA COMO PARTE DE LOS PRINCIPIOS DE LA ECOLOGÍA EN LA RESTAURACIÓN

La sucesión ecológica es entendida como: "patrones de cambio y reemplazamiento que ocurren dentro de los ecosistemas a lo largo del tiempo en respuesta al disturbio" (McDonald et al., 2016). Entre los modelos que intentan explicar estos patrones, está el de Connell & Slatyer (1977), concebido a partir de interacciones bióticas y los cambios en micrositios, que estos generan, mediante tres mecanismos donde las especies pioneras: a) facilitan el establecimiento de otras especies (facilitación); b) no afectan el establecimiento de otras especies (tolerancia), y/o c) limitan el establecimiento de otras especies (inhibición). Estos, pueden actuar durante el proceso de sucesión a manera de hipótesis no excluyentes (Pickett et al., 1987).

En Rabanal y Sabanalarga, las especies de gramíneas exóticas dominaban la matriz del paisaje agrícola. En Rabanal, la especie dominante fue *Holcus lanatus* y en Sabanalarga *Brachiaria* sp. En los dos casos, una vez abandonada la actividad productiva, se observaron procesos de sucesión secundaria (van der Maarel, 1988). Por tanto, la restauración se orientó hacia la gestión de las diversas etapas sucesionales, a partir del estudio del banco de semillas (legado genético) del suelo y de los propágulos ofertados por el entorno (van Andel & Aronson, 2012).

La dominancia de gramíneas exóticas en los dos escenarios, probablemente es el resultado de la conjunción entre una introducción masiva de propágulos en un ambiente favorable (liberación de recursos con baja competencia interespecífica) y la expresión de los atributos vitales de las gramíneas (p. ej.: propagación vegetativa, densidad de raíces, alelopatía, tolerancia al ramoneo y al fuego), que limitaron las probabilidades de colonización y establecimiento de especies nativas, y puede interpretarse como una forma de operar el mecanismo de inhibición (Connell & Slatyer, 1977).

Igualmente, se observa en ambos escenarios, la existencia de matorrales abiertos de especies nativas en medio de los pastizales abandonados; evidencia de la capacidad de algunas especies de colonizar, modificar las condiciones de micrositio y establecerse en ambientes disturbados, lo que puede favorecer la colonización de otras especies con el tiempo (se observó una mayor diversidad en matorrales en comparación con pastizales densos), un ejemplo de cómo puede operar el mecanismo de facilitación (Connell & Slatyer, 1977).

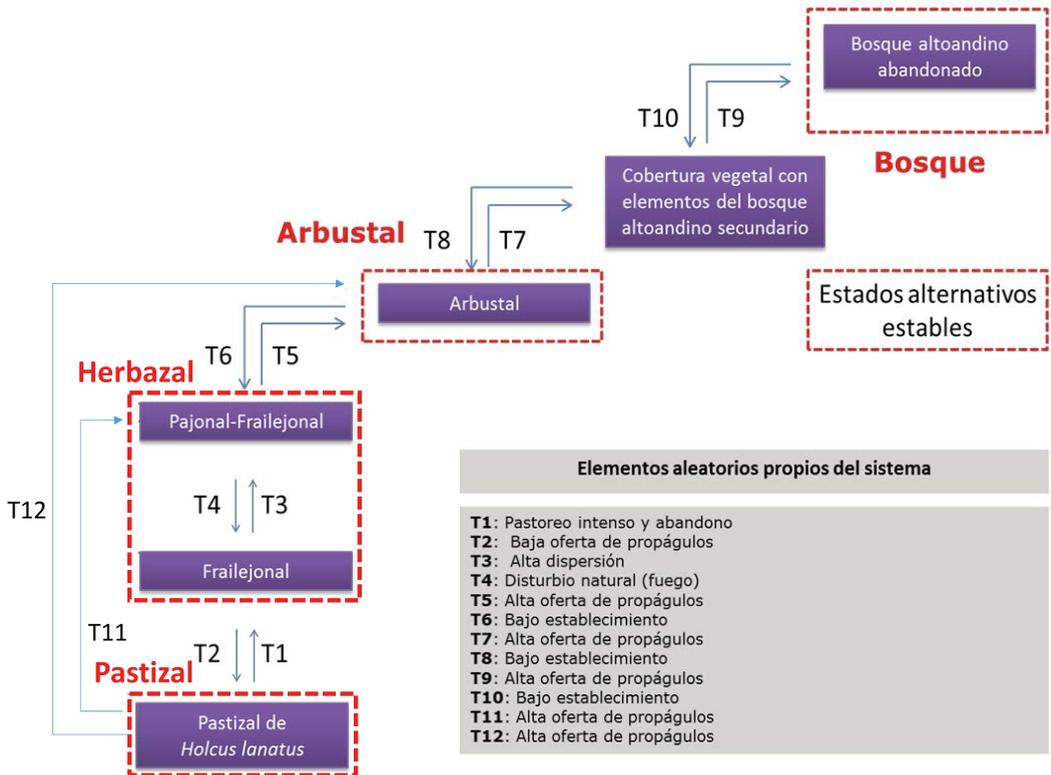
Finalmente, ha sido más complejo de interpretar a partir de las observaciones en campo, cómo operaría el tercer mecanismo propuesto por Connell & Slatyer (1977): la tolerancia, donde las especies pioneras logran colonizar y establecerse sin favorecer o limitar el reclutamiento y la probabilidad de crecimiento de las especies tardías. Esto quizás haya implicado, haber observado procesos de colonización y establecimiento de especies de la estructura arbórea de los bosques, predisturbio sobre los pastizales abandonados, lo que no fue evidente durante el tiempo de ejecución del proyecto.

Para avanzar en el ajuste al modelo conceptual a partir de las coberturas observadas en el área de influencia directa de cada localidad, la identificación de ecosistemas de referencia y referencias ecológicas, y la integración del conocimiento local, se hicieron los planteamientos iniciales de cómo las expresiones de diferentes comunidades vegetales, podrían

reflejar diversos estados del ecosistema degradado y las condiciones ambientales específicas para cada localidad; con ello, diseñar modelos de trayectoria ecológica (Temperton & Hobbs, 2004), para apoyar las predicciones sobre la respuesta del sistema con y sin intervención.

En Rabanal, el planteamiento partió de la premisa de que las áreas a restaurar comprendieron históricamente coberturas forestales del tipo bosque altoandino, que una vez deforestadas, transformadas en campos de cultivo y posteriormente, pastizales para la producción pecuaria, y

abandonadas, fueron colonizadas por especies propias del páramo y subpáramo (Fig. 1). La trayectoria inicia en los pastizales abandonados y se observan diversos tipos de ensamblajes, a saber: 1) Pastizal denso de *Holcus lanatus*; 2) Comunidades de frailejones; o 3) Pajonales-frailejones. Conforme la sucesión ecológica avanza en el tiempo, en función de la oferta de recursos y propágulos (u otros factores aleatorios), se observan arbustales abiertos y aquellos más próximos a los bordes de avance de los bosques, con algunas especies forestales. Al final de la trayectoria se encuentran los bosques relictuales y secundarios.



**Figura 1.** Modelo de trayectoria ecológica en área de influencia directa del DRMI Rabanal. Cada recuadro rojo en guion ejemplifica un estado alternativo estable dentro del cual se pueden observar diversos ensamblajes de especies y sus múltiples expresiones. Las trayectorias pueden avanzar y retornar en función de elementos aleatorios propios del sistema.

Esta misma aproximación conceptual, fue aplicada para la localidad Sabanalarga. Realizados los mismos estudios que en Rabanal, se planteó una interpretación inicial (Fig. 2) a manera de hipótesis y de cómo podrían apoyar las predicciones de trayectoria del sistema con y sin intervención.

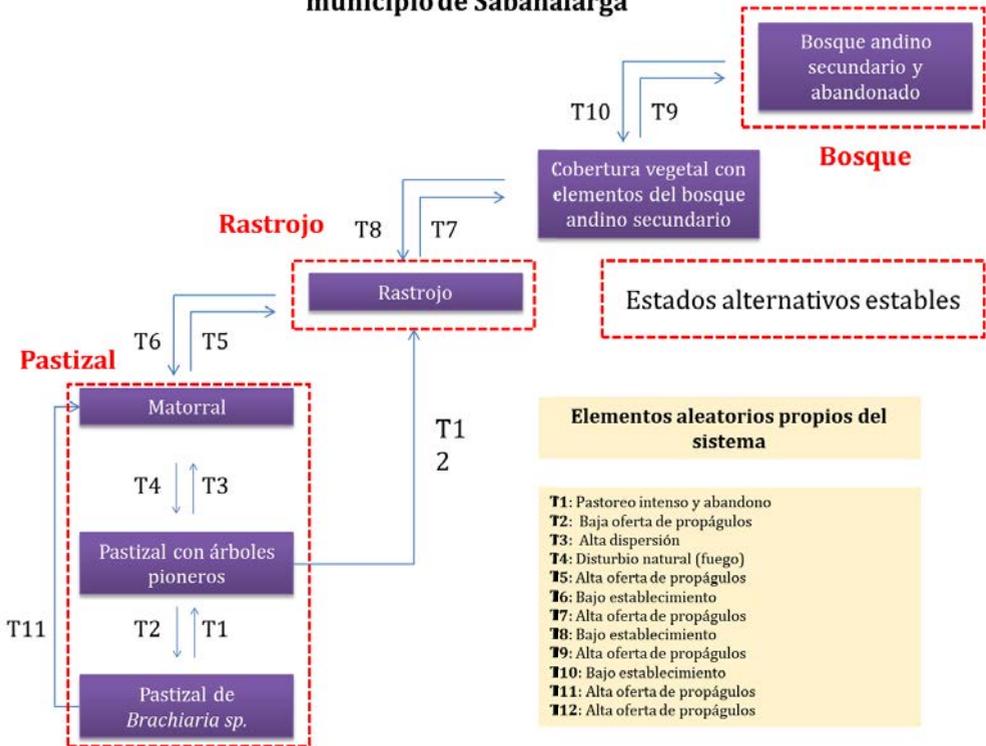
En campo, se observó y se confirmó con la comunidad local que, una vez transformados los bosques andinos en pastizales para la ganadería y abandonados, el pastizal evoluciona hacia un matorral abierto, conformado por diversas especies nativas de hábito arbustivo y subarbustivo y heliófilas, generalmente con altas tasas de renovación de biomasa aérea y dispersadas por el viento, para

posteriormente, arribar y colonizar especies de mayor porte y dispersadas por fauna.

En la Figura 2, la trayectoria ecológica parte del pastizal de *Brachiaria* sp. (u otras gramíneas exóticas) hacia alguno de los tres tipos de ensamblajes identificados, a saber: 1) Pastizales densos de *Brachiaria* sp. (u otras gramíneas exóticas); 2) Pastizales arbolados (especies

pioneras tipo *Vismia baccifera* (L.) Triana & Planch.); o 3) Matorrales abiertos de especies nativas (p. ej.: *Clidemia* sp. y *Miconia* sp.). Una vez establecidas las coberturas 2 o 3, y en función de la oferta de recursos y propágulos (u otros factores aleatorios), se visualizan coberturas más complejas en estructura y composición, del tipo rastrojo que empiezan a presentar especies forestales propias del bosque andino, aún lejano del bosque andino, ecosistema de referencia y cobertura final en la trayectoria propuesta.

### Modelo de trayectoria ecológica en áreas degradadas de la vereda Monserrate en el municipio de Sabanalarga



**Figura 2.** Modelo de trayectoria ecológica en área de influencia directa de Sabanalarga. Cada recuadro rojo en guion ejemplifica un estado alternativo estable dentro del cual se pueden observar diversos ensamblajes de especies y sus múltiples expresiones. Las trayectorias pueden avanzar y retornar en función de elementos aleatorios propios del sistema.

En las dos localidades (Rabanal y Sabanalarga), las áreas degradadas estuvieron dominadas por gramíneas exóticas, que condicionarían la sucesión ecológica al limitar el establecimiento de la vegetación nativa. Esta característica aunada al estado de conservación del entorno, el cual probablemente no ofertaba el pool de especies nativas de las comunidades vegetales previo régimen temprano de disturbios antropogénicos (< 50 años de uso), es lo que conlleva a la necesidad de restauración. Para ambos casos, sería la aproximación conceptual desde la regeneración

natural asistida, la que podría favorecer el arribo y establecimiento de especies nativas pioneras (mecanismo de facilitación, *sensu* Connell & Slatyer, 1977) y así contrarrestar los filtros ecológicos que no permiten el establecimiento de las especies en las diferentes comunidades (Hobbs & Norton, 2004).

Finalmente, en consecuencia con lo expresado por MADS (2015), sobre la necesidad de abordar la restauración desde bases experimentales, y debido a la existencia de

incertidumbre inherente a la restauración, se adoptaron los principios del manejo adaptable (Tom, 2000 en MADS, 2015), los cuales integraron la generación de conocimiento científico, la valoración del conocimiento local y el monitoreo para soportar la toma de decisiones ante posibles adaptaciones a las técnicas de restauración.

## **La comprensión del disturbio como herramienta para el abordaje de la restauración**

Los disturbios comprenden todas las afectaciones discretas en el tiempo que modifican los atributos de la biodiversidad en un ecosistema, con consecuencias en la oferta de recursos, la condición del sustrato o el medio físico (Pickett & White, 1985; Sousa, 1984); entendida como la alteración de las condiciones ambientales y bióticas, limitando las dinámicas de regeneración natural.

El régimen de disturbio hace parte de los roles y procesos que, en un ecosistema, surgen de las interacciones entre lo biótico y lo abiótico (McDonald et al., 2016); la sucesión ecológica es la respuesta a su dinámica espacio-temporal, y su estudio genera el conocimiento para interpretar la historia de uso del territorio e identificar preliminarmente alternativas para su recuperación.

Conocer la historia y espacialización de los disturbios en un socioecosistema, genera información sobre los cambios en sus diferentes compartimentos, el nivel de degradación y su capacidad de resiliencia, aspectos fundamentales para diseñar la restauración.

## **La restauración ecológica: acciones concretas para avanzar en la recuperación de ecosistemas**

La restauración ecológica es considerada como una estrategia de carácter interdisciplinario que articula el conocimiento científico, las ciencias sociales y económicas, con el conocimiento local, para abordar la gestión y manejo de los ecosistemas (Hobbs & Harris, 2001). Para Aronson et al. (2006) esta comprende acciones tendientes al beneficio humano en procura de restablecer los ecosistemas y la sociedad misma, y de esta manera, integrar conservación y sociedad (Fig. 3).



**Figura 3.** La restauración ecológica permite a la sociedad humana acercarse a su propia naturaleza y al medio natural en busca de conectores para encontrar un equilibrio ecológico.

El propósito de la restauración ecológica es, como la misma palabra lo describe: "*restablecer todos o algunos de los componentes principales de los ecosistemas degradados, dañados o destruidos*" (SER, 2004), en el cual existen diversas maneras de clasificar sus líneas de acción, en función del alcance de sus metas, por ejemplo: restaurar, rehabilitar y recuperar (Hobbs & Harris, 2001; SER, 2004; Holl & Aide, 2011). A continuación, se describen (*sensu* MADS, 2015):

- **Restauración Ecológica (*ecological restoration*):** acciones para restablecer los atributos del ecosistema degradado a una condición semejante previa al disturbio.
- **Rehabilitación (*rehabilitation*):** acciones orientadas a recuperar parcialmente los atributos del ecosistema degradado, con el enfoque en su capacidad productiva y los servicios que ofertaba previo al disturbio.
- **Recuperación (*reclamation*):** acciones dirigidas a recuperar fundamentalmente servicios ecosistémicos de interés social en ecosistemas con baja probabilidad de recuperar su integridad ecológica, sin llegar a ser autosostenibles o alcanzar condiciones predisturbio.

La decisión de adelantar una u otra línea de acción, dependerá del potencial de restauración del ecosistema, el interés particular de quienes orientan el proceso y los recursos disponibles, entre otros.

La restauración ecológica integra ciencia y sociedad (economía, cultura y política) (Prado-Castillo, 2012; Sánchez et al., 2005; Figueroa & Aronson, 2006), para que, desde un enfoque multidisciplinario (Burke & Mitchell, 2007; Gross, 2007; Aronson et al., 2006), se diseñen y ejecuten estrategias participativas de largo alcance que garanticen el éxito de cualquier iniciativa en relación a la restauración de socioecosistemas.

## **La nucleación como un tipo de plantación que optimiza los recursos disponibles**

El establecimiento de especies nativas en áreas degradadas mediante la plantación, es una técnica de uso frecuente en la restauración para activar la sucesión ecológica y la recuperación de la cubierta vegetal. De acuerdo con Corbin & Holl (2012), la nucleación es la plantación -en pequeñas unidades espaciales- de especies nativas que funcionan como sitios focales, que, según Tres & Reis (2007) facilitan los flujos biológicos desde los fragmentos hacia las áreas en restauración y de estas hacia el paisaje, aspectos en los que:

- a) Se incrementa la riqueza y se modifican las condiciones ambientales de micrositio que previamente condicionaban la germinación y el establecimiento de nuevos propágulos (Bertness & Callaway, 1994; Castro et al., 2004; Vieira et al., 2009; Díaz-Peláez & Polanía, 2017).
- b) Se establecen nuevas especies de plantas, se forman microhábitats y se favorece el arribo de fauna (Yarranton & Morrison, 1974);
- c) Se incrementa la zoocoria, la acumulación de materia orgánica y de nutrientes en el suelo (Montagnini & Piotto, 2011), y
- d) Se reduce el estrés ambiental y se impulsa el desarrollo del banco de plántulas (Castro et al., 2004).

Para Reis et al. (2010), la nucleación implica incorporar elementos biológicos como "abióticos" que generen en las comunidades degradadas nuevas poblaciones, mediante mecanismos como la facilitación y la generación de nichos de colonización. En el contexto del proyecto, la nucleación que se hizo a través de la plantación de especies nativas (Fig. 4).



**Figura 4.** Algunas de las etapas para desarrollar la plantación en núcleos: **A.** Propagación; **B.** Transporte a sitio; **C.** Control de gramíneas exóticas; **D.** Plantación.

***Banco de semillas germinable: el inicio de la regeneración natural***

El banco de semillas germinable son todas las semillas presentes en el suelo, determina el inicio de la sucesión (Brokaw, 1986; Simpson et al., 1989) y da la estructura a la comunidad vegetal (Guevara et al., 2005; Montenegro et al., 2006; López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011; Török et al., 2017, 2018).

La composición y abundancia del banco de semillas es la responsable de la permanencia de las especies y sus poblaciones en las comunidades y ecosistemas; por tanto, de su capacidad de regeneración natural (Luzuriaga et al., 2005; López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011; Luo et al., 2017) (Fig. 5).



**Figura 5.** Procesos de aireación, limpieza y secado de muestras de suelo para el estudio del banco de semillas germinable.

El banco de semillas puede exhibir cambios ocasionados por el régimen de disturbio; su expresión está limitada por factores tales como: condiciones microambientales, depredación, modificaciones en las características fisicoquímicas del suelo y presencia de especies exóticas (Holl, 1999; Bossuyt & Hermy, 2003; Hooper et al., 2005; Zamora & Montagnini, 2007; López-Toledo & Martínez-Ramos, 2011). El proyecto estudió el banco de semillas para ampliar el conocimiento ecológico del sistema, ajustar las trayectorias ecológicas y los diseños de la nucleación.

# BIBLIOGRAFÍA

- [MADS] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá, Colombia.
- [SER] Society for Ecological Restoration International Science Y Policy Working Group, 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Aronson, J., Blignaut, J.N., Milton, S.J. & Clewell, A.F. 2006. Natural capital: the limiting factor. *Ecological Engineering*, 28: 1-5.
- Bertness, M.D. & Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 191-193.
- Bossuyt, B. & Hermy, M. 2003. The potential of soil seedbanks in the ecological restoration of grassland and heathland communities. *Belg. Journ. Bot.*, 136(1): 23-34.
- Brokaw, N.V. 1986. Seed dispersal, gap colonization, and the case of *Cecropia insignis*. En: *Frugivores and seed dispersal*. Estrada, A. & Fleming (eds.), T. H. Panamá, 24: 323-331.
- Burke, S.M. & Mitchell, N. 2007. People as ecological participants in ecological restoration. *Restoration Ecology*, 15: 348-350.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M. & Gómez, L. 2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4 years study. *Restoration Ecology*, 12(3): 352-358.
- Connell, J.H. & Slatyer, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist*, 111: 1119-1144.
- Corbin, J.D. & Holl, K.D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265: 37-46.
- Díaz-Peláez, M. & Polanía, J. 2017. Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana*, 18: 60-69.
- Figueroa, B.E. & Aronson, J., 2006. New linkages for protected areas: making them worth conserving and restoring. *J. Nat. Conserv.*, 14: 225-232.
- Gross, M. 2007. Restoration and the origins of ecology. *Restoration ecology*, 15(3): 375-376.
- Guevara, S., Moreno-Casasola, P. & Sánchez-Ríos, G. 2005. Soil seed banks in the tropical agricultural fields of Los Tuxtlas, Mexico. *Tropical Ecology*, 46(2): 219-227.
- Hobbs, R.J. & Harris, J.A. 2001. Restoration ecology: Repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9: 239-246.
- Hobbs, R.J. & Norton, D.A. 2004. Ecological filters, thresholds and gradients in resistance to ecosystem reassembly. In: *Temperton, V.M., Hobbs, R.J., Nuttle, T.J. & Halle, S. (Eds.). Assembly rules and restoration ecology - Bridging the gap between theory and practice*, Island Press, Washington, D.C. Pp: 72-95.

- Holl, K. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed migration, microclimate and soil. *Biotropica*, 31: 229-242.
- Holl, K.D. & Aide, T.M. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261: 1588-1563.
- Hooper, E., Legendre, P. & Condit, R. 2005. Barriers to forest regeneration of deforested and abandoned land in Panama. *Journal of Applied Ecology*, 42: 1165-1174.
- López-Toledo, L. & Martínez-Ramos, M. 2011. The soil seed bank in abandoned tropical pastures: source of regeneration or invasion? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 663-678.
- Luo, X., Cao, M., Zhang, M., Song, X., Li, J., Nakamura, A. & Kitching, R. 2017. Soil seed banks along elevational gradients in tropical, subtropical and subalpine forests in Yunnan Province, southwest China. *Plant Diversity*, 39: 273-286.
- Luzuriaga, A.L., Escudero, A., Olano, J.M. & Loidi, J. 2005. Regenerative role of seed banks following an intense soil disturbance. *Acta Oecologica*, 27: 57-66.
- McDonald, T., Jonson, J. & Dixon, K.W. 2016. National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology*, 24: S6-S32.
- Montagnini, F. & Piotta, D. 2011. Mixed plantations of native trees on abandoned pastures: restoring productivity, ecosystem properties, and services on a humid Tropical site. En: M. Weber, *Silviculture in Tropics*, p. 501-511. Berlin: Springer.
- Montenegro, A., Ávila-Parra, Y., Mendivelso, H.A. & Vargas, O. 2006. Potencial del banco de semillas en la regeneración de la vegetación del Humedal Jaboque, Bogotá, Colombia. *Caldasia*, 28(2): 285-306.
- Pickett, S.T.A. & White, P.S. 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press. San Diego, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo and Toronto.: 3-124.
- Pickett, S.T.A., Collins, S.L & Armesto, J.J. 1987. Models, mechanisms and pathway of succession. *The Bot. Rev.*, 53(3): 335-371.
- 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.
- Reis, A., Campanha, B., F. & Regina-Tres, D. 2010. Nucleation in tropical ecological restoration. *Sci. Agric.*, 244-250.
- Sánchez, O., Peters, E., Márquez, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (editores). 2005. *Temas sobre restauración ecológica*. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat).
- Simpson, R.L., Leck, M.A. & Parker, V.T. 1989. Seed banks: General concepts and methodological issues. En: *Ecology of soil seed banks*. Academic Press, London, 3-8 p.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecological Systematics*, 15: 353-391.
- Temperton, V.M. & Hobbs, R. 2004. The search for ecological assembly rules and its relevance to restoration ecology. *Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice*: 34-54.

- Török, P., Helm, A., Kiehl, K., Buisson, E., & Valkó, O. 2018. Beyond the species pool: modification of species dispersal, establishment, and assembly by habitat restoration. *Restoration ecology*, 26: S65–S72.
- Török, P., Kelemen, A., Valkó, O., Migléc, T., Tóth, K., Tóth, E., Sonkoly, J., Kiss R., Csecserits, A., Rédei, T., Deák, B., Szucs, P., Varga, N. & Tóthmérés, B. 2017. Succession in soil seed banks and its implications for restoration of calcareous sand grasslands. *Restoration Ecology*, 26: 1–7.
- Tres, D. R. & Reis, A. 2007. La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje. In *II Simposio Internacional sobre restauración ecológica*.
- van Andel, J. & Aronson, J. 2012. *Restoration ecology: the new frontier*. 2nd edition. Wiley Blackwell, Oxford.
- van der Maarel, E. 1988. Floristic diversity and guild structure in the grasslands of Öland's Stara Alvar. *Acta Phytogeogr. Suec.*, 76: 53–65.
- Vieira, D., Holl, K. & Peneireiro, F. 2009. Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. *Restoration Ecology*, 17(4): 451–459.
- Yarranton, G.A. & Morrison, R.G. 1974. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology*, 62(2): 417–428.
- Zamora, C. & Montagnini, F. 2007. Seed rain and seed dispersal agents in pure and mixed plantations of native trees and abandoned pastures at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Restoration Ecology*, 15(3): 453–461.







# CAPÍTULO 2

# ABORDAJE METODOLÓGICO PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS ANDINOS



**Luis Fernando Prado-Castillo<sup>1,2</sup>, David A. Luna-Sarmiento<sup>3</sup>, Alexander Sabogal-González<sup>3</sup>, Pablo Andrés Gil-Leguizamón<sup>2</sup>, Jeison Adrián Olaya-Angarita<sup>2</sup>, David Ricardo Hernández-Velandia<sup>1,2</sup>, William Javier Bravo-Pedraza<sup>2</sup>, Nohora Alba Camargo-Espitia<sup>2</sup>, Wilderson Medina<sup>2</sup>, Javier Andrés Muñoz-Avila<sup>1,2</sup>, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco<sup>2</sup>, Oscar Felipe Moreno-Mancilla<sup>2</sup>, Andrés Felipe Morales-Alba<sup>1,2</sup>, John Edison Reyes Camargo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

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

<sup>3</sup>Centro de Investigación en Acarología SAS.

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

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

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

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

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

# ¿CÓMO SE ABORDÓ LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA?

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

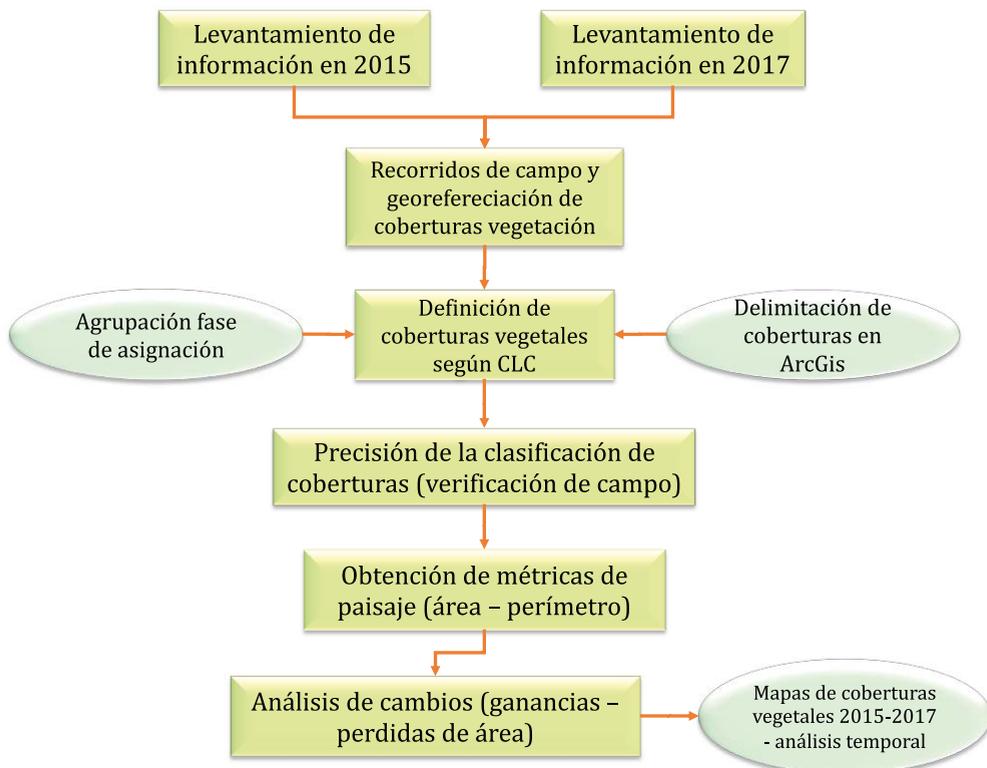
## 1.1 Análisis temporal de las coberturas vegetales

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

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

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

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



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

**Información histórica del área a restaurar y áreas de influencia:**

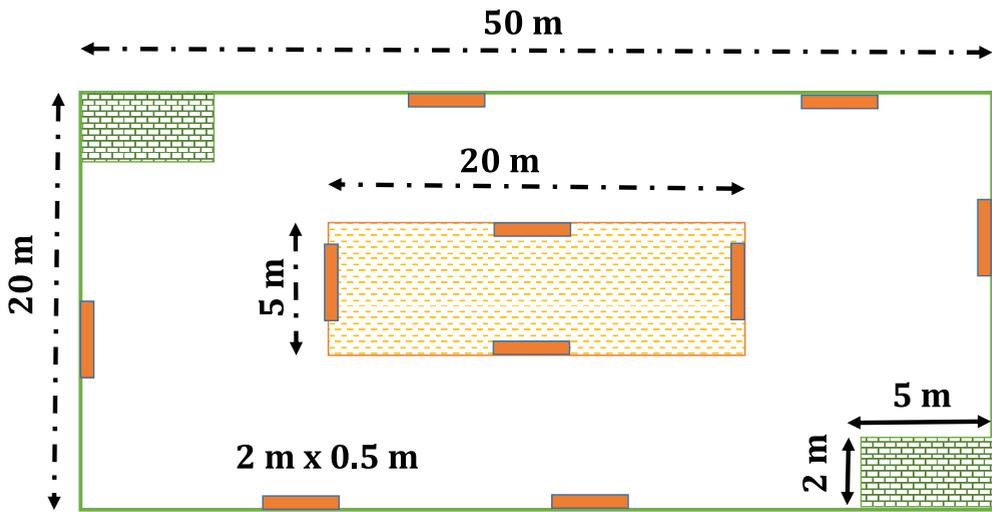
como información transversal al desarrollo espacial, se recopiló información de uso del suelo en tiempos pasados; para ello, se indagó con la comunidad sobre el uso y los cambios que han dado a la zona de amortiguación y área de

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

## 1.2 ¿Cómo se analizó el componente vegetación?

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

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



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

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

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

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

## 1.3 ¿Cómo se abordó el componente de fauna?

### Entomofauna (Coleoptera, Hymenoptera y Lepidoptera)

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

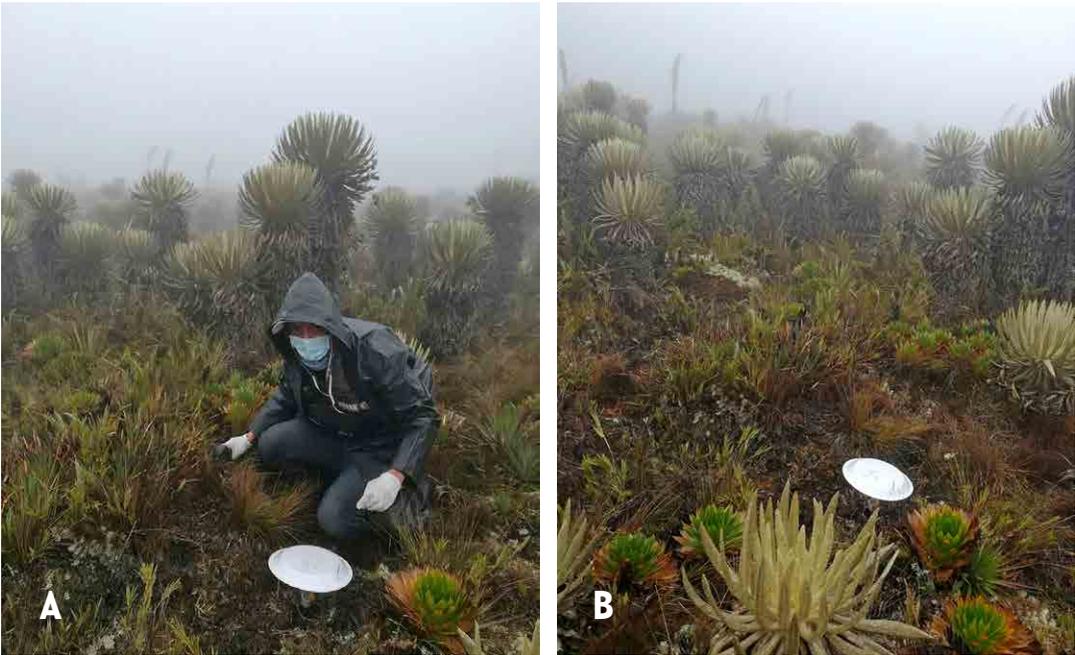
Para el muestreo de los grupos de interés, en cada cobertura de las dos zonas de estudio, se realizó un transecto de 300 m (en mariposas, fueron transectos de 100 m), que estaba dividido en 10 estaciones separadas entre sí cada 30 m. En cada estación se aplicaron métodos de muestreo específicos para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

#### Escarabajos coprófagos

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

#### Hormigas

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



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

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

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

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



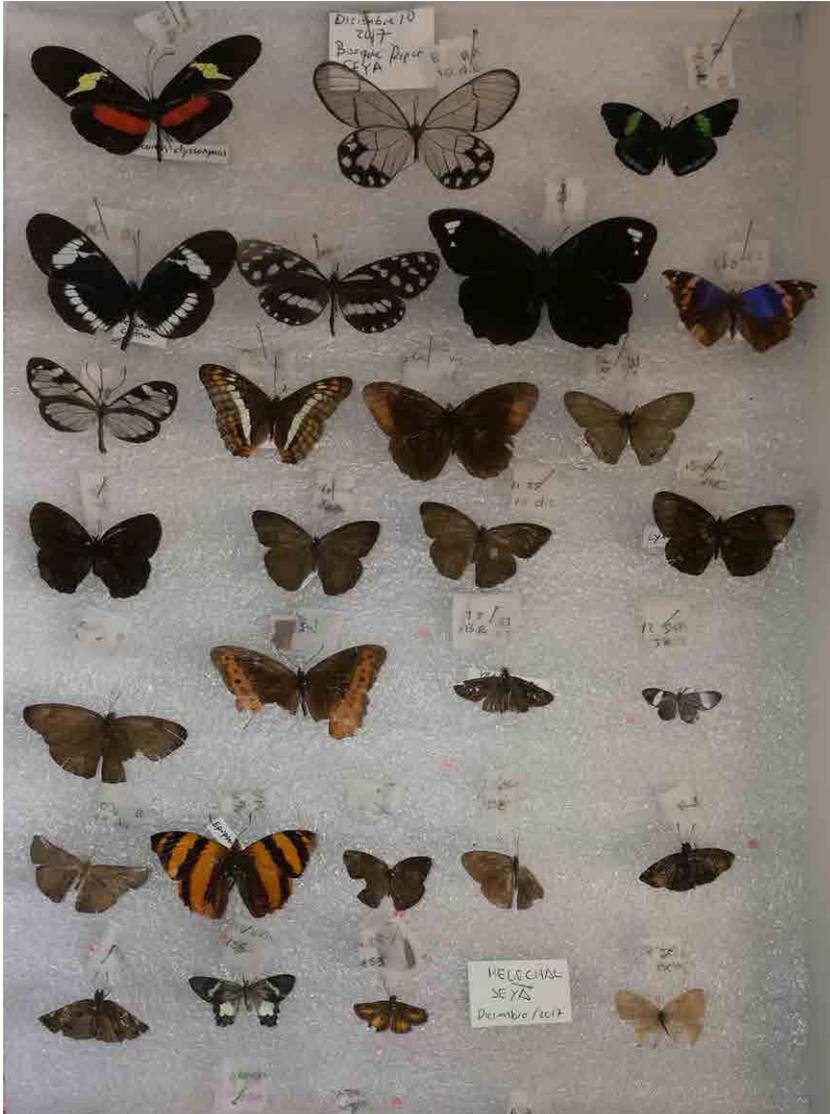
**Figura 5.** Metodologías para captura de mariposas. **A.** Montaje de trampas van Someren-Rydon; **B.** Captura de mariposas por medio de jameo.



**Figura 6.** Colección de referencia de escarabajos coprófagos.

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

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



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

## Herpetofauna

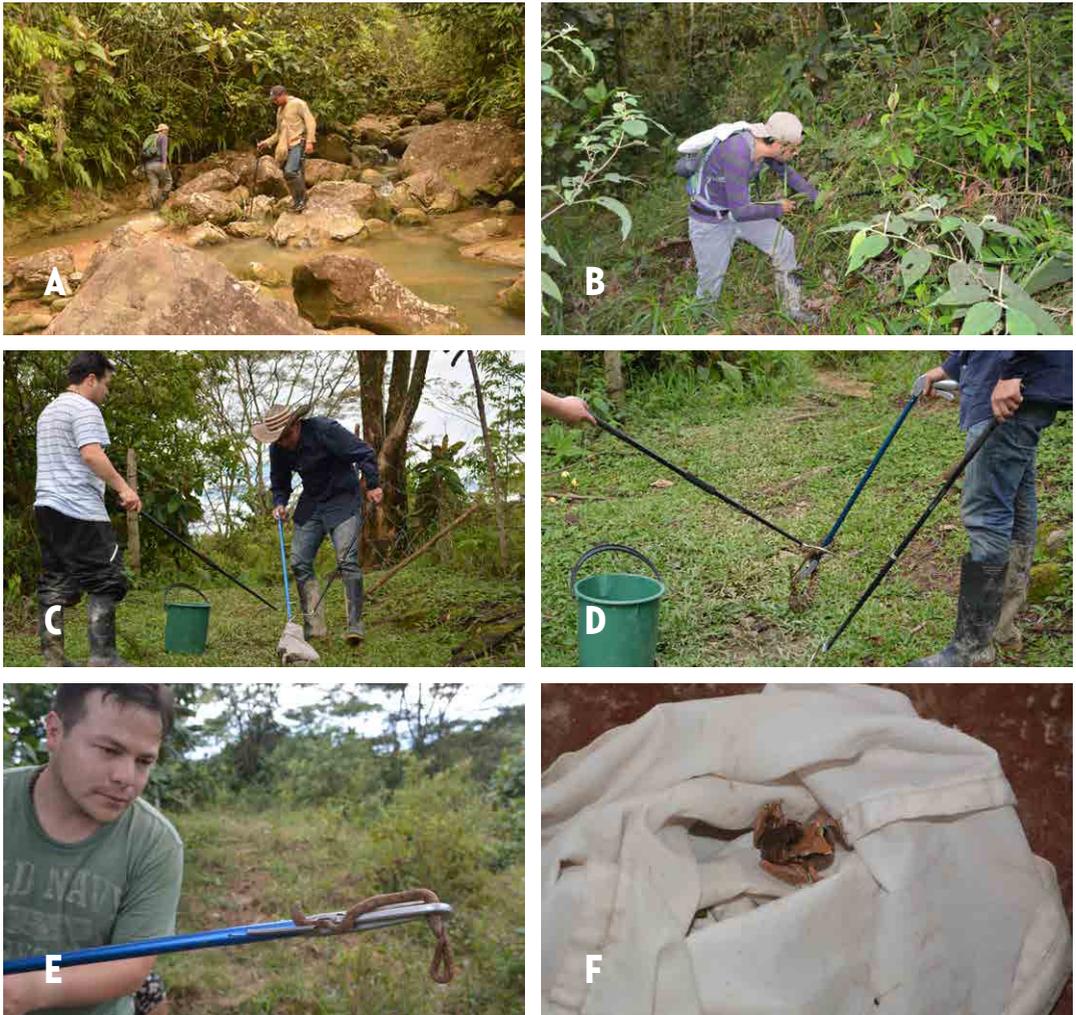
El rango de distribución de anfibios y reptiles es relativamente pequeño, lo cual hace que sean cada vez más dependientes a las condiciones medioambientales locales y más propensos a la extinción local después del disturbio, en comparación con aves y mamíferos (Ríos & Aide, 2007). Estas características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

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



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

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



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

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

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

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

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

## **Avifauna**

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

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

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

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

## **Mamíferos**

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

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

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

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

## 1.4 ¿Cómo se analizó el componente suelo?

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



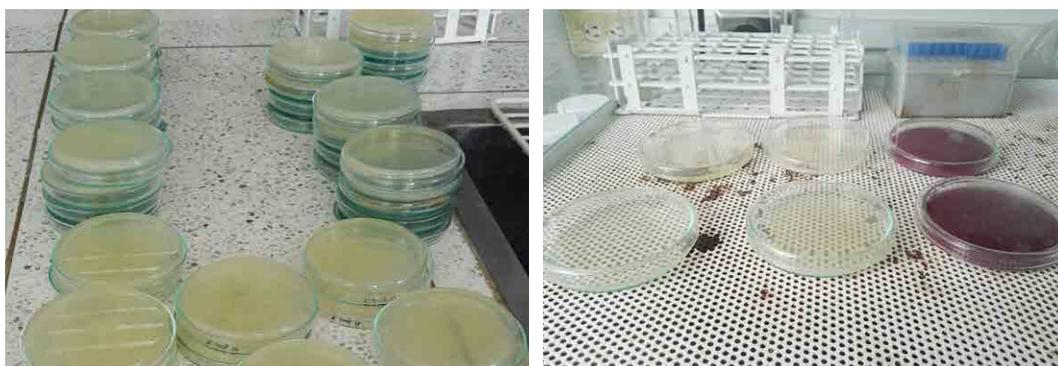
**Figura 10.** Toma de muestras de suelos en Sabanalarga. **A-B.** Uso del barreno en diferentes coberturas; **C-D.** Toma de muestra de suelo; **E-F.** Medición de la profundidad de la muestra.

### • **Parámetros fisicoquímicos**

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

- **Parámetros microbiológicos**

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



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

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

- **Hongos filamentosos**

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

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

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

### 2.1 Definición de la zonificación para la restauración

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

### 2.2 Metas a corto, mediano y largo plazo

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

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

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

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

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

## 2.4 Técnicas de viverismo

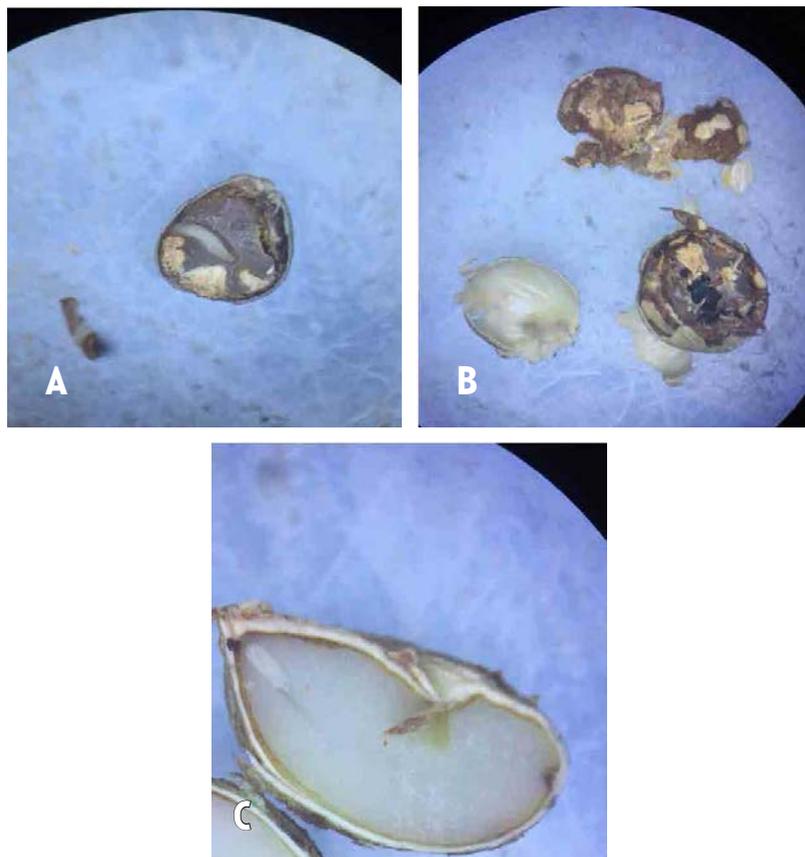
- **Propagación y manejo de las especies:** a partir de la selección de las especies, se inició el proceso de propagación en vivero, considerado como una técnica que determina la capacidad de las plantas para reproducirse por semilla (sexual) o vegetativa (asexual), mediante células, tejidos y órganos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

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



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

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



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

## 2.5 El vivero

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



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

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

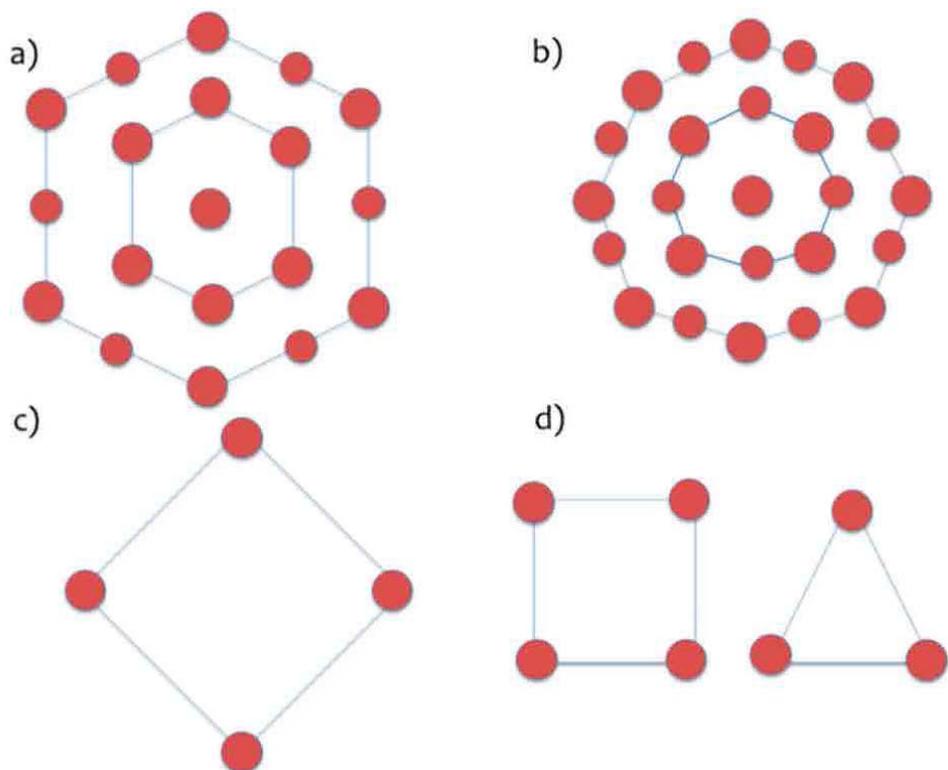
- 1) Caracterización de la vegetación existente, que permitió evaluar riqueza, abundancia y oferta de semillas (línea base);
- 2) Determinación de los períodos de floración y fructificación para evaluar en qué épocas del año había disponibilidad de semillas;
- 3) Establecimiento de tratamientos pre-germinativos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

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

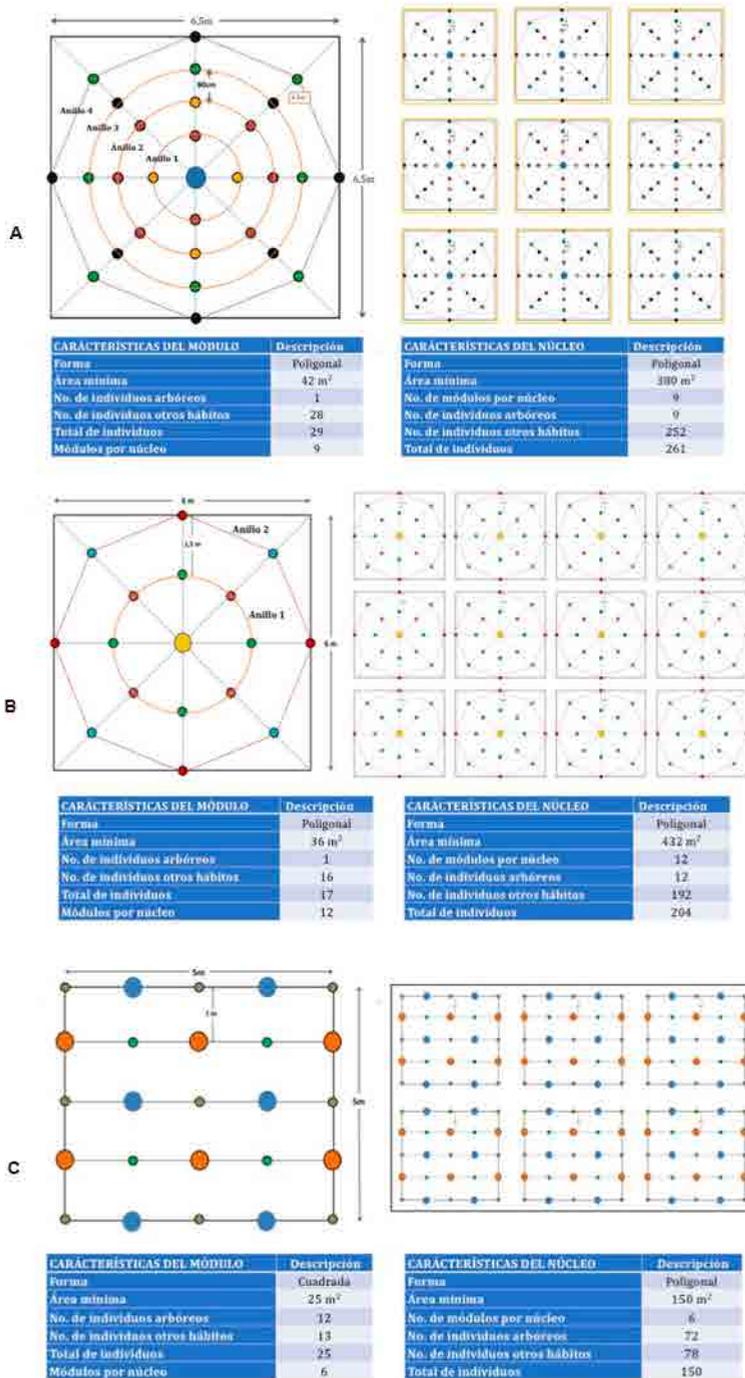
## **2.6 Diseño e implementación de acciones de la restauración**

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

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



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



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

### 3. FASE III. MONITOREO AL PROCESO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

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

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

### 4. FASE IV. PROCESO PARTICIPATIVO LOCAL

#### ¿Cuál fue la estrategia de participación comunitaria?

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

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

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

## BIBLIOGRAFÍA

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

- Castellanos-Castro, C. & Bonilla, M.A. 2011. Grupos funcionales de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance de un bosque altoandino. *Acta Biológica Colombiana*, 16(1): 153-174.
- Chao, A. & Chiu, C.H. 2016. Species richness: estimation and comparison. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1-26.
- Chao A, Gotelli, N.J., Hsieh, T.C. Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. & Ellison, A.M. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol Monogr.*, 84(1): 45-67.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A., Gómez, J.M. & Gómez, L. 2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4 years study. *Restoration Ecology*, 12(3): 352-358.
- Cisneros, R.L. 2011. La restauración ecológica como una construcción social. Pág. 41-49. En: Vargas, O. & Reyes, S. (eds.). *La restauración ecológica en la práctica: memorias I congreso colombiano de restauración ecológica & II simposio nacional de experiencias en restauración ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia. Pág. 633.
- Corbin, J.D. & Holl, K.D. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265: 37-46.
- Crump, M.L. & Scott, N.J. 1994. Visual encounter Surveys. En: Heyer, W.M., Donnelly, A., McDiarmid, R.A., Hayec, L C. & Foster, M.C. (Eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard method for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 364 p.
- Davies, R., Di Sacco, A. & Newton, R. 2015. Germination testing: procedures and evaluation. Technical Information Sheet\_13<sup>a</sup>. Millennium Seed Bank Partnership, Wakehurst Place, Ardingly, West Sussex RH17 6TN, UK.
- Davy, A.J. 2002. Establishment and manipulation of plant populations and communities in terrestrial systems. In: Perrow, M.R. & Davy, A.J. (Eds.). *Handbook of ecological restoration*. Cambridge University. I: 223-241 pp.
- Díaz-Peláez, M. & Polanía, J. 2017. Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana*, 18: 60-69.
- Figueroa, J.A. & Castro, S.A. 2002. Effects of bird ingestion on seed germination of four woody species of the temperate rainforest of Chiloé Island, Chile. *Plant Ecology*, 160: 17-23.
- Fonseca, C.R. & Ganade, G. 2001. Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 89(1): 118-125.
- Fuentes, B.A. 2011. Estrategias de restauración ecológica participativa del sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia – 2009. Pág. 403-417. En: Vargas, O. & Reyes, S. (eds.) *La restauración ecológica en la práctica: memorias I congreso colombiano de restauración ecológica & II simposio nacional de experiencias en restauración ecológica*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C., Colombia. Pág 633.
- Ehrenfeld, J.G. 2000. Defining the limits of restoration: The need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8(1): 2-9.
- Evangelista, V., López, J., Caballero, J. & Martínez, M. 2010. Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la Sierra Norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 72:23-38.

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

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

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







# CAPÍTULO 3

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



**Pablo Andrés Gil-Leguizamón<sup>1</sup>, Diana Patricia Caro-Melgarejo<sup>1-2</sup>, William Javier Bravo-Pedraza<sup>1</sup>, Rafael Alejandro Solano<sup>3</sup>, Nohora Alba Camargo-Espitia<sup>1</sup>, Oscar Felipe Moreno-Mancilla<sup>1</sup>, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco<sup>1</sup>, Javier Andrés Muñoz-Avila<sup>1-2</sup>, Andrés Felipe Morales-Alba<sup>1-2</sup>, John Edison Reyes Camargo<sup>1</sup>, David Ricardo Hernández-Velandia<sup>1-2</sup>, Wilderson Medina<sup>1</sup>, Clodomiro Gil Reina<sup>4</sup>, Ramiro Jerez Cárdenas<sup>4</sup>, Eduardo Moreno Rodríguez<sup>4</sup>, Luis Fernando Prado-Castillo<sup>1-2</sup>**

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

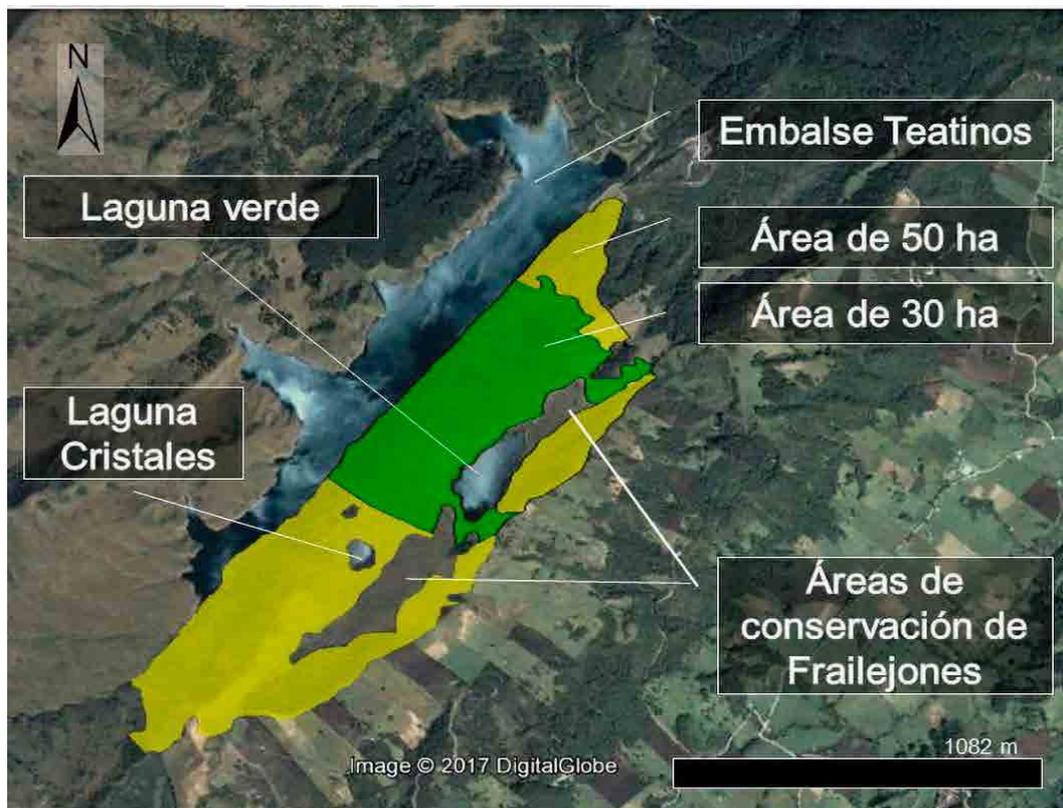
<sup>2</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

<sup>3</sup>Independiente

<sup>4</sup>Viverista y apoyo en actividades de campo.

# ÁREA DE ESTUDIO

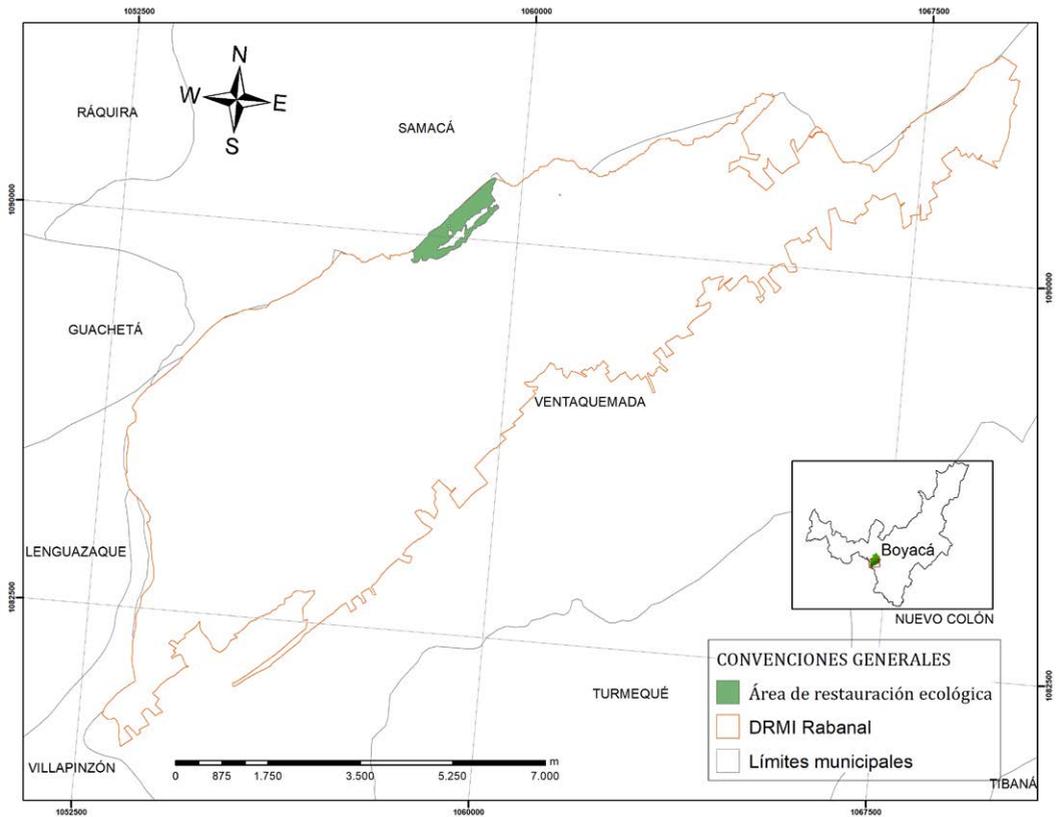
El macizo de Rabanal se encuentra ubicado en el sector central de la Cordillera Oriental, dentro de las coordenadas 05°24'35,7"N y 73°36'33,0"W; ocupa un área aproximada de 17567 ha, distribuidas entre los 3200–3585 m, y comprende una variedad de ecosistemas de páramo, humedales, embalses, praderas, 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*.

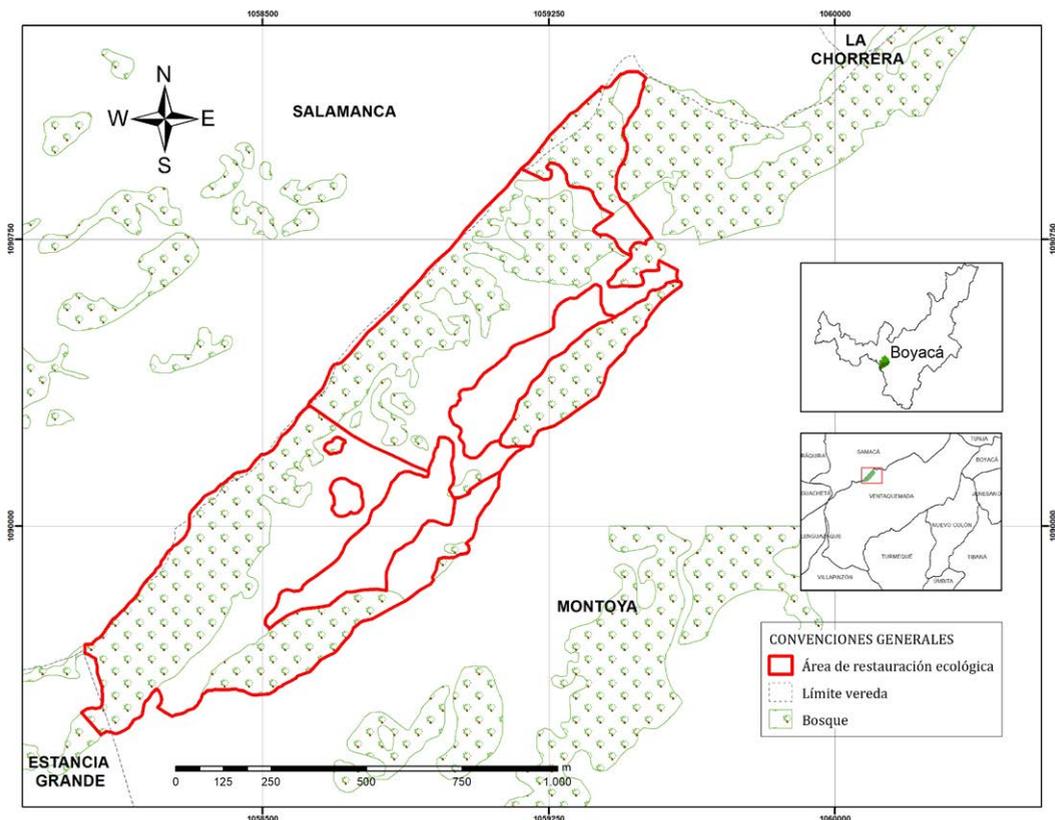
En el Páramo de Rabanal existen diferentes categorías de conservación, entre ellas: el Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Rabanal, constituido en el año 2011, comprende una extensión aproximada de 6639,4 ha en jurisdicción de CORPOCHIVOR y en ella se permiten —entre otras actividades— la restauración

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 hídricas 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).

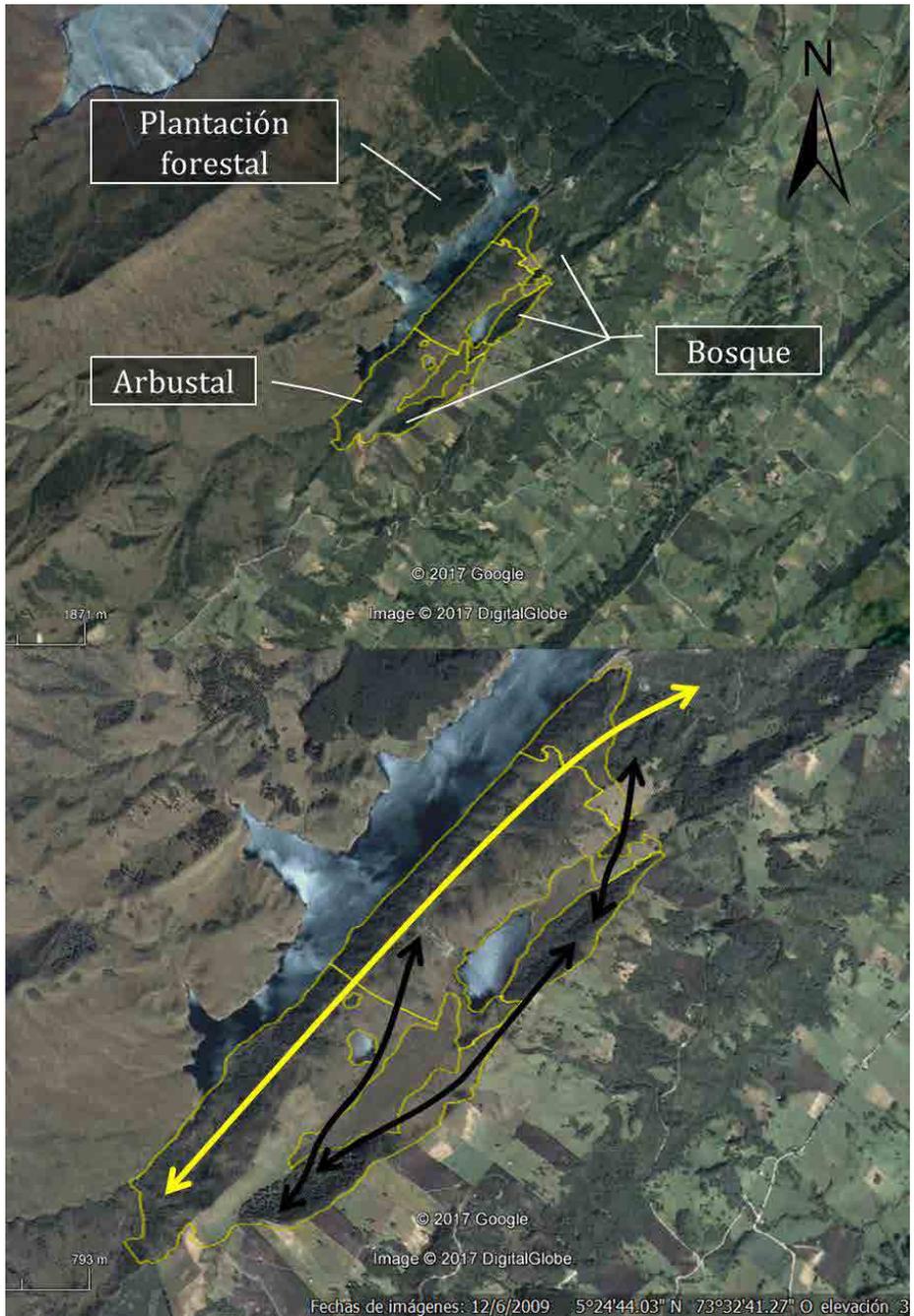
Dos de estas coberturas son los principales potenciadores para la restauración, los cuales corresponden a dos fragmentos de bosque altoandino, y procesos de colonización de especies pioneras del tipo arbustivo. Estas coberturas reflejan la presencia de una importante biodiversidad en todos los grupos 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.

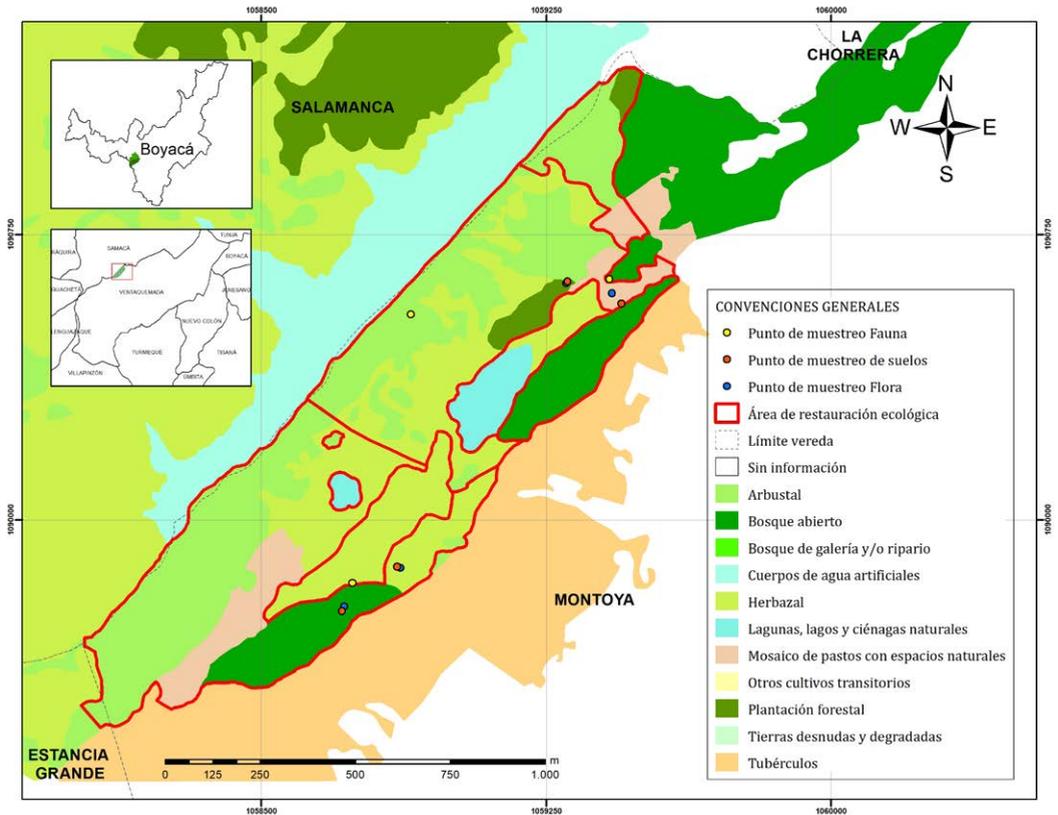
El análisis de la información posibilita identificar una serie de "situaciones de manejo", que enfrentan o enfrentarán los tomadores de decisiones, sobre el alcance a mediano y largo plazo, de los objetivos de la restauración ecológica y, por tanto, fundamentales para el proceso de planeación estratégica,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

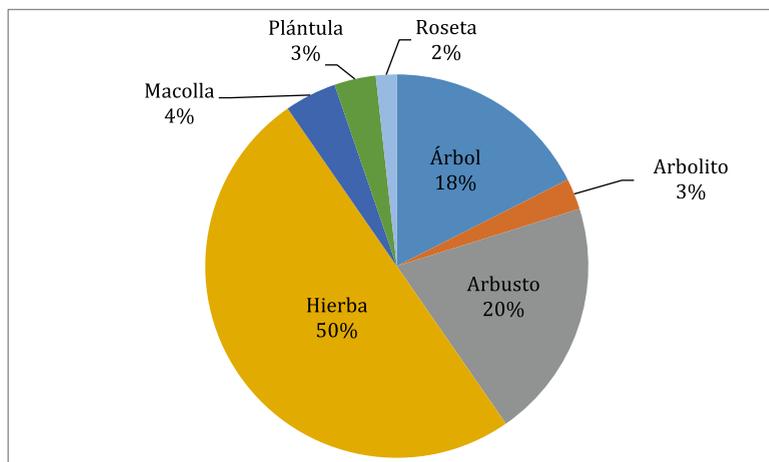
firme), pajonal-frailejónal (herbazal), arbustal y potreros (mosaico de pastos con espacios naturales); en estas comunidades vegetales la riqueza florística está conformada por 83 especies, distribuidas en 67 géneros y 38 familias (Fig. 6).



**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.

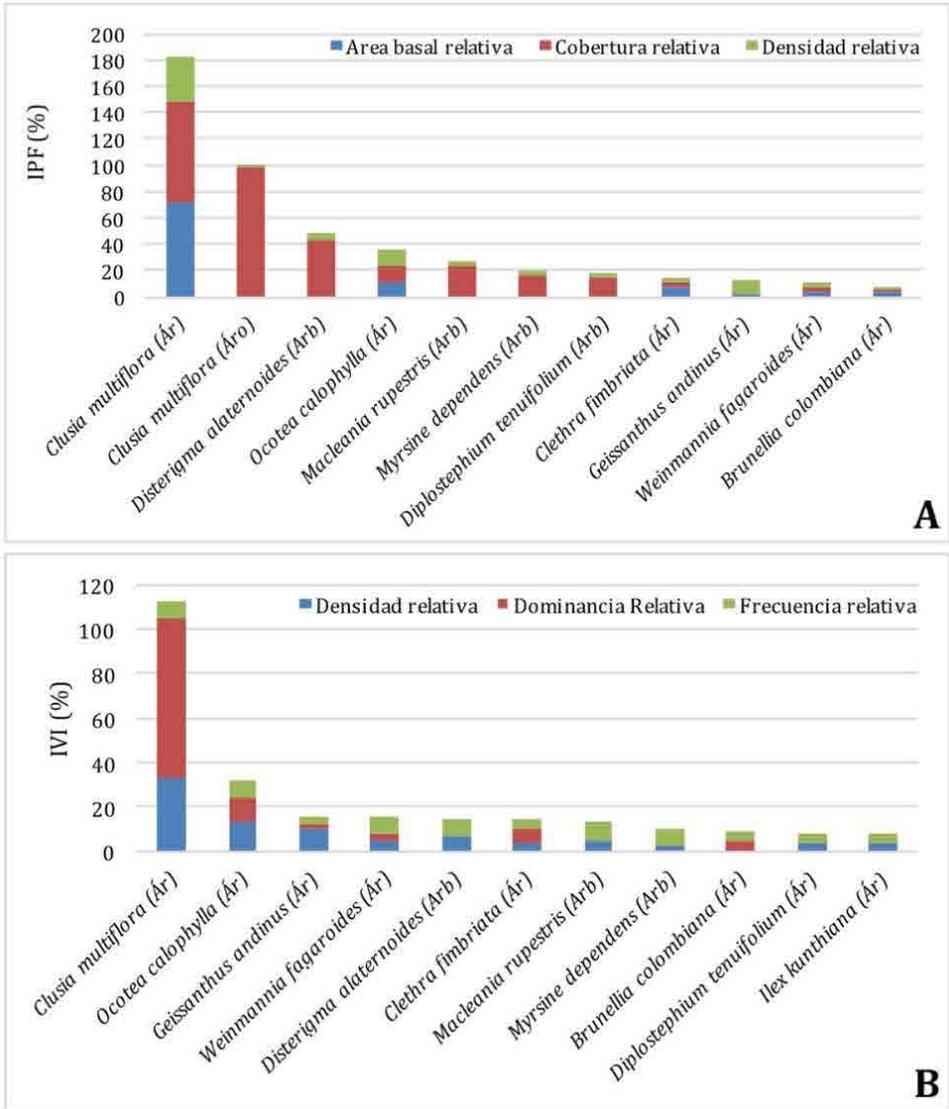
En esta comunidad vegetal se identificaron 25 especies distribuidas en 24 géneros y 18 familias. Las familias con mayor número de géneros y especies son: Ericaceae (3/3), Asteraceae, Melastomataceae, Polypodiaceae y Myrsinaceae (2/2) y Cunoniaceae (1/2). Las seis familias con mayor riqueza representan 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*).



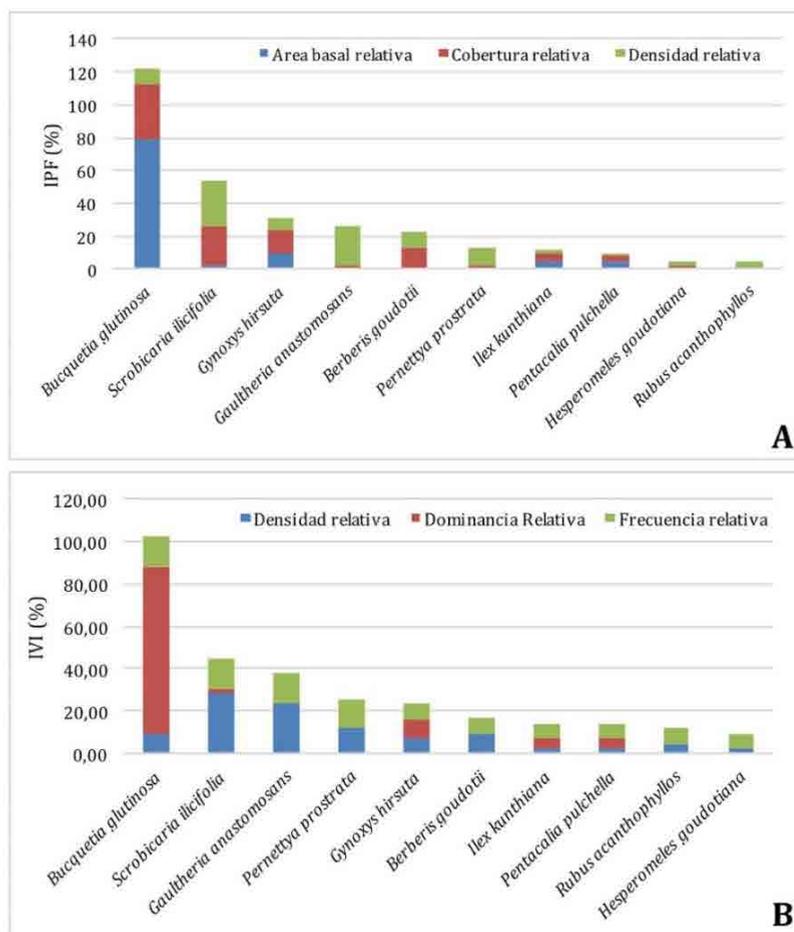
**Figura 10.** Áreas de Frailejonal-pajonal-arbustal contiguas al Embalse de Teatinos.

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 (potrerros 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.

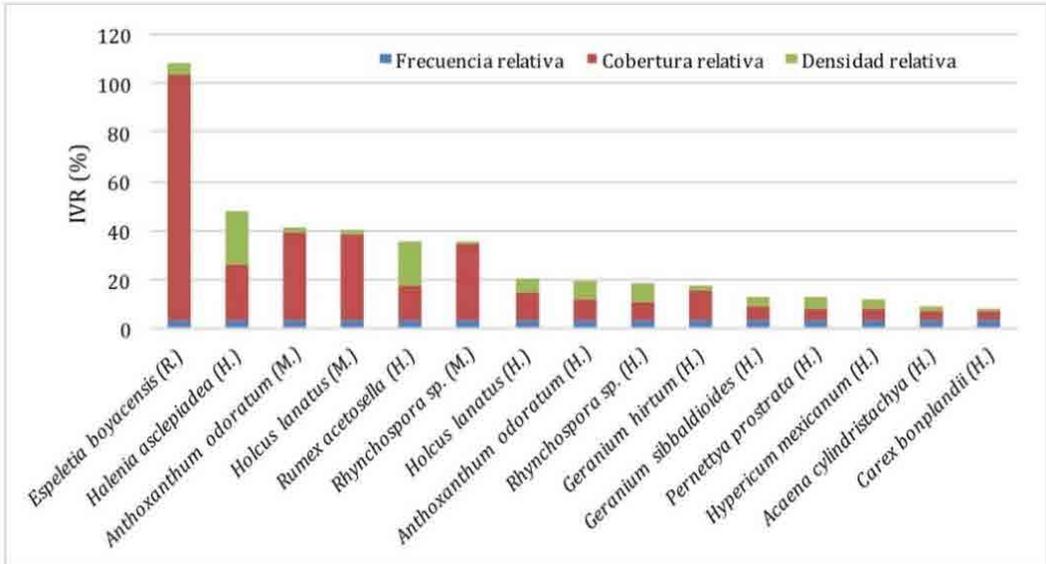


**Figura 12.** Formación de tipo pastizal, área de influencia directa de restauración ecológica, Páramo de Rabanal.

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.

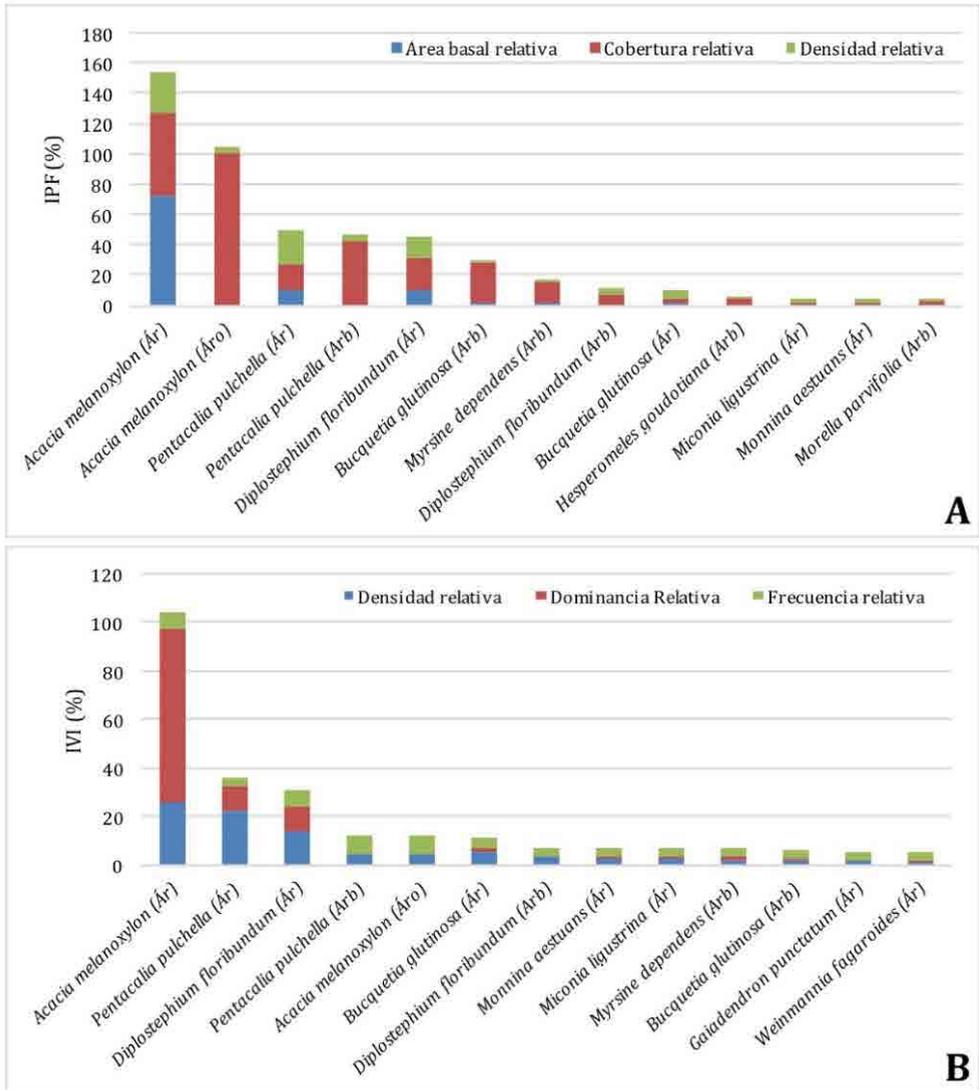
En esta comunidad se identificaron 44 especies distribuidas en 40 géneros y 24 familias. Las familias más ricas son: Asteraceae (8 géneros/8 especies), Ericaceae (4/5), Rosaceae (3/3), Melastomataceae, Myrsinaceae y Poaceae (2/2), Cunoniaceae, Hypericaceae y Piperaceae (1/2), las restantes familias están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

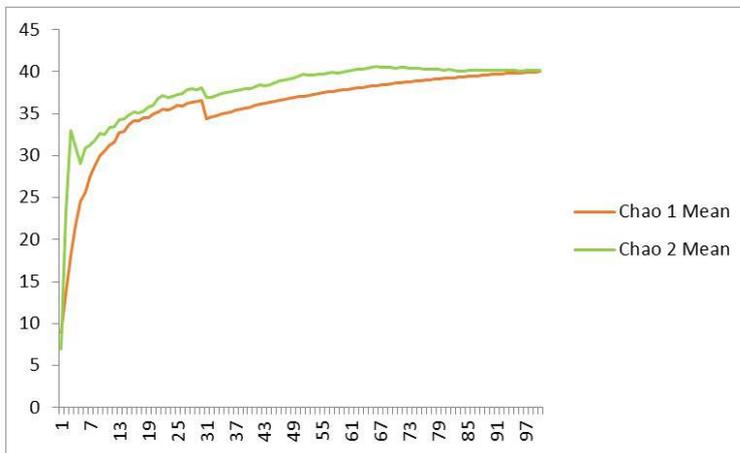
*Completitud de muestreo:* durante los muestreos se colectaron en total nueve individuos de la subfamilia Scarabaeinae, pertenecientes a dos especies. La especie con mayor abundancia fue *Homocopris achamas* (8 individuos) y *Uroxys coarctatus* con un solo individuo (Tabla 1). Todos los individuos fueron 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.

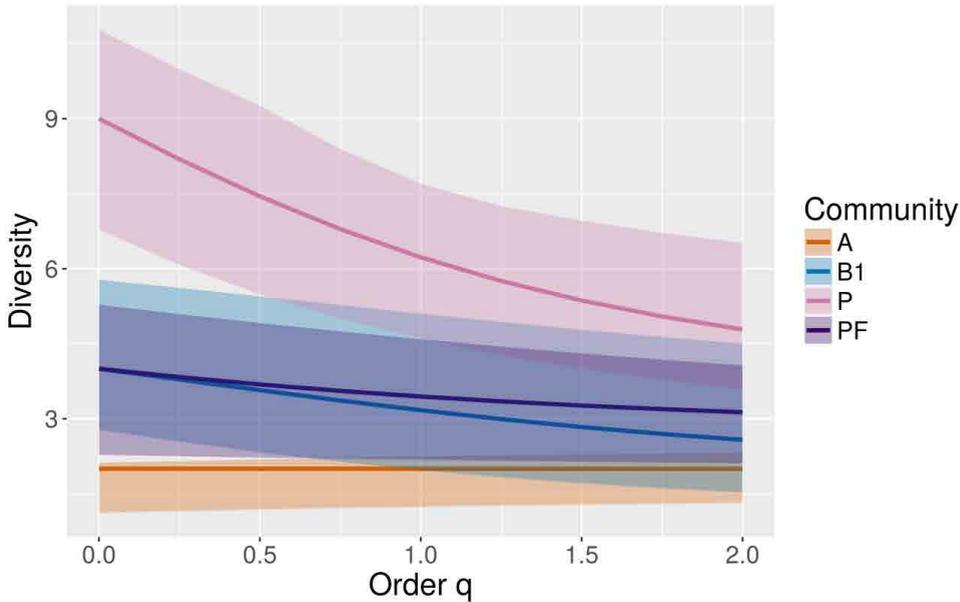
	A	BA	BI	F	P	PF
n	4	0	7	0	32	12
S.obs	2	0	4	0	9	4
C.hat	NaN	0	0.5714	NaN	0.9101	0.9295

**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

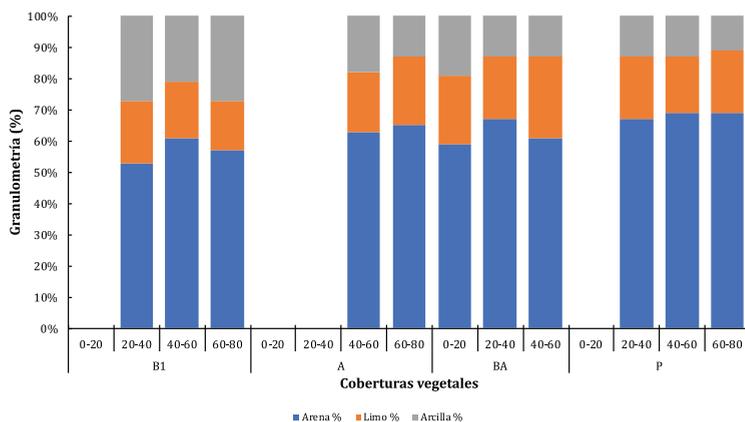


**Figura 18.** Contraste de diversidad de las diferentes coberturas muestreadas durante el diagnóstico (T=0) en el Páramo de Rabanal. A: arbustal, B1: bosque secundario altoandino, P: pastizal, PF: pastizal-frailejonal.

## Suelo

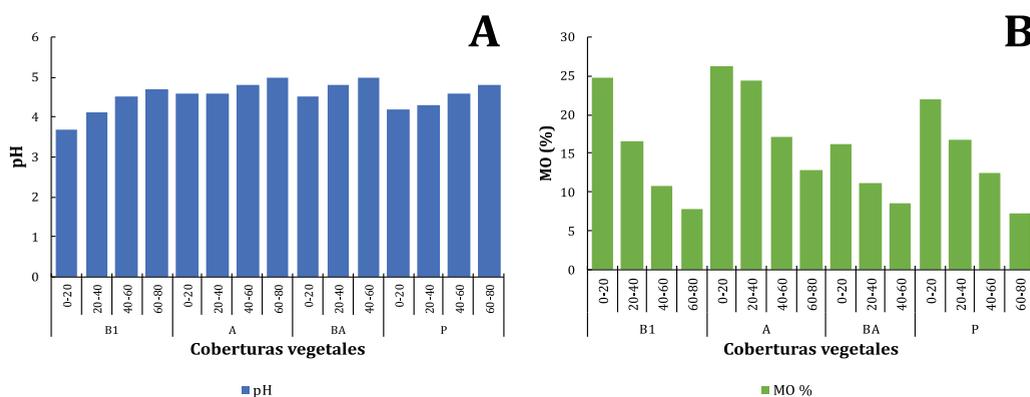
### Análisis de los parámetros fisicoquímicos

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).

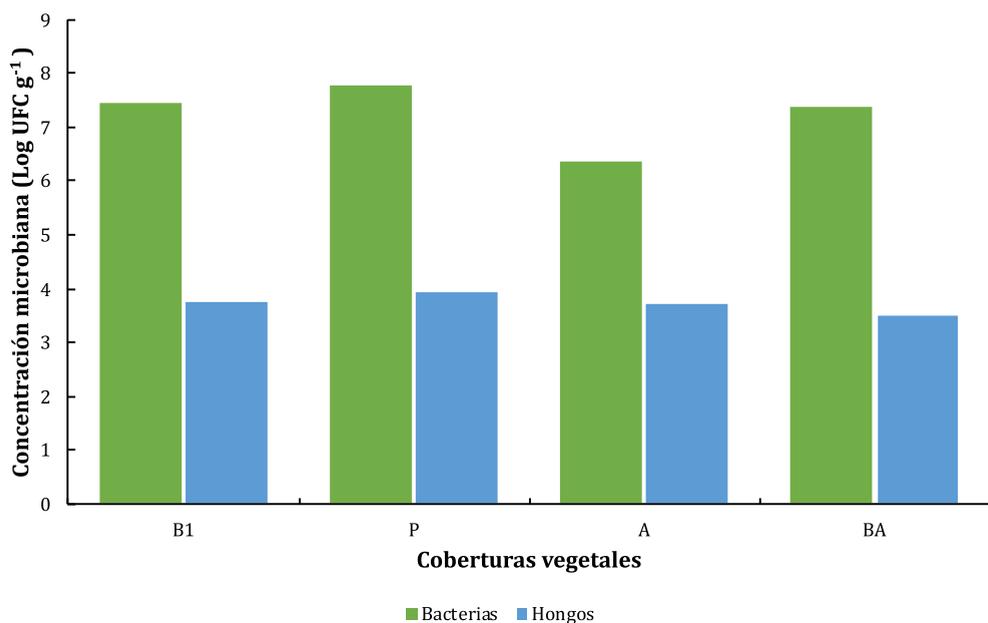
**Tabla 5.** Propiedades químicas de los suelos muestreados en coberturas vegetales dentro del Páramo de Rabanal, Boyacá (Bl. Bosque secundario; P. Pastizal; A. Arbustal; BA. Bosque de acacias).

Análisis	Unidad	Cobertura vegetal			
		Bl	A	P	BA
P	(ppm)	5,92	5,11	7,72	5,61
Ca	(cmol/Km <sup>-1</sup> )	0,36	0,38	0,21	0,28
Mg	(cmol/Km <sup>-1</sup> )	0,12	0,12	0,05	0,09
K	(cmol/Km <sup>-1</sup> )	0,19	0,17	0,09	0,12
Na	(cmol/Km <sup>-1</sup> )	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

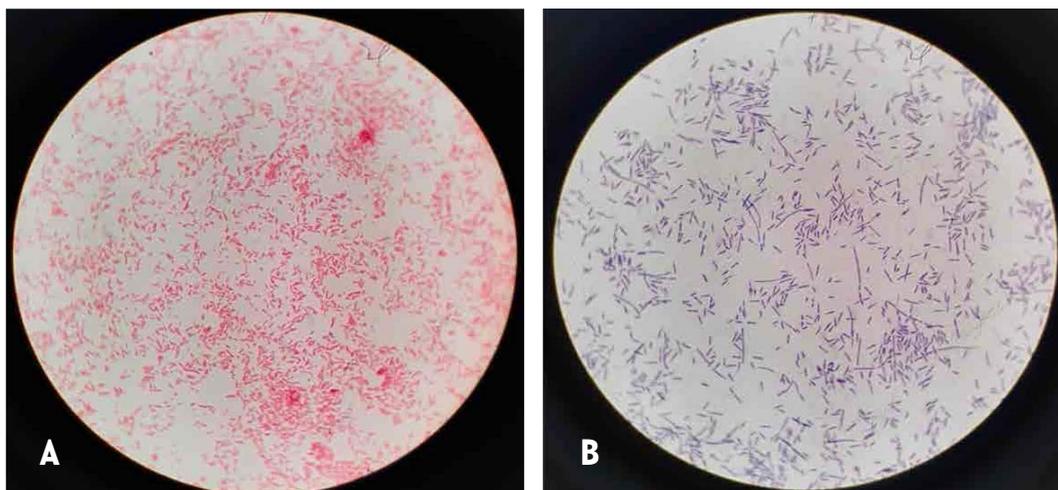
### Características microbiológicas

Se reportaron concentraciones bacterianas de 7,23 Log UFC g<sup>-1</sup>, y de 3,7 Log UFC g<sup>-1</sup> 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.

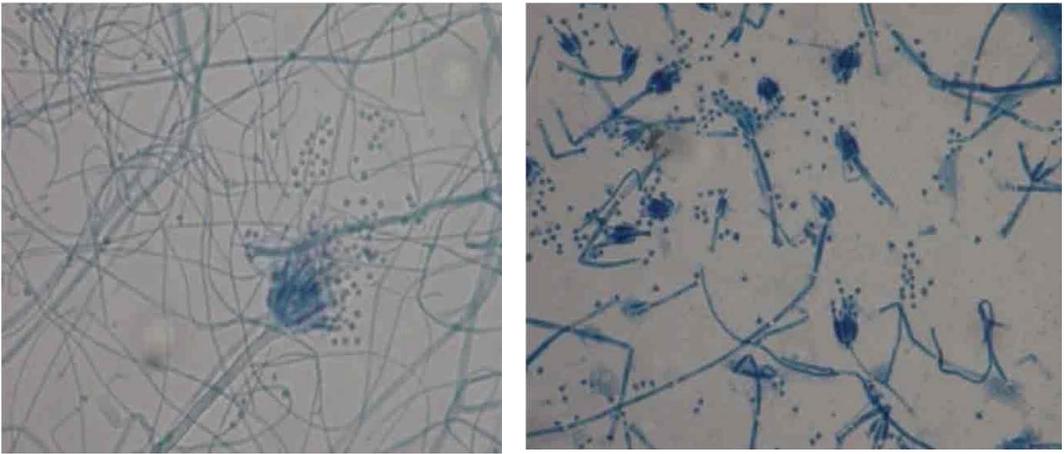
Se aislaron nueve géneros de hongos filamentosos, encontrándose mayor densidad poblacional en bosque secundario y pastizal, mientras que, en el arbustal y el bosque de acacias, la concentración de estos microorganismos fue menor. Se identificaron los géneros por medio de claves taxonómicas, *Penicillium* 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.

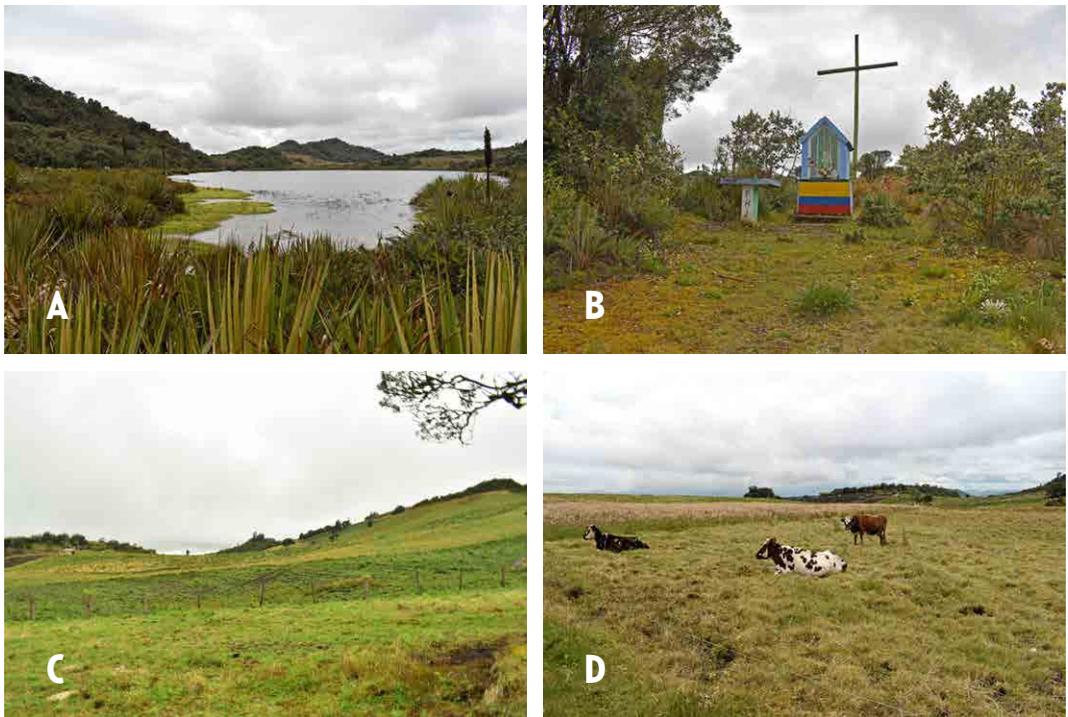
Se establece desde la memoria colectiva la descripción de régimen de disturbio y la identificación de los recursos bióticos (*p. ej.*: semillas, propágulos y plantas nodrizas), con los que se cuenta localmente, y que facilitan el establecimiento del proyecto.

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>&lt; 80 % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por gramíneas exóticas al segundo semestre de 2017</p> <p>&lt; 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
	Tipo de regeneración	Establecimiento	Semilla
			Retoño
			Espora
	Agente de dispersión	Dispersión	Anemocoria
			Autocoria
			Zoocoria
			Hidrocoria
			Anemogamia
	Vector de polinización	Persistencia	Ornitogamia
			Entomogamia
			Transitorio
	Banco de semillas	Establecimiento	Persistente
Renovación de hojas	Persistencia	Alta	
		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	
		Semilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Tipo de regeneración	Establecimiento	Retóño																				x	
		Espora																					
Regeneración	Dispersión	Anemocoria			x							x			x	x		x	x			x	
		Autocoria	x		x						x									x		x	x
		Zoocoria	x	x		x	x	x	x				x	x			x			x			x
		Hidrocoria										x						x					
Vector de polinización	Persistencia	Anemogamia																					
		Entomogamia	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Banco de semillas	Establecimiento	Transitorio	x	x	x		x	x				x		x	x	x	x					x	
		Persistente					x					x							x	x	x	x	x
Renovación de hojas	Persistencia	Alta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x		x		
		Baja																					x
Morfológico	Tipos de planta	Graminoide tipo macolla																					
		Caulirrosula																					
		Roseta acaule																					
		Cojín																					
		Herbácea																					x
		Subarbusciva	x			x																x	x
		Arbustiva				x		x	x	x			x	x			x					x	x
		Árborea	x										x				x						x
		Postrado																					
Hábito	Establecimiento – Persistencia	Trepador																					
		Erecto	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
Tamaño adulto	Establecimiento – Persistencia	101-200 cm																				x	
		>200 cm	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>Diplostephium</i> cf. <i>rosmarinifolius</i> (Benth.) Wedd.	Rescate	Anemocoria	No registrado
Diplostephium	<i>Diplostephium floribundum</i> (Benth.) Wedd.	Semilla	Anemocoria	No registrado
Diplostephium 2	<i>Diplostephium 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 jahonii</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:

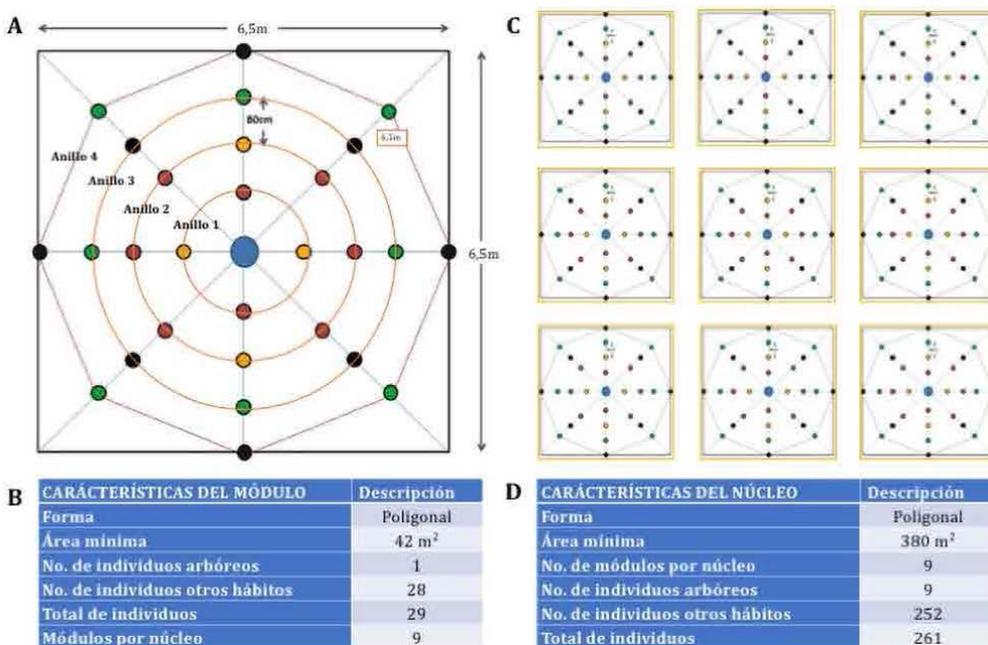
- **Estrategia 1: Procesos de nucleación en áreas dominadas por: 1. Gramíneas exóticas; 2. Especies colonizadoras de páramo; 3. Especies de arbustales y forestales exóticas**

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 m<sup>2</sup> y un total de 261 individuos (9 individuos arbóreos y 252 individuos arbustivos). Los módulos corresponden a áreas no inferiores a 42 m<sup>2</sup>, 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).

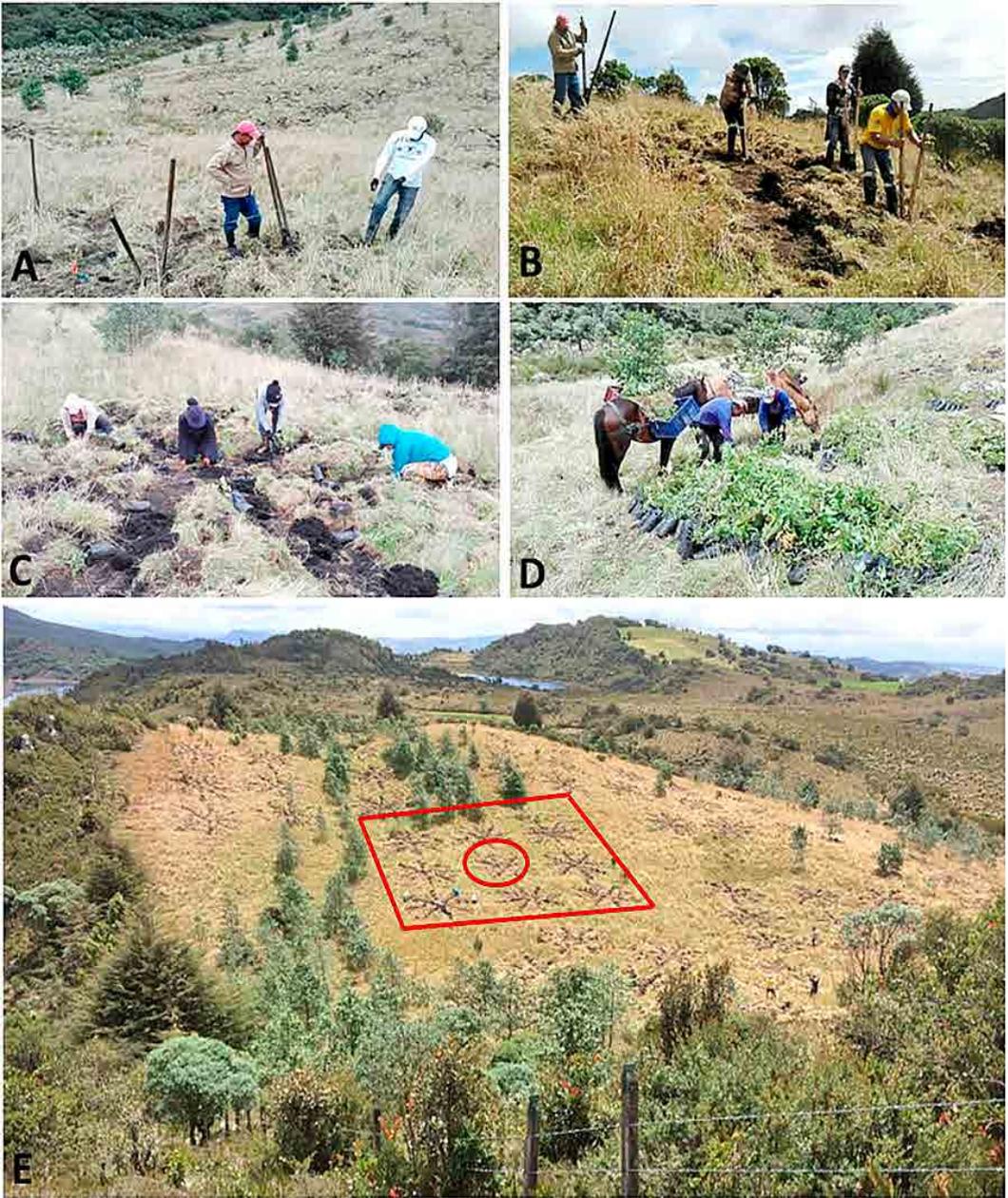
**Tabla 12.** Combinación de especies por núcleos y anillos de plantación (Fase 1), cobertura de "mosaico de pastos con espacios naturales".

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).



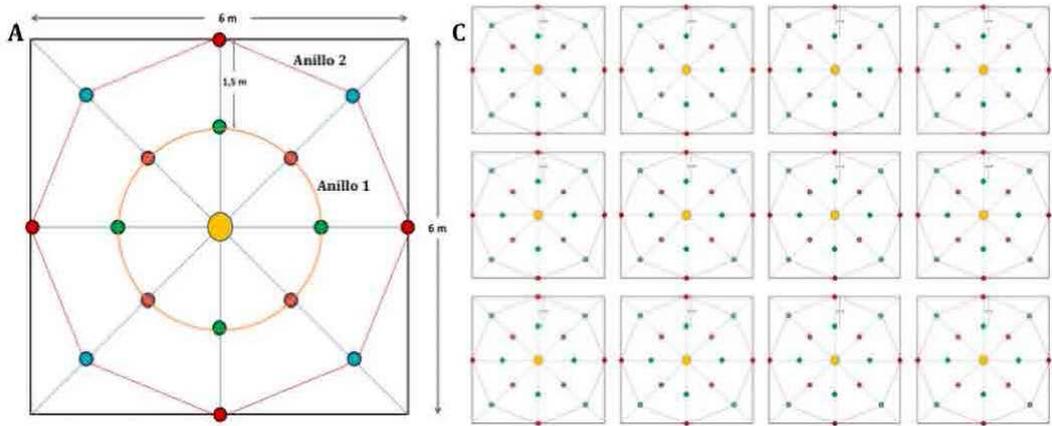
**Figura 26.** Registros fotográficos de la implementación del diseño en la cobertura "mosaico de pastos con espacios naturales". **A.** Medición y ubicación de módulos; **B.** Ahoyado en cada módulo; **C.** Plantación de material propagado; **D.** Transporte de plántulas; **E.** Panorámica del área 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 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup>) 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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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.

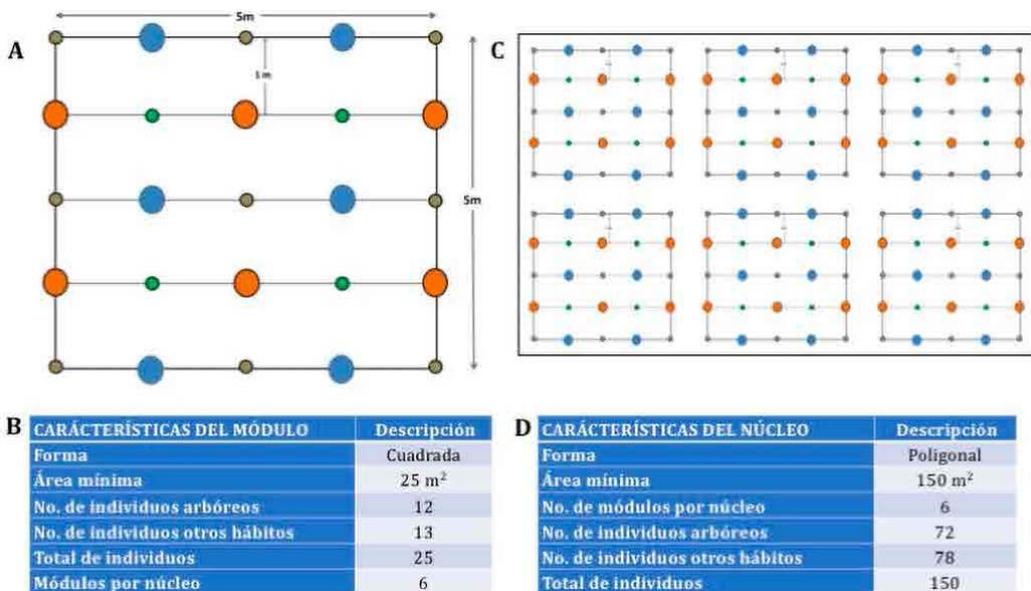
**Tabla 13.** Combinación de especies por núcleos y anillos de siembra (Fase II), cobertura de "herbazal".

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	<b>1836</b>

- *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 m<sup>2</sup>, conformados por 6 módulos y un total de 150 individuos por núcleo (72 individuos arbóreos y 78 individuos arbustivos por núcleo). Los módulos (25 m<sup>2</sup>) 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
			<b>TOTAL</b>	<b>2250</b>

*Nucleación en plantación forestal de Acacia melanoxylon*: Consistió en núcleos (150 m<sup>2</sup>) 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	<b>450</b>

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

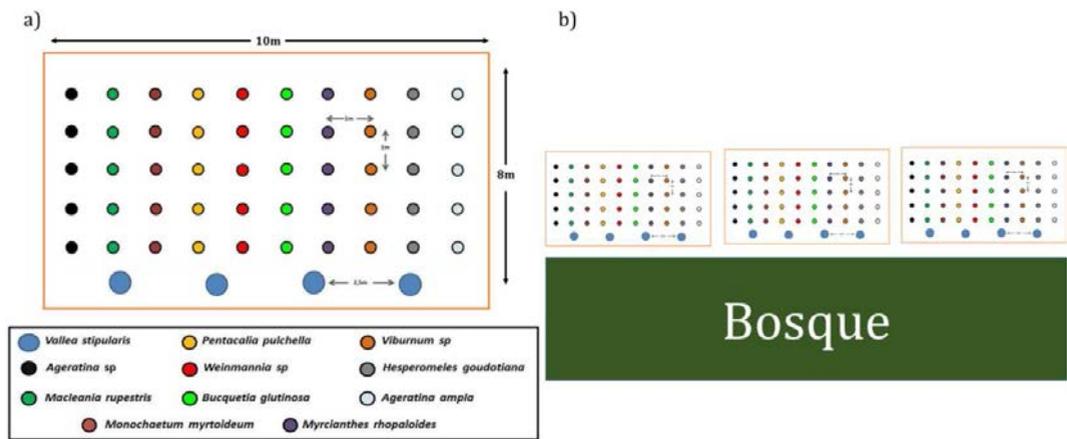
Entender que el ecotono es una zona de transición natural entre dos ecosistemas complementarios, justifica esta estrategia de restauración. El ecotono o hábitat de borde, en este caso, es la zona de transición entre el bosque altoandino y los pastizales de gramíneas exóticas dominante (Forman & Gordon, 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 m<sup>2</sup>, 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			<b>54</b>



**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.

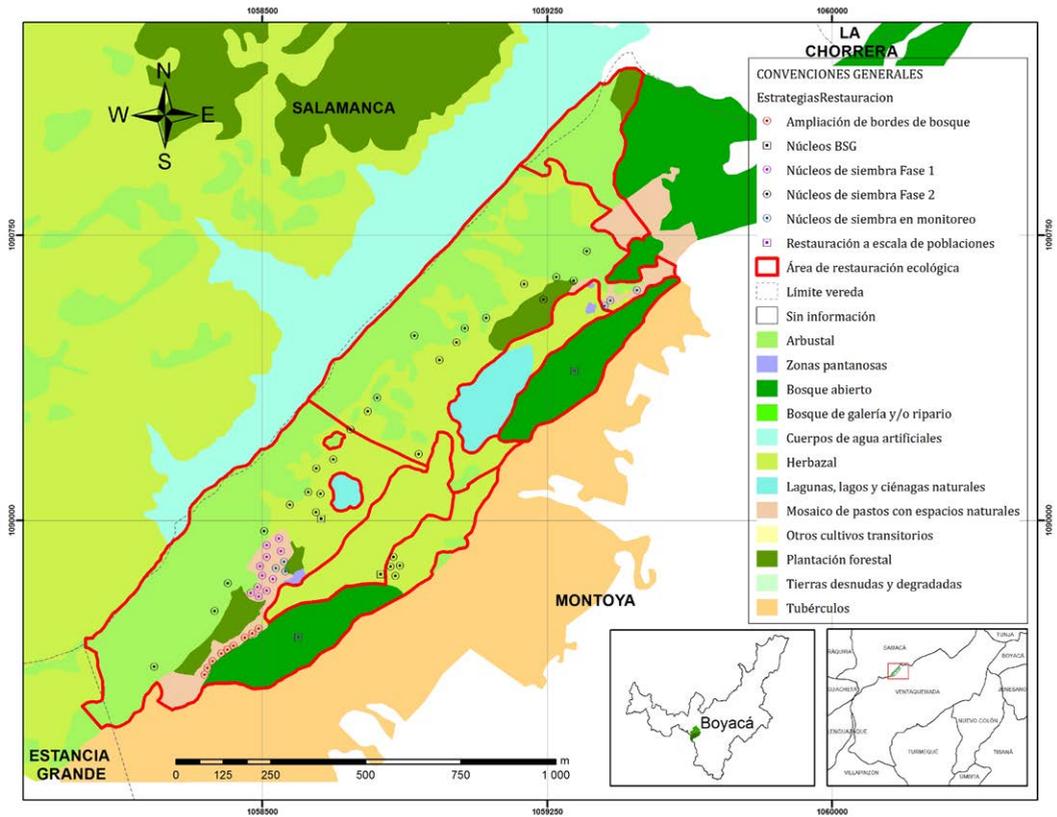
En total, para las fases de siembra I y II, en las coberturas de mosaico de pastos con espacios naturales (gramíneas exóticas), herbazal (pajonal-frailejón), arbustal y plantación forestal (acacias), se establecieron 44 núcleos de regeneración natural, que incluyeron un total de 8973 plántulas sembradas (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-frailejón)</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
<b>TOTAL</b>				<b>9579</b>



**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>Diplostegium floribundum</i> (Benth.) Wedd.				x
<i>Diplostegium 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

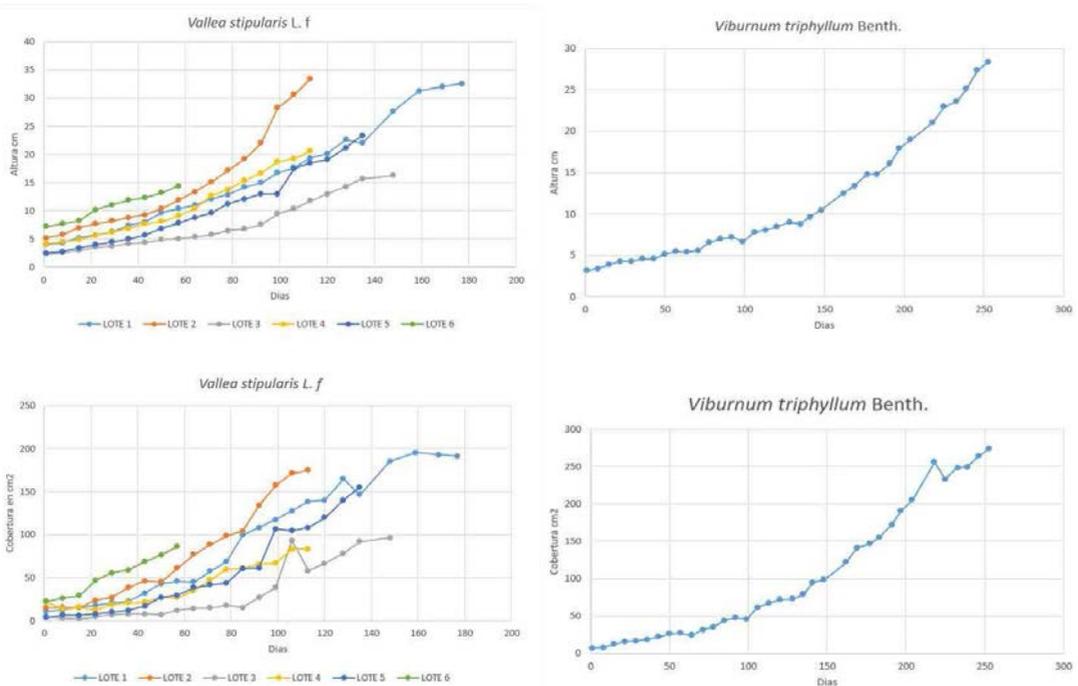
Como resultado del seguimiento periódico a las especies al interior del vivero, se obtuvieron datos suficientes para establecer los tiempos mínimos en que una planta llega a un estado óptimo, para salir a etapa de endurecimiento. Se debe aclarar, que las tallas mínimas de salida a endurecimiento pueden 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.

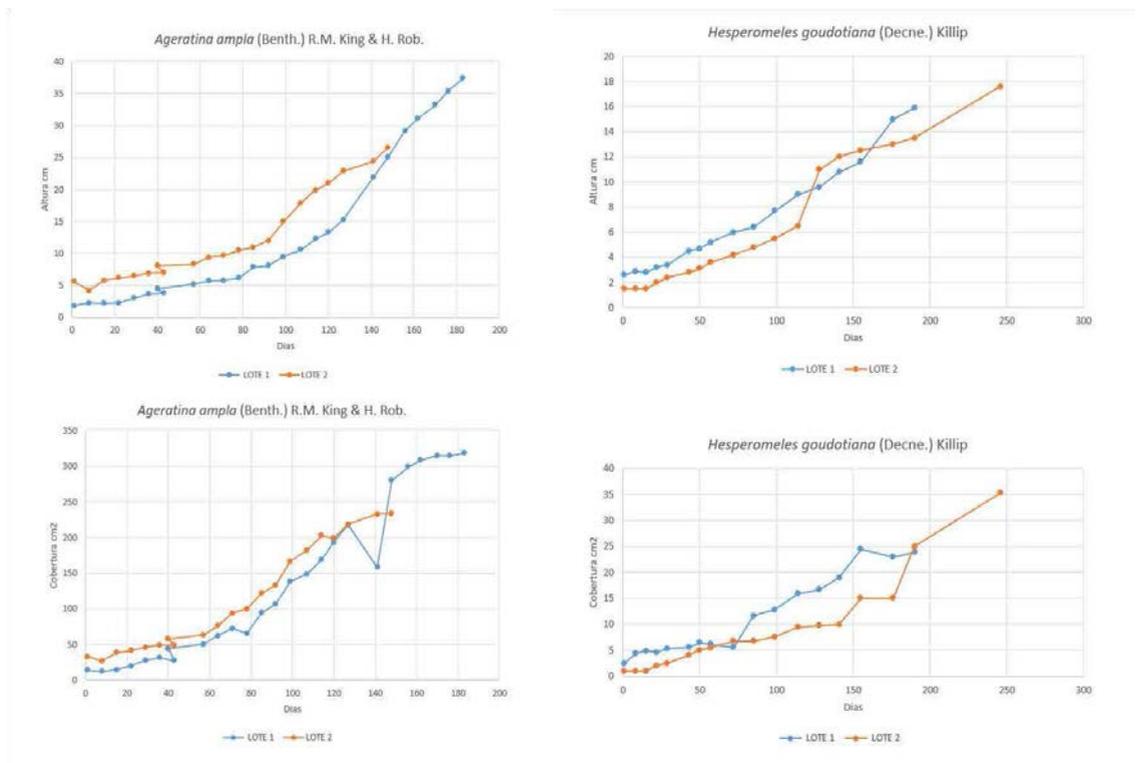
De igual forma, se muestra el tiempo de desarrollo en altura y cobertura para el garrocho (*Viburnum triphyllum* Benth) (Fig. 34), ya que alcanza la talla mínima para salida a endurecimiento a los 250 días; es una especie de crecimiento intermedio, en la cual se evidenció que, en algunas etapas de crecimiento 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).

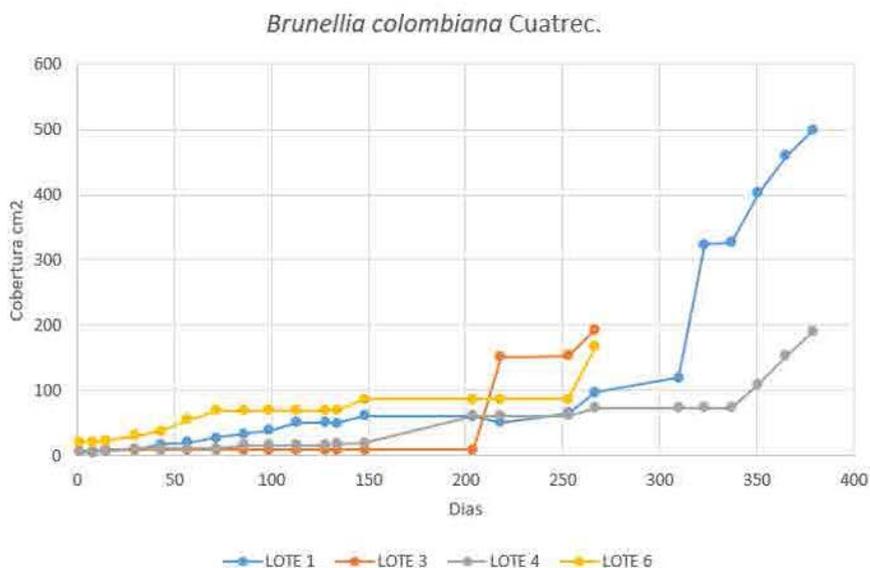
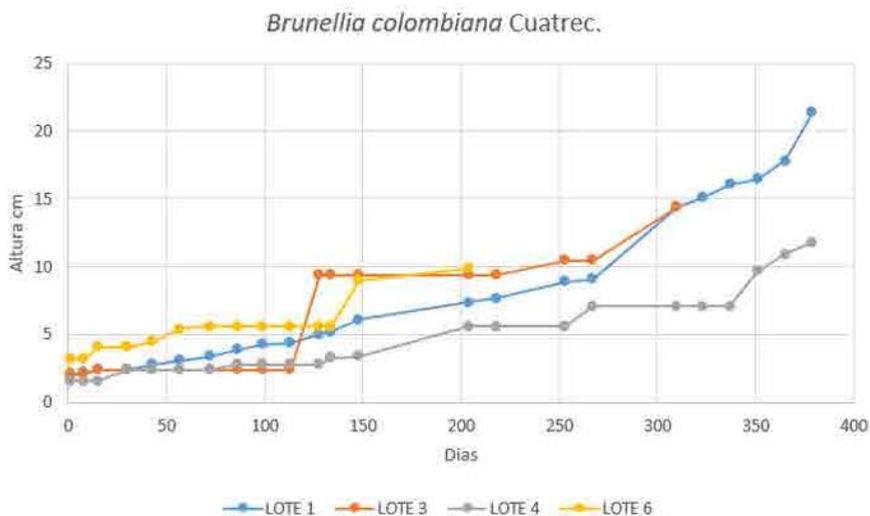
En la Figura 35., se presenta el desarrollo en altura y cobertura para el Jarillo (*Ageratina ampla* (Benth.) R.M. King & H. Rob.), esta especie es de rápido crecimiento, a los 180 días alcanza las alturas mínimas para salida a endurecimiento; presentó ataques por hongos, que conllevaron a pérdidas en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



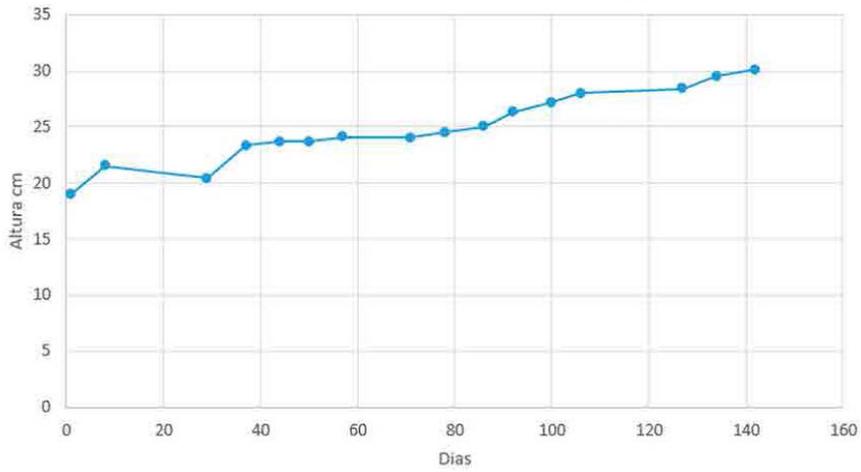
**Figura 35.** Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Ageratina ampla* (Benth.) R.M. King & H. Rob. (Jarillo) y *Hesperomeles goudotiana* (Decne.) Killip (Mortiño).

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.

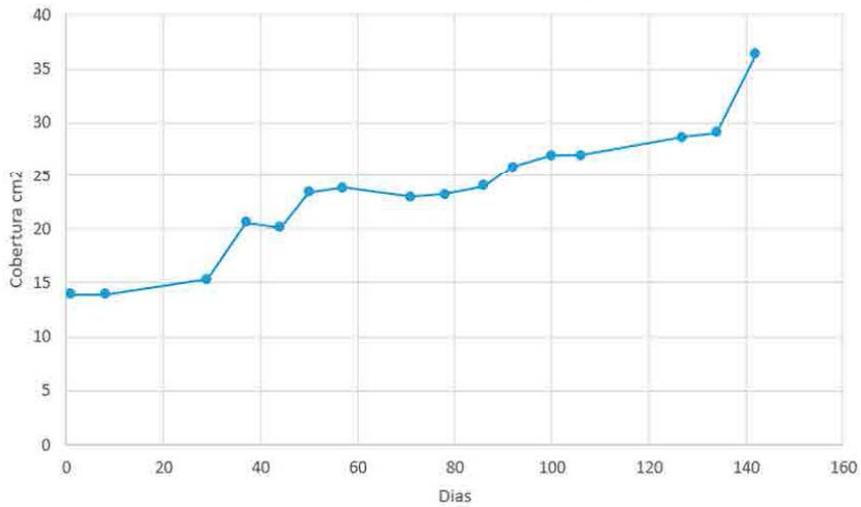


**Figura 36.** Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Brunellia colombiana* Cuatrec. (Susque) y *Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng. (Cucharó).

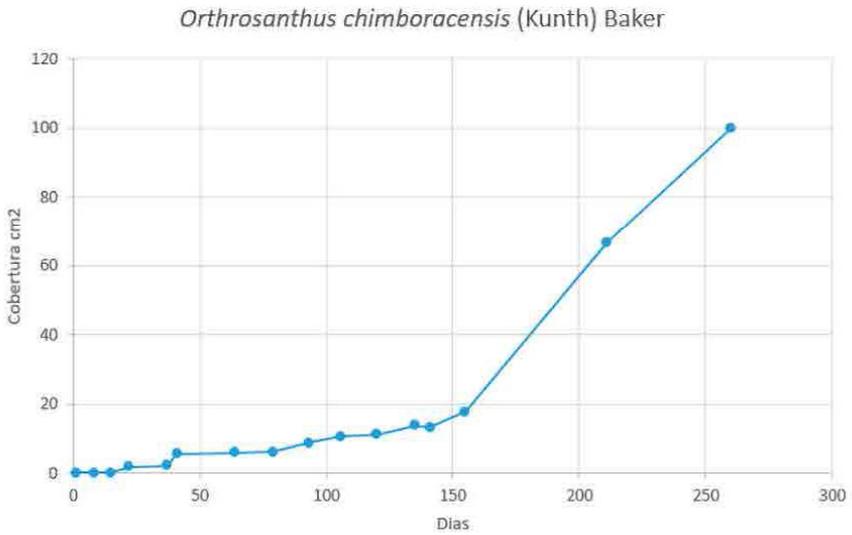
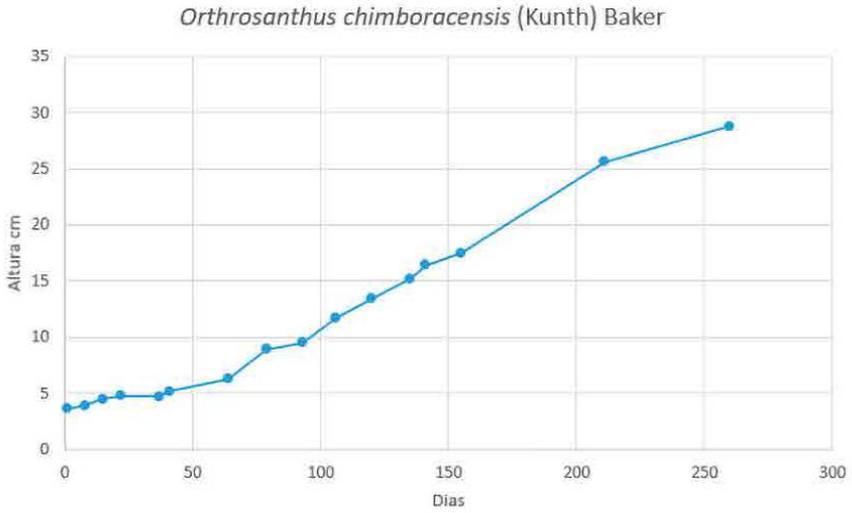
*Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng.



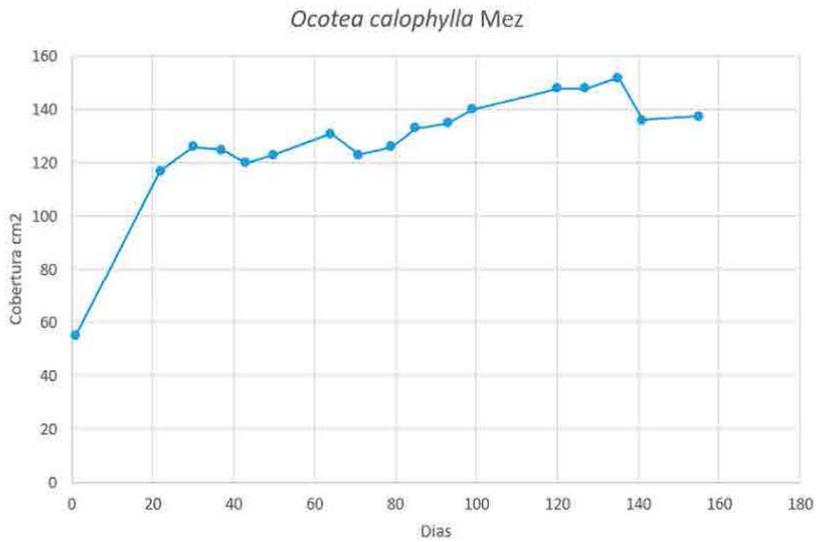
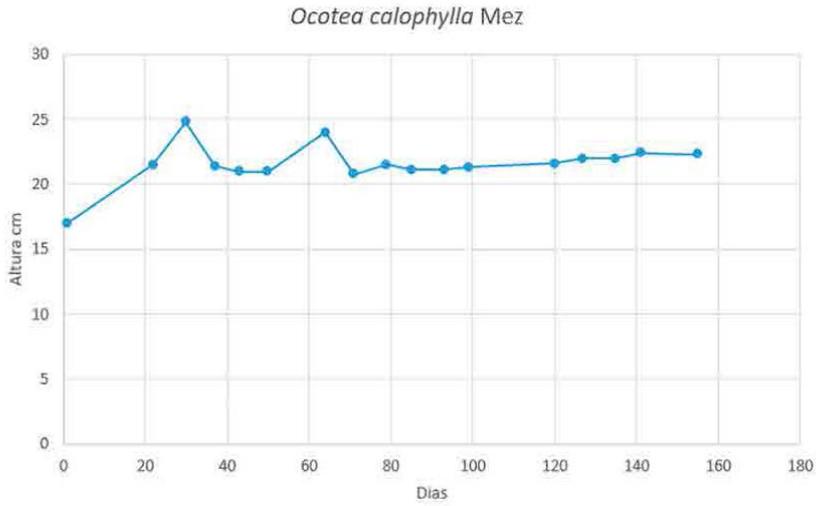
*Myrsine dependens* (Ruiz & Pav.) Spreng.



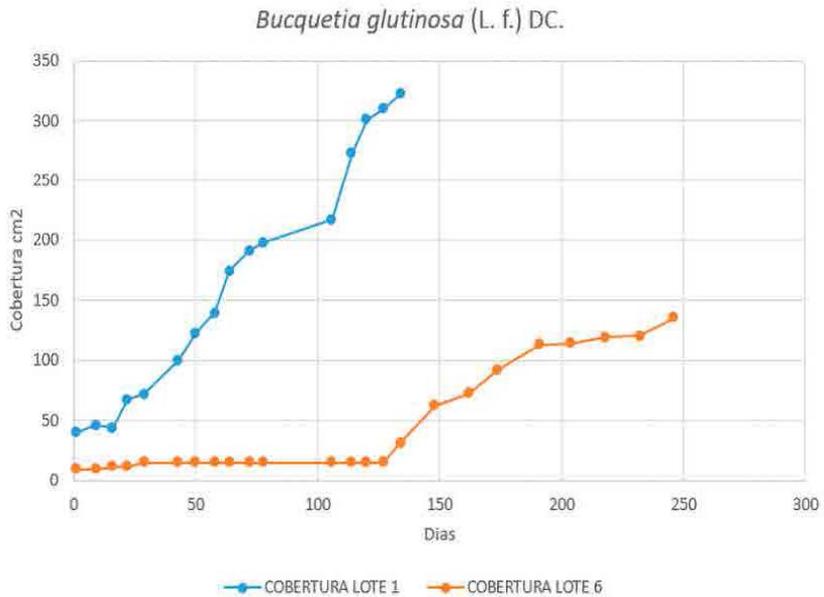
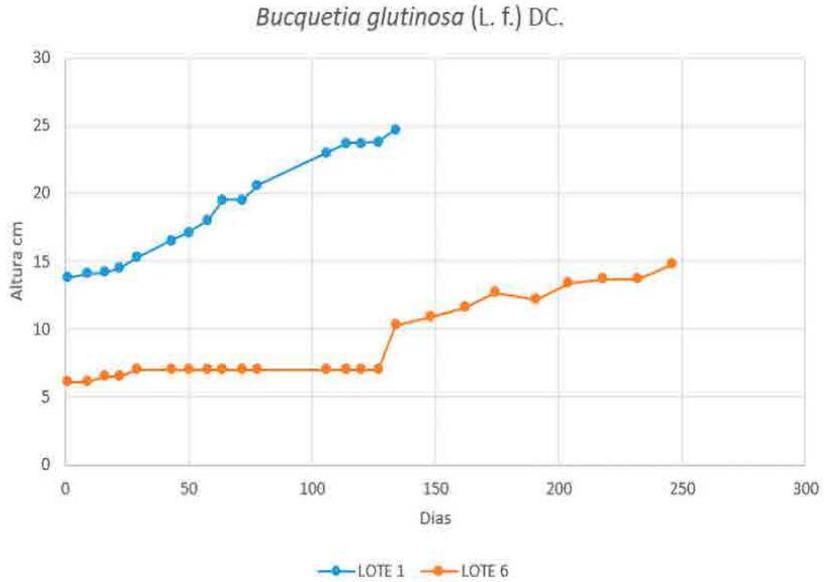
Continuación Figura 36.



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

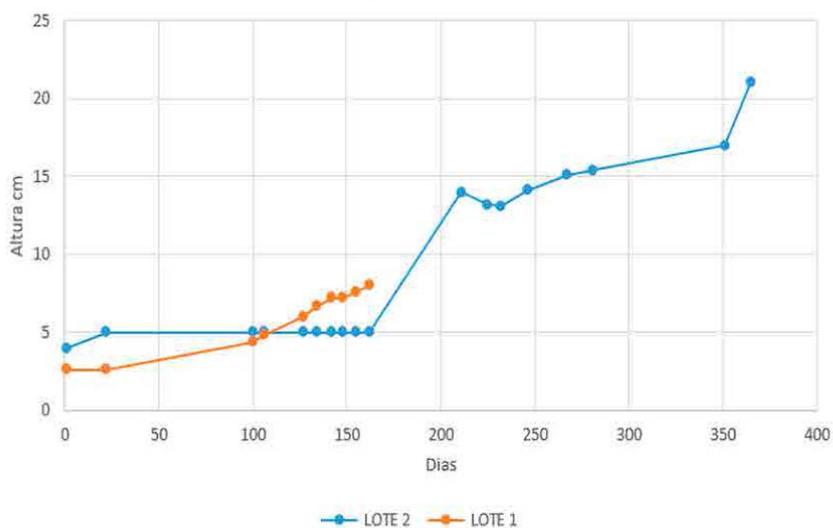


Continuación Figura 37.

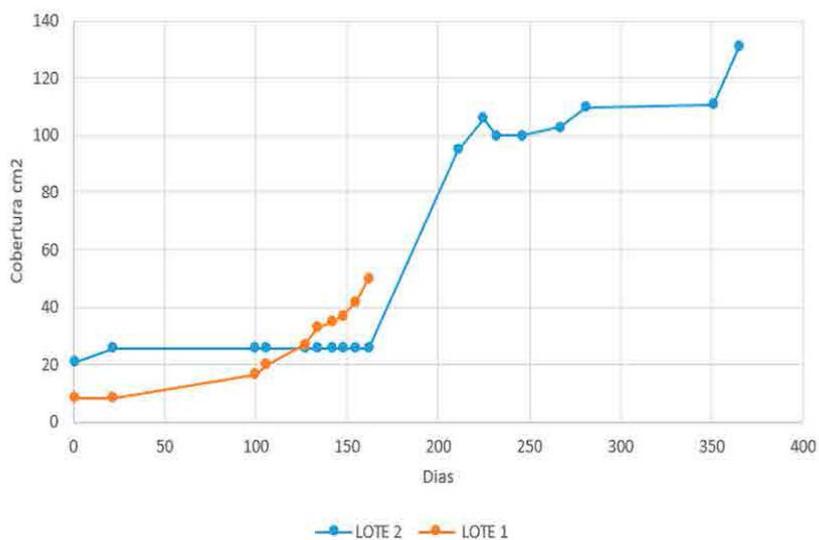


**Figura 38.** Crecimiento en altura y cobertura para las especies *Bucquetia glutinosa* (L. f.) DC. (Charne) y *Clethra fimbriata* Kunth (Manzano).

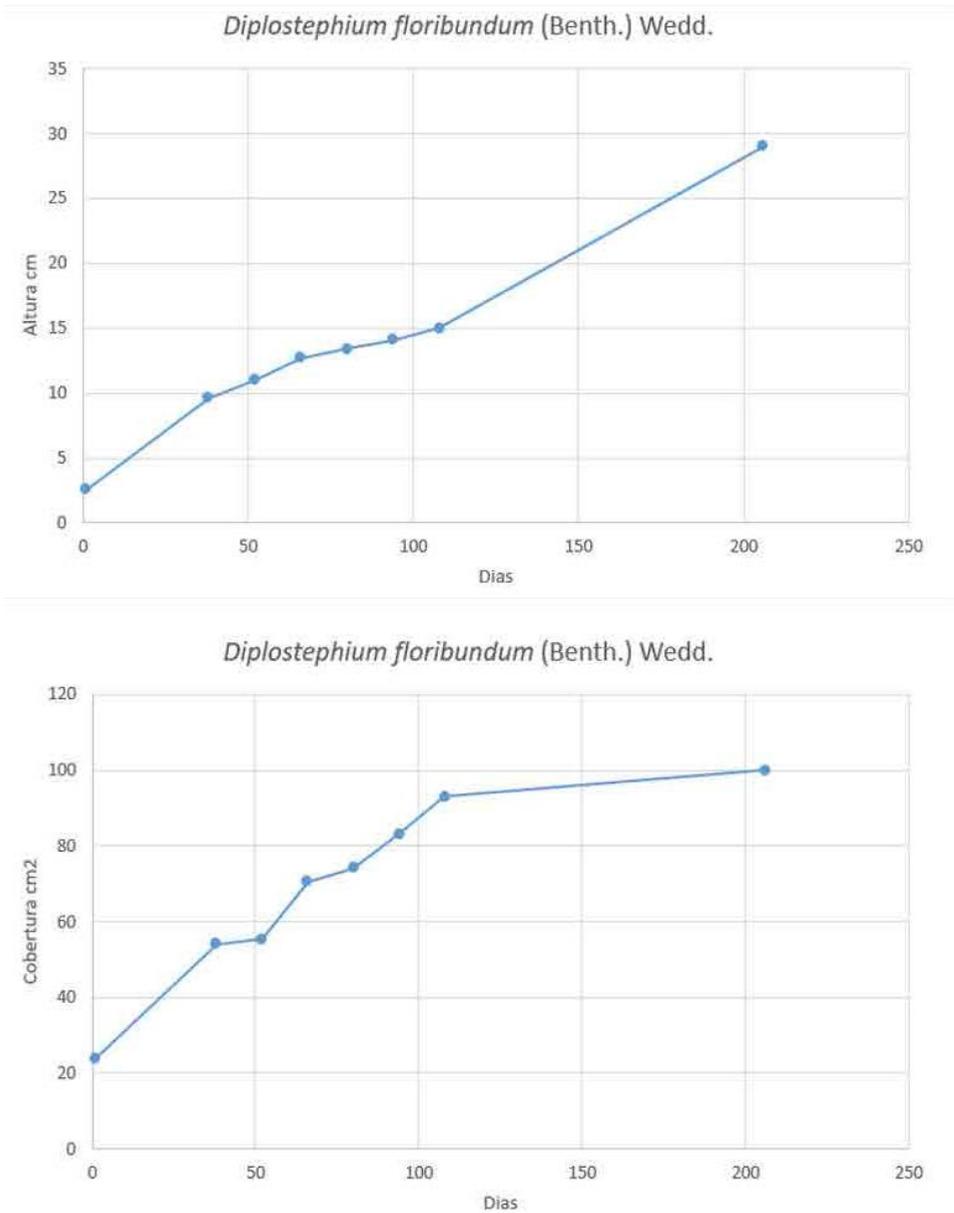
*Clethra fimbriata* Kunth



*Clethra fimbriata* Kunth



Continuación Figura 38.



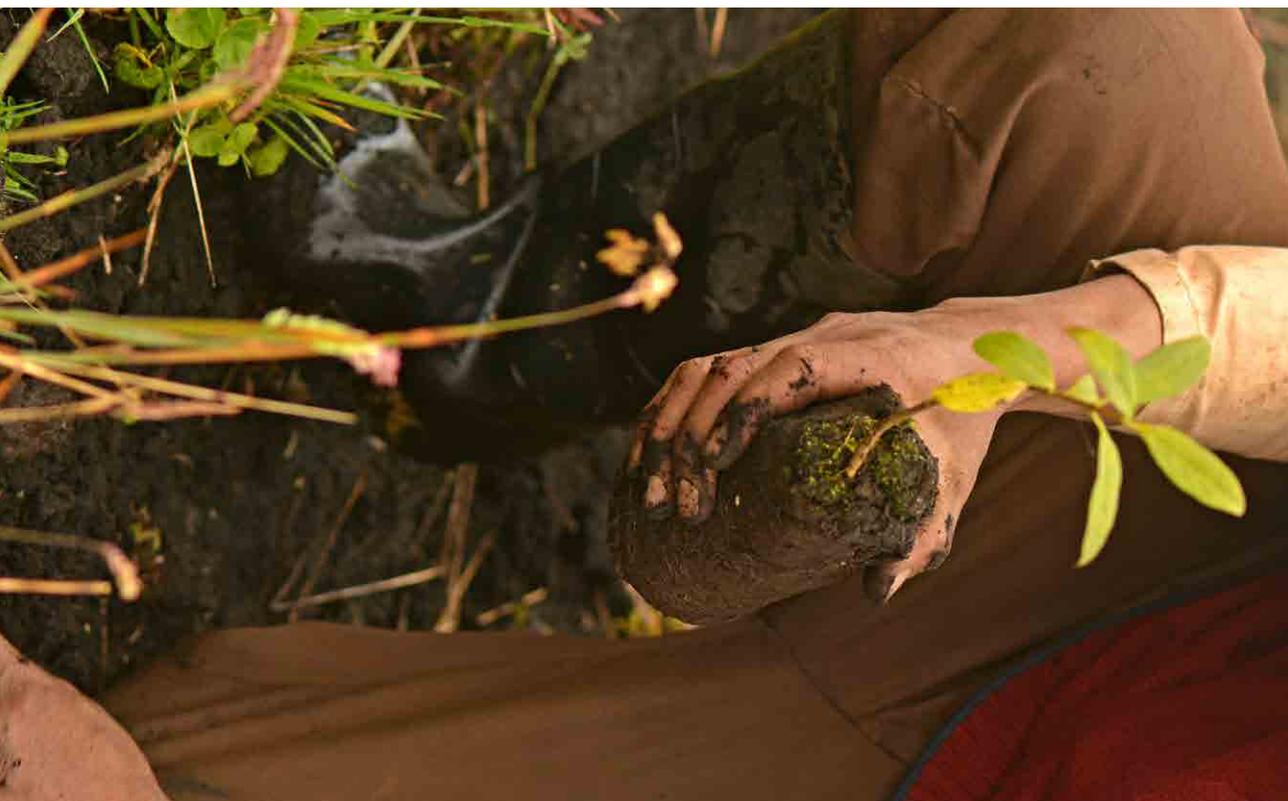
**Figura 39.** Crecimiento en altura y cobertura para la especie *Diplostephium floribundum* (Benth.) Wedd.

# 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](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.





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



**Pablo Andrés Gil-Leguizamón<sup>1</sup>, William Javier Bravo-Pedraza<sup>1</sup>, David Ricardo Hernández-Velandia<sup>1-2</sup>, Oscar Felipe Moreno-Mancilla<sup>1</sup>, Andrés Felipe Morales-Alba<sup>-2</sup>, John Edison Reyes Camargo<sup>1</sup>, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco<sup>1</sup>, Javier Andrés Muñoz-Avila<sup>1-2</sup>, Paulina Vergara<sup>1</sup>, Laura Ortiz, Dalia Soraya Useche<sup>1-3</sup>**

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

<sup>2</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

<sup>3</sup>Grupo 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).

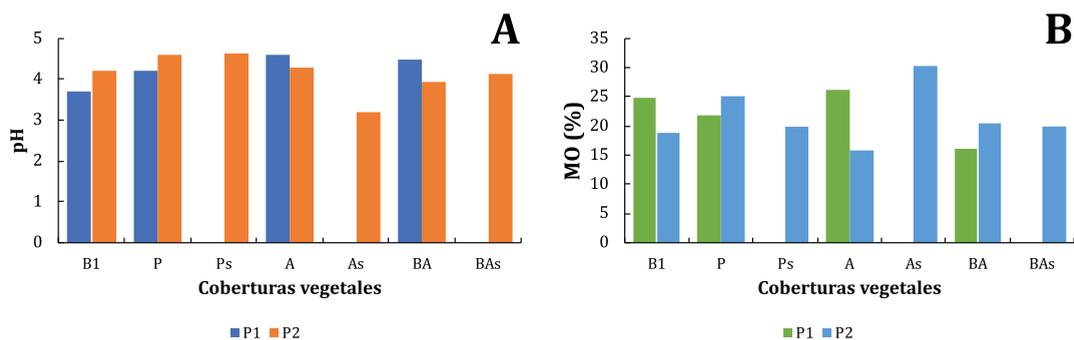
**Tabla 1.** Coberturas vegetales implementadas para la toma de muestras de suelo en el Páramo de Rabanal, Boyacá.

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	<b>B1</b>
Pastizal	Pastizal	Pastizal	Referencia	<b>P</b>
Arbustal	Arbustales	Arbustales	Referencia	<b>A</b>
Plantación forestal	Bosque de acacias	Bosque de acacias	Referencia	<b>BA</b>
Mosaico de pastos con espacios naturales	Pastizal	Pastizal	Siembra	<b>Ps</b>
Arbustal	Arbustales	Arbustales	Siembra	<b>As</b>
Plantación forestal	Bosque de acacias	Bosque de acacias	Siembra	<b>BA<sub>s</sub></b>

## 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).

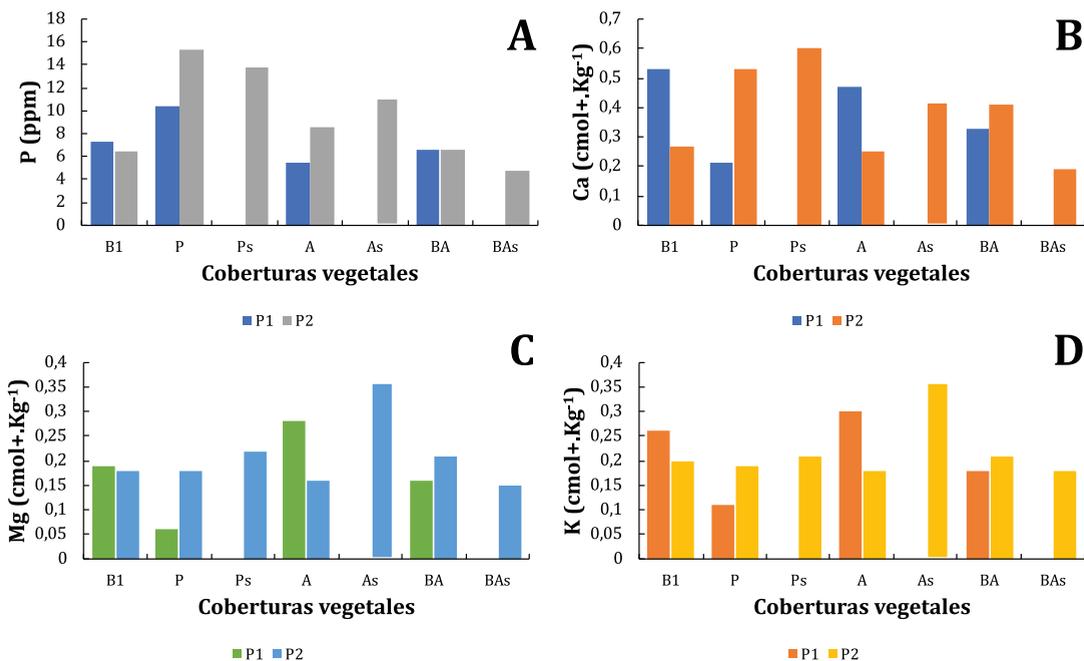
Según Hofstede et al. (2003), los suelos con textura orgánica, como los reportados en las diferentes coberturas del Páramo de Rabanal, presentan una coloración oscura con altos contenidos de materia orgánica, sin embargo, factores como la acidez y el alto contenido de Al, hacen que la MO no se pueda 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).

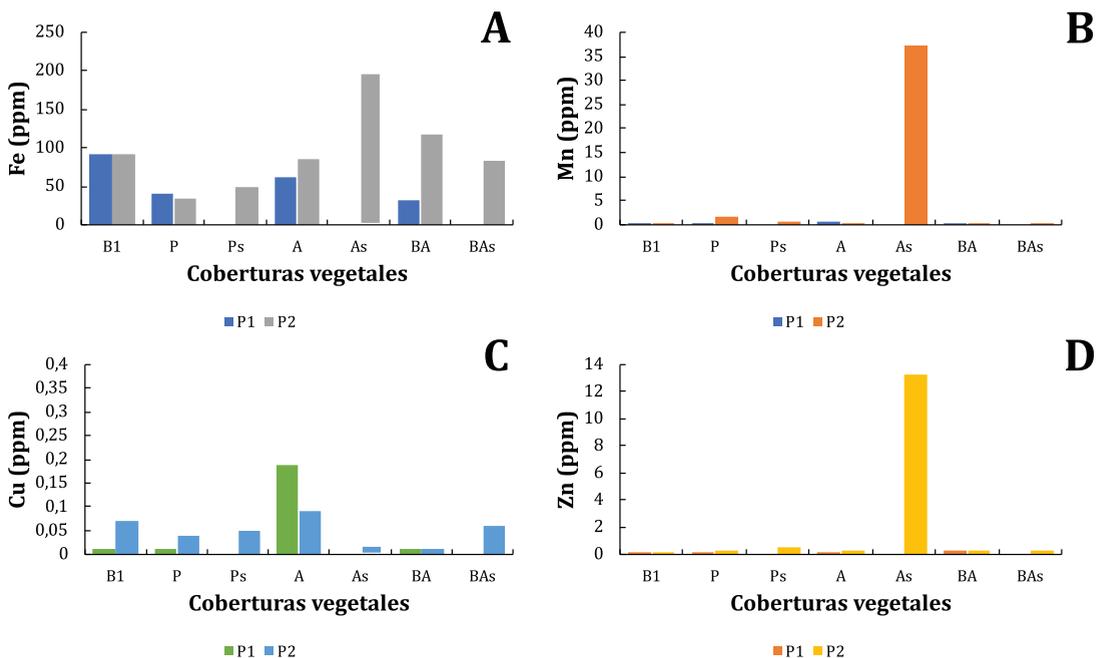
Según Wen et al. (2005), los contenidos de P disponible en el suelo pueden aumentar en el transcurso del tiempo cuando se han realizado procesos de revegetación, lo que propicia mejores condiciones para el crecimiento y establecimiento de nuevas plantas; no obstante, la disminución del P ocasiona cambios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

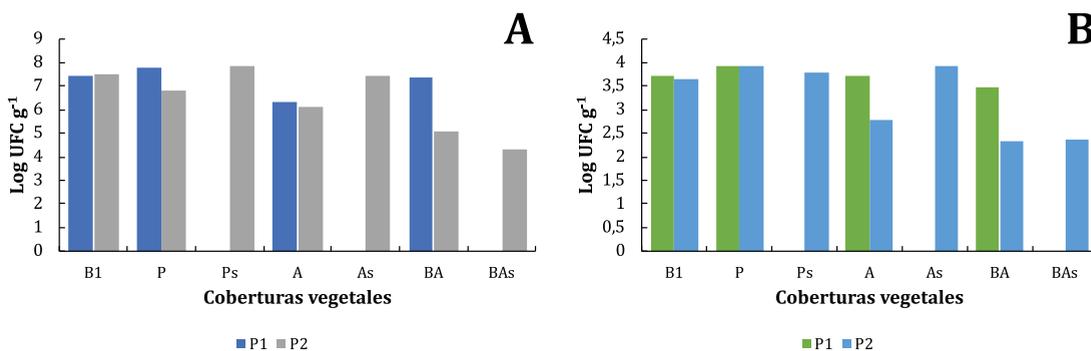
Según Delgado & Gómez (2016), el Fe y Mn, son nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas; sin embargo, en altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos. Además, factores como el pH, el contenido de MO, la textura y la aireación del suelo, también pueden afectar la disponibilidad 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).

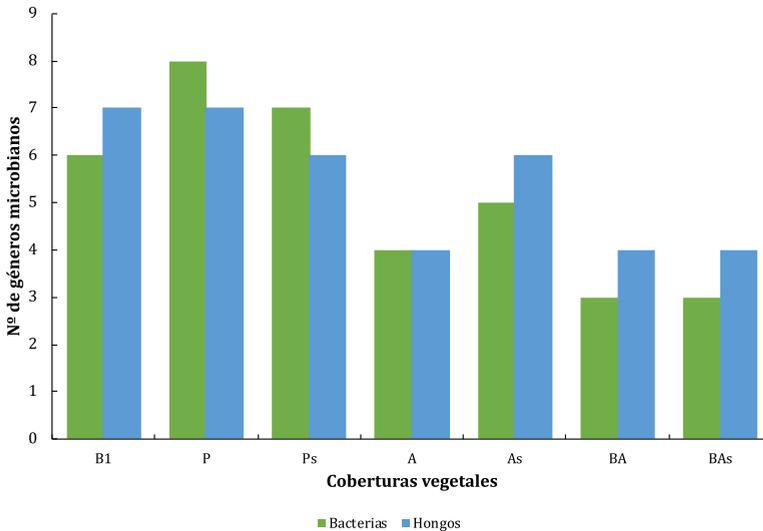
**Parámetros microbiológicos.** Las bacterias presentaron mayor concentración en el primer periodo (7,23 Log UFC g<sup>-1</sup>), respecto al segundo (6,39 Log UFC g<sup>-1</sup>). Con relación a los hongos filamentosos, se obtuvieron concentraciones de 3,25 Log UFC g<sup>-1</sup>

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).

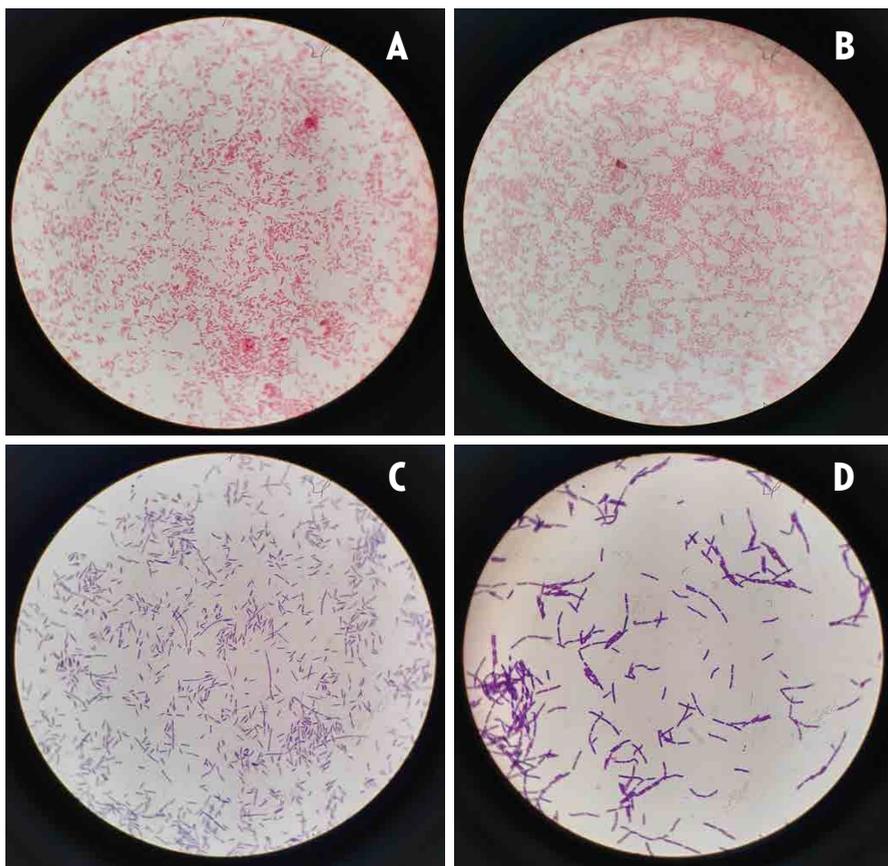
Se aislaron un total de ocho géneros bacterianos (*Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Acinetobacter* y *Micrococcus*) y 10 fúngicos (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Cephalosporium*, *Verticillium*, *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)**

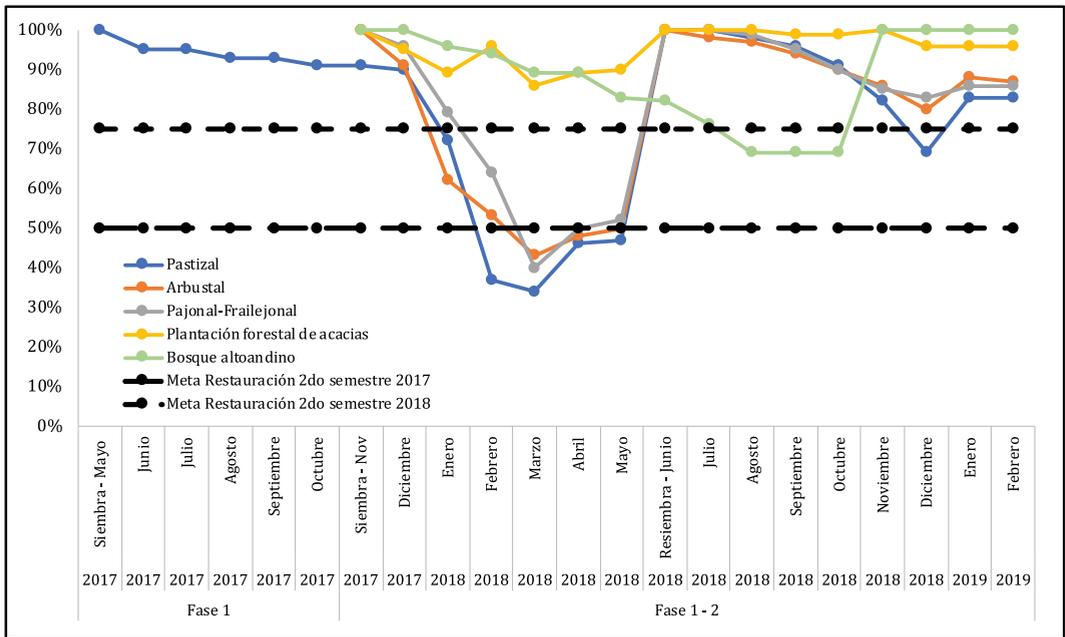
Escala	Atributo	Temporalidad
Población	Composición	Semestral

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).

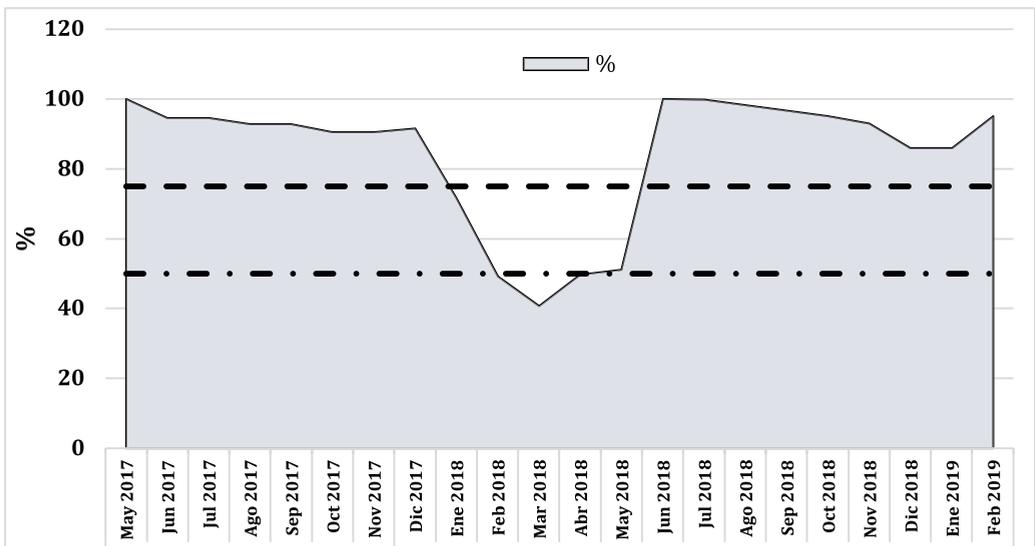


**Figura 7.** Registro fotográfico de monitoreos a la plantación. **A-B.** Registro de datos fisonómicos a la plantación; **C.** Muerte de plántula por necrosis; **D-F.** Rebrotos foliares de plántulas con necrosis.

**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).



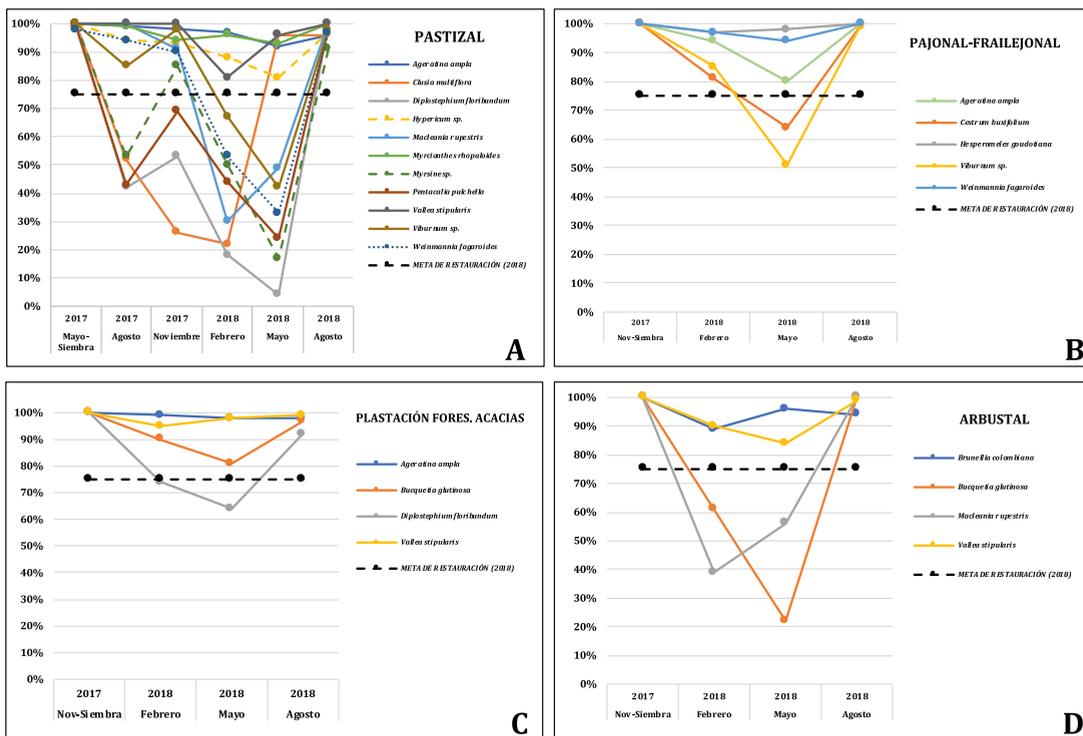
**Figura 8.** Supervivencia por cobertura en las 80 ha y su relación con las metas de restauración.



**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*.



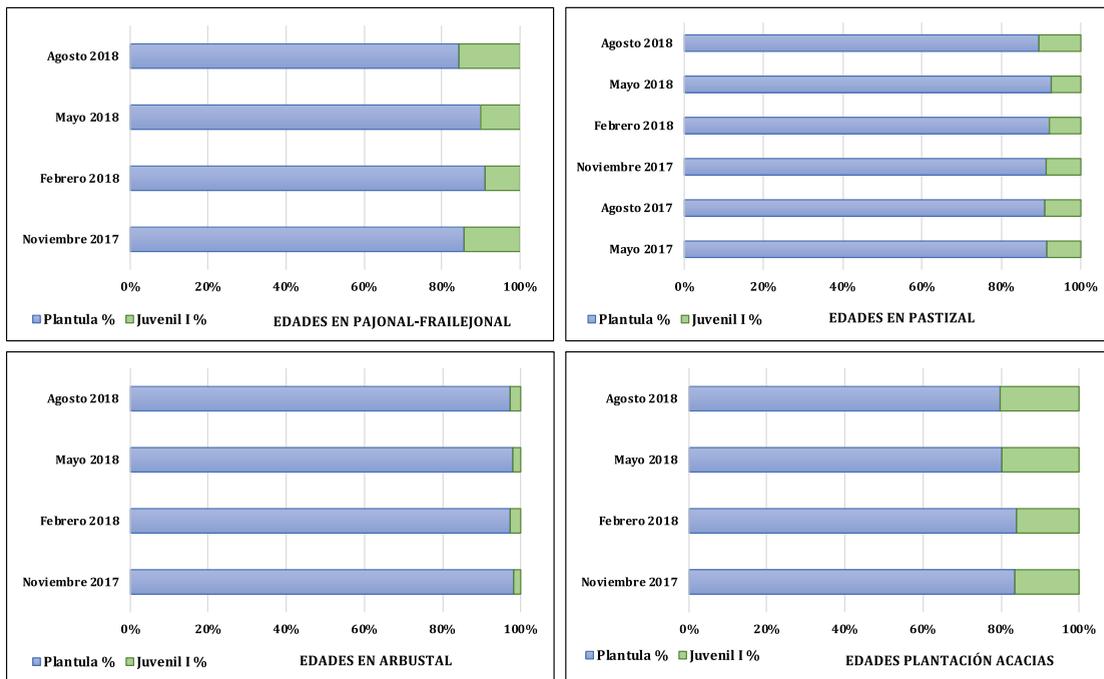
**Figura 12.** Registros fitosanitarios. **A-C.** Herbivoría en *Ageratina ampla*; **D.** Amarillamiento en *Vallea stipularis*; **E.** Necrosis en *Weinmannia fagaroides*; **F-G.** Rebrotos foliares en *Viburnum* sp.

## 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.

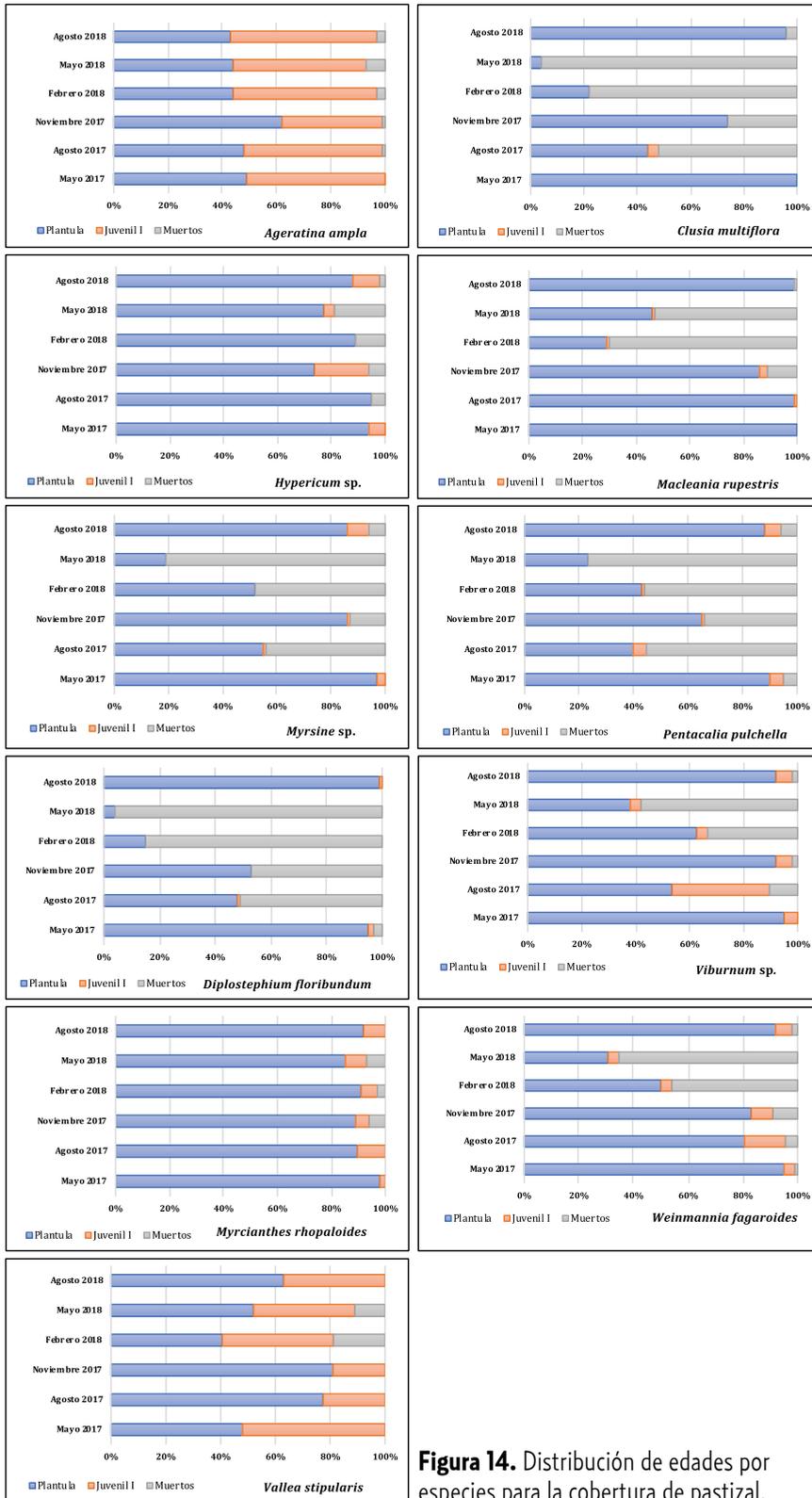
**Distribución de edades por coberturas:** se identificaron dos fases de vida, medidas en altura (cm), donde se destacan: plántula > 80%, respecto a juvenil 1 entre 10–20% (Fig. 13); en plantación forestal de acacias, pastizal y pajonal frailejón las plántulas superaron el 80%, mientras que arbustal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

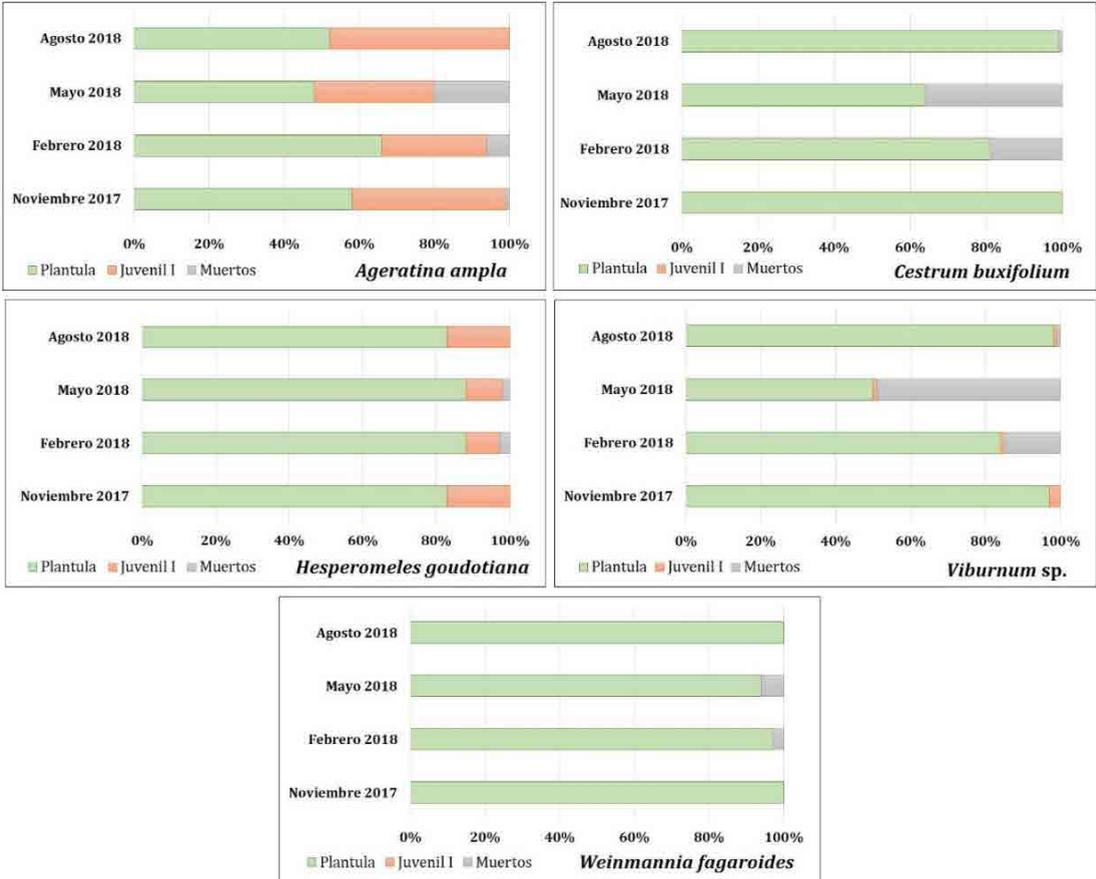
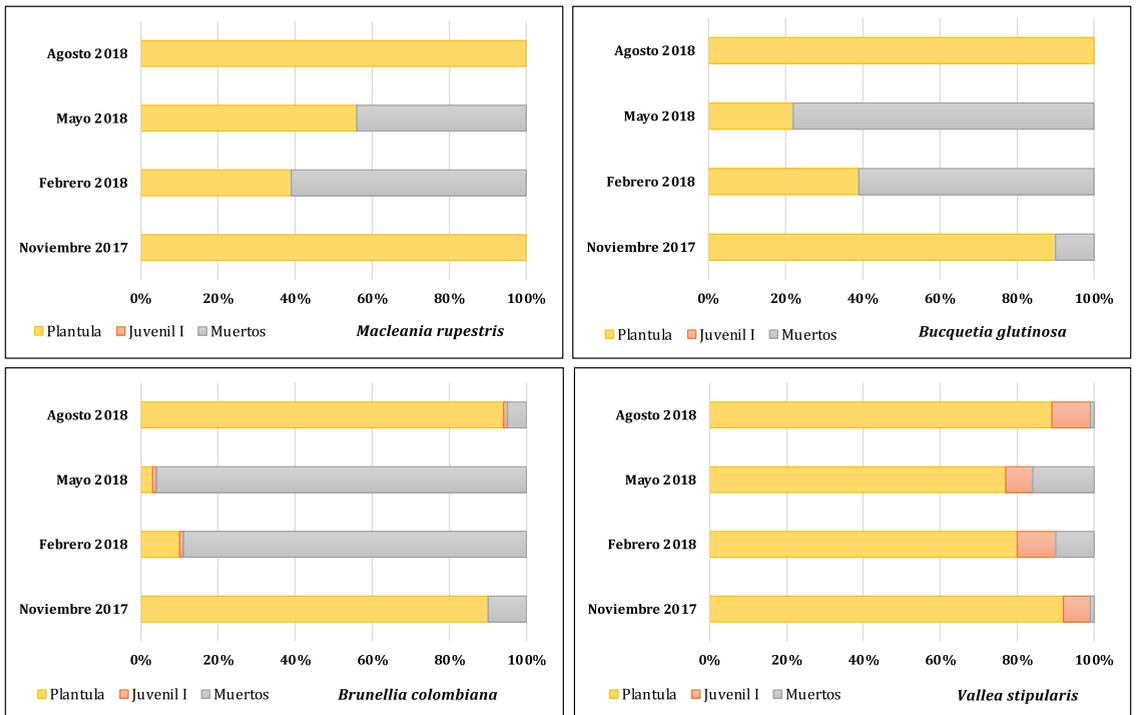


Figura 15. Distribución de edades por especies para la cobertura de pajonal-frailejonal.

## Distribución de edades por especie – Arbustal

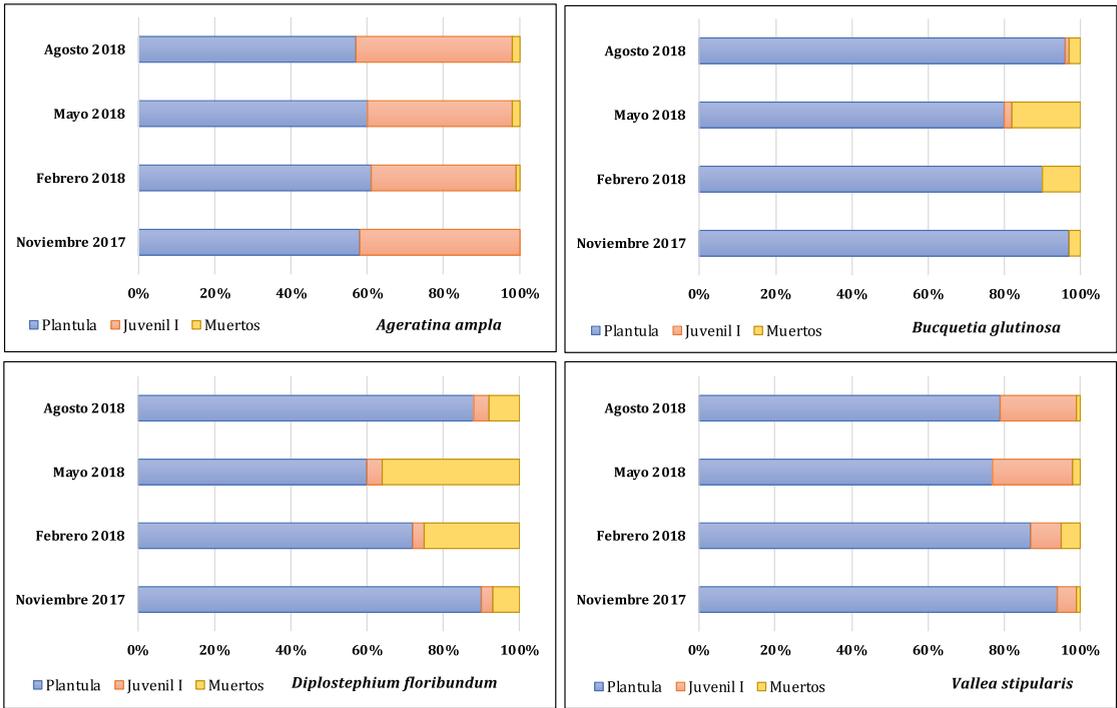
*Vallea stipularis* presentó mejor establecimiento en la plantación con más del 80% en plántula, mientras que *Brunellia colombiana*, *Bucquetia glutinosa* y *Macleania rupestris* se vieron afectadas por las heladas en plántulas (Fig. 16).



**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, *Displostephium floribundum* tuvo mortalidad menor del 10% (Fig. 17).



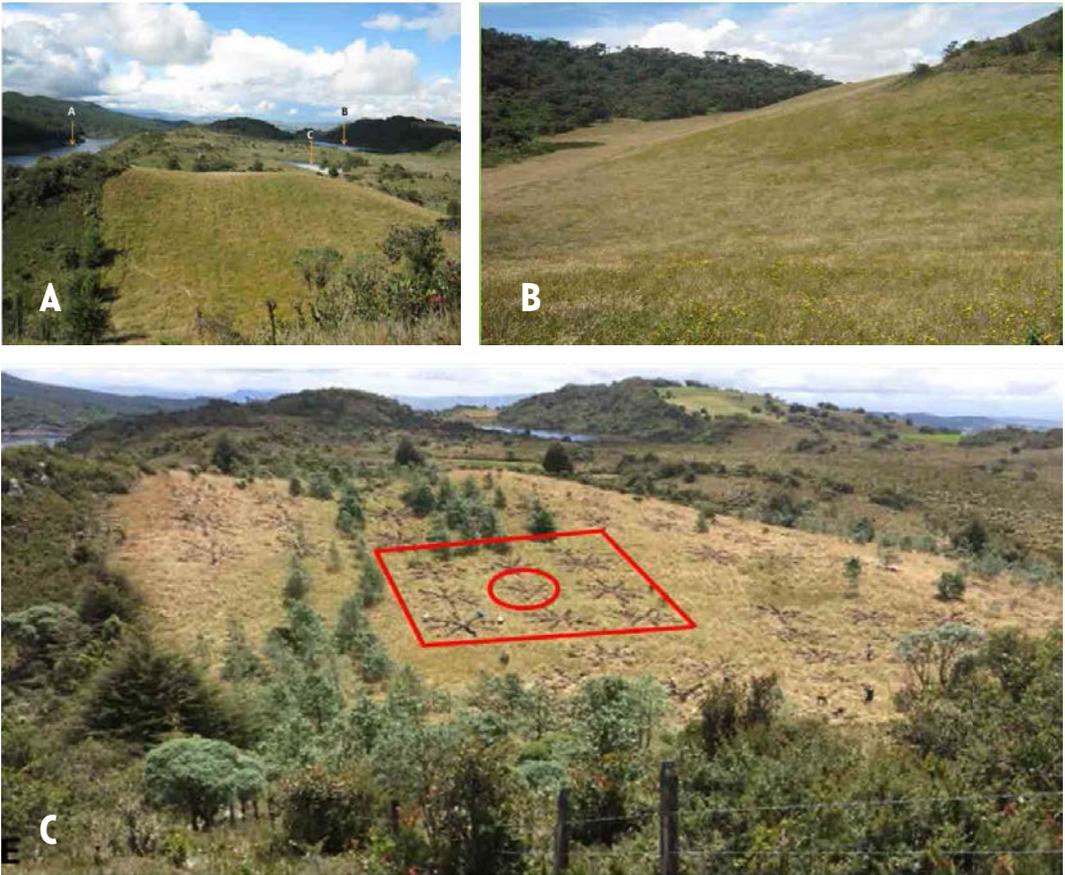
**Figura 17.** Distribución de edades por especies para la cobertura plantación forestal de acacias.

## 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  $\text{cm}^2$ ), 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  $3750 \text{ cm}^2$ , 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 ( $1377 \text{ cm}^2$ ).

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).

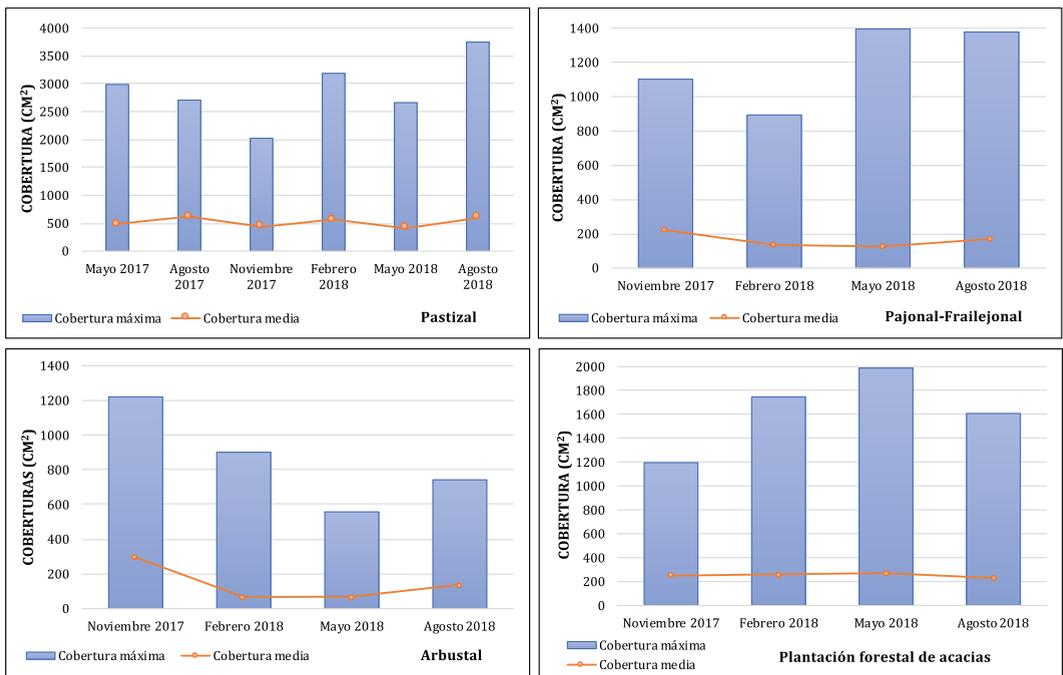


Figura 19. Cambio de la cobertura vegetal estimada para las plantaciones realizadas en cada cobertura.

## 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	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>9</b>

## Mariposas (Lepidoptera: Rophalocera)

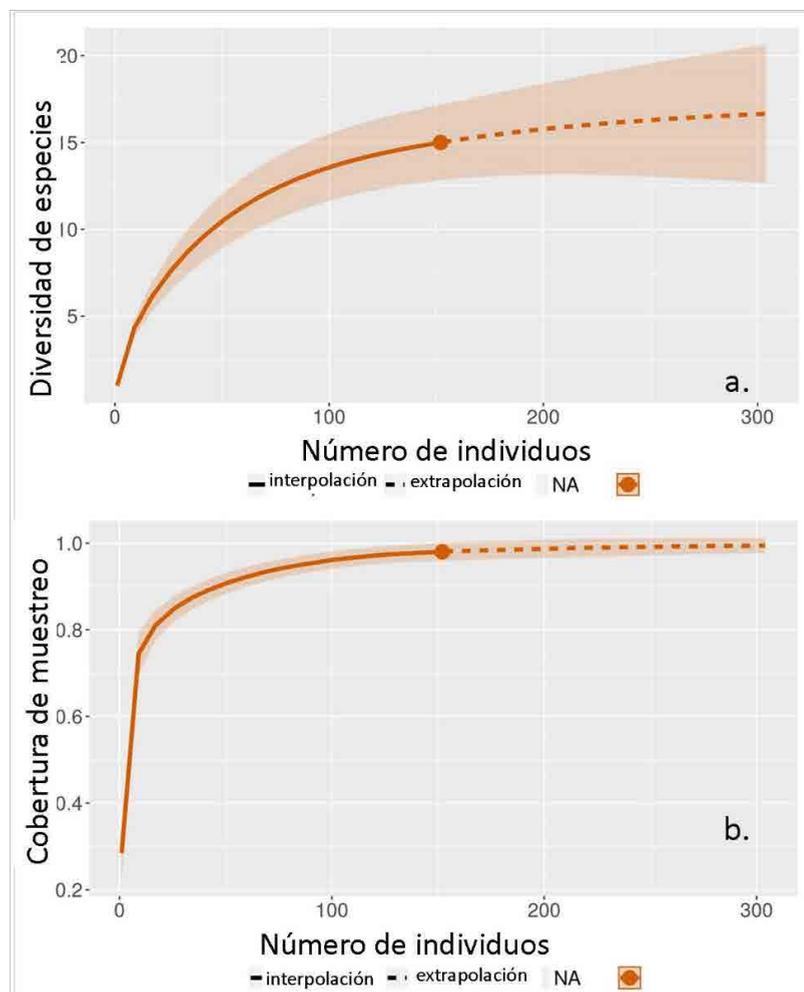
Para evaluar el cambio en las diversidades de mariposas en el Páramo de Rabanal como indicador del éxito de la intervención, se muestrearon las coberturas descritas previamente, usando los mismos métodos de trampeo (capítulo 2, metodología, recorridos libres con red entomológica y trampas tipo Van-Somer 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 HesperIIDae 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
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>110</b>	<b>12</b>	<b>152</b>

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>Hesperinae</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
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>32</b>	<b>78</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>152</b>

**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).

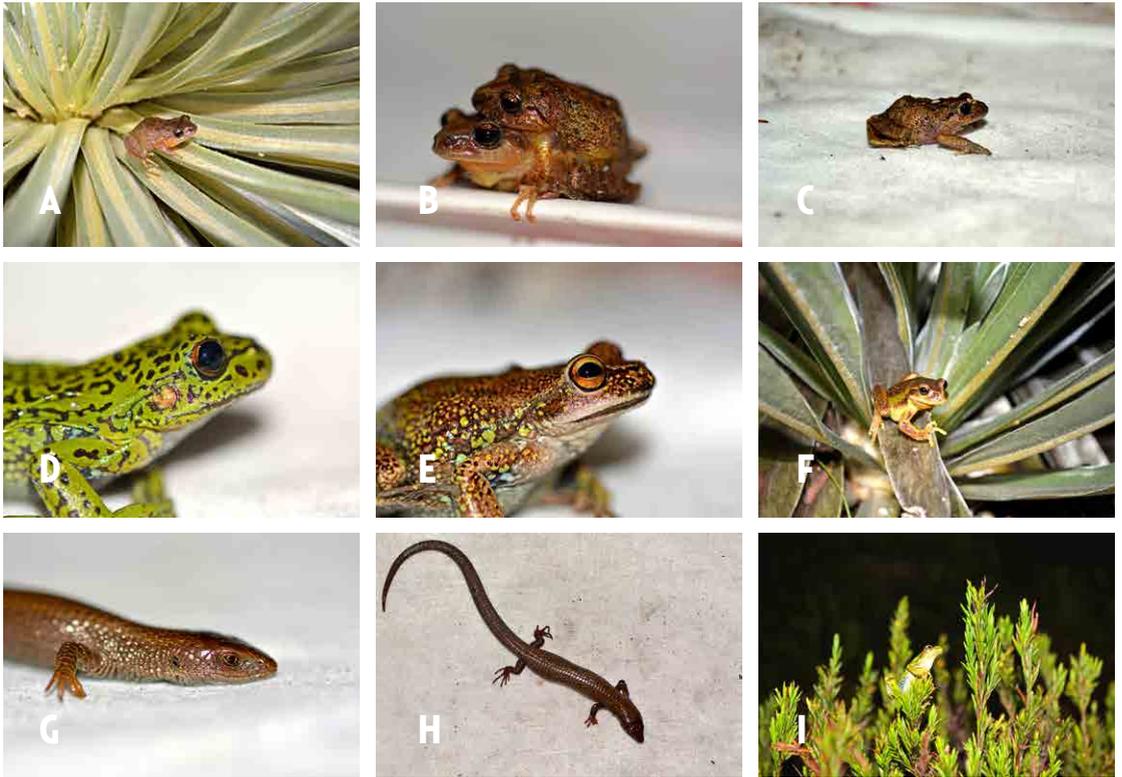
Como organismos ectotérmicos, los anfibios y reptiles dependen de la ganancia o pérdida de calor que le proporcionen los hábitats y microhábitats en sitios donde se llevan a cabo los procesos de sucesión ecológica (Tigmotermia: ganancia de calor a través del suelo y heliotermia: ganancia de calor a través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



# CAPÍTULO 5 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ANDINO EN LA VEREDA MONSERRATE (SABANALARGA, CASANARE): DIAGNÓSTICO Y DISEÑO



**Jeison Adrián Olaya-Angarita<sup>1</sup>, William Javier Bravo-Pedraza<sup>1</sup>, Judier Karely Melgarejo-Colmenares<sup>1</sup>, Diana Patricia Caro-Melgarejo<sup>1-2</sup>, Oscar Felipe Moreno-Mancilla<sup>1</sup>, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco<sup>1</sup>, Javier Andrés Muñoz-Avila<sup>1-2</sup>, Andrés Felipe Morales-Alba<sup>1-2</sup>, John Edison Reyes Camargo<sup>1</sup>, Wilderson Medina<sup>1</sup>, Gerson Peñuela-Díaz<sup>3</sup>, David Ricardo Hernández-Velandia<sup>1-2</sup>, Mauricio Gámez Rodríguez<sup>4</sup>, Wilmer Mora Espitia<sup>4</sup>, Luis Fernando Prado-Castillo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Sistemática Biológica, Herbario UPTC, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

<sup>2</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

<sup>3</sup>eQualTravel

<sup>4</sup>Habitantes de la zona y apoyo en actividades de campo.

# ÁREA DE ESTUDIO

El piedemonte llanero se sitúa en la base oriental de la cordillera Oriental, es una estrecha franja ubicada entre 200 y 1000 m de altitud, con temperaturas medias de 23 a 30°C y un régimen de lluvias biestacional con 3500 a 4500 mm/año (IGAC, 1992); geográficamente, comienza al norte en el Río Arauca y termina al sur en la serranía de La Macarena, y corresponde a las franjas occidentales de los departamentos de Meta, Casanare, Arauca y parte del sector oriental de Cundinamarca y Boyacá.

Históricamente, el piedemonte ha sido asentamiento de comunidades indígenas y de las primeras poblaciones de corte hispano en la región; en la actualidad, es el sector más habitado de los llanos orientales de Colombia. Según el CORPES (1990): Villavicencio, Yopal, Tame, Saravena, Villanueva, Aguazul y Granada, son municipios que ejemplifican la urbanización acelerada en un área que coincide con algunos de los más grandes reservorios petrolíferos. Es la existencia de estas importantes reservas de hidrocarburos, una de las principales causas del desarrollo de la región, al igual que uno de los principales agentes de cambio y generador de conflictos socioambientales.

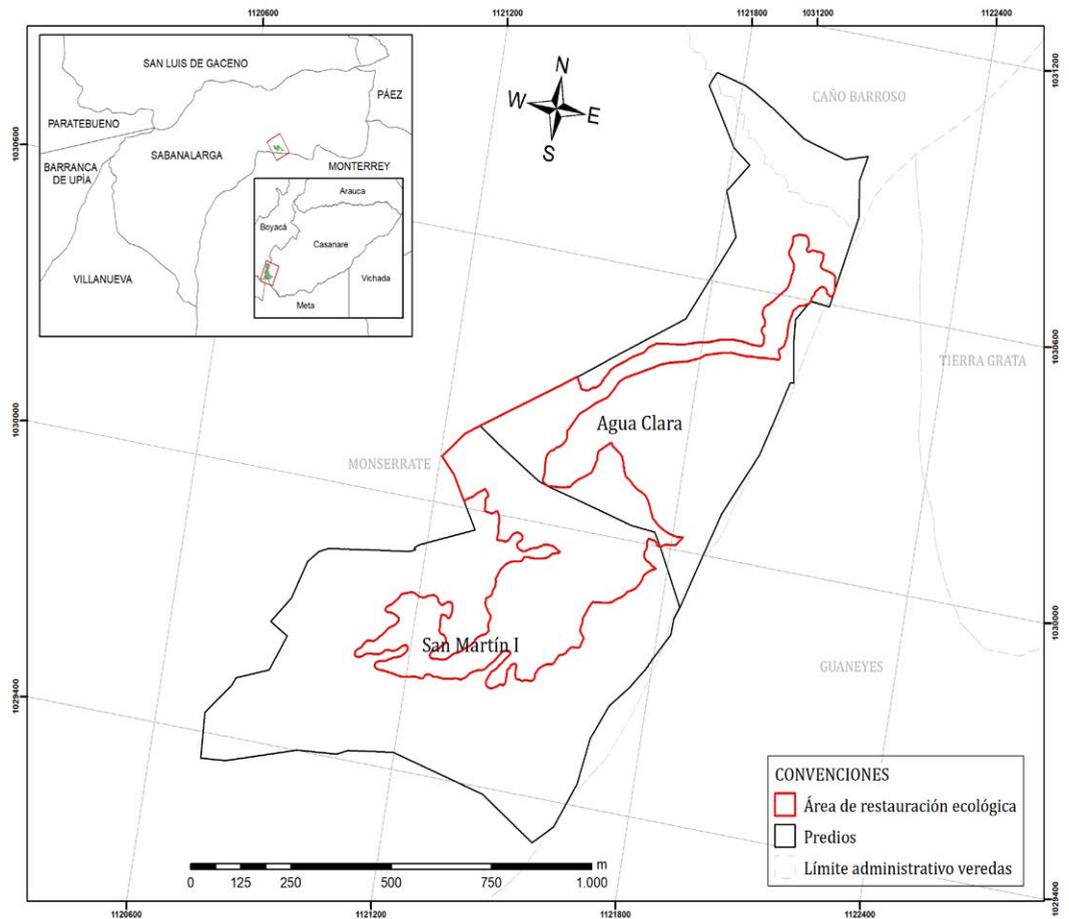
Adicionalmente, este hábitat es más fértil y presenta amplia precipitación durante la época seca que los llanos, razón por la que sus bosques son más densos y tienen mayor diversidad en comparación con los bosques de galería, además de contar con especies endémicas, principalmente del grupo de los mamíferos (Fajardo et al., 1998).

El departamento del Casanare tiene una extensión de 44640 km<sup>2</sup> (3,91% del territorio nacional) y se encuentra entre los 4°17'25" y 6°20'45" N, y 69°50'22" y 73°04'33" W (Gobernación de Casanare, 2018).

El municipio de Sabanalarga se ubica al suroccidente de Casanare, limita al norte con Monterrey y Páez (Boyacá), al sur con Villanueva y Barranca de Upía (Meta),

al oriente con Monterrey, y al occidente con San Luis de Gaceno (Boyacá) (Alcaldía Municipal de Sabanalarga, 2018). Se encuentra sobre una meseta al este de la cordillera Oriental y hace parte de una red hídrica de 14 microcuencas, en una zona tectónicamente activa considerada de alta sismicidad (Alcaldía Municipal de Sabanalarga, 2019).

En la Figura 1., se presenta el área definida en la vereda Monserrate (4°51'15" N y 73°02'39" W) donde se ejecutan las acciones de restauración, en 25 ha que correspondían a bosque subandino, y fueron áreas altamente degradadas por ampliación de la frontera agropecuaria y plantaciones de especies forestales exóticas; luego del abandono, arribaron gramíneas exóticas y dominaron extensas áreas, y se observa en menor proporción, vegetación nativa del tipo matorrales y rastrojos.



**Figura 1.** Ubicación de las 25 ha en proceso de restauración ecológica, en el municipio de Sabanalarga, Casanare, zonal rural del municipio, en las veredas Monserrate, particularmente, en las áreas denominados: San Martín I y Agua Clara. La línea roja delimita el perímetro de las 25 ha en proceso de restauración.

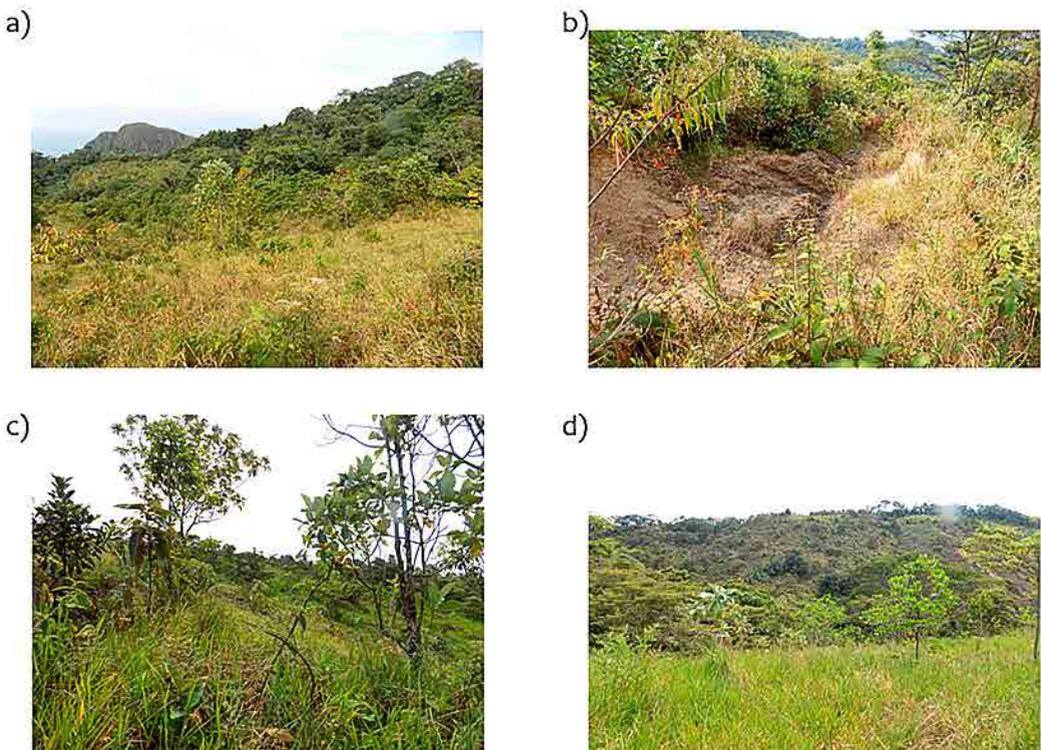
# DIAGNÓSTICO

## COMPONENTE ECOLÓGICO

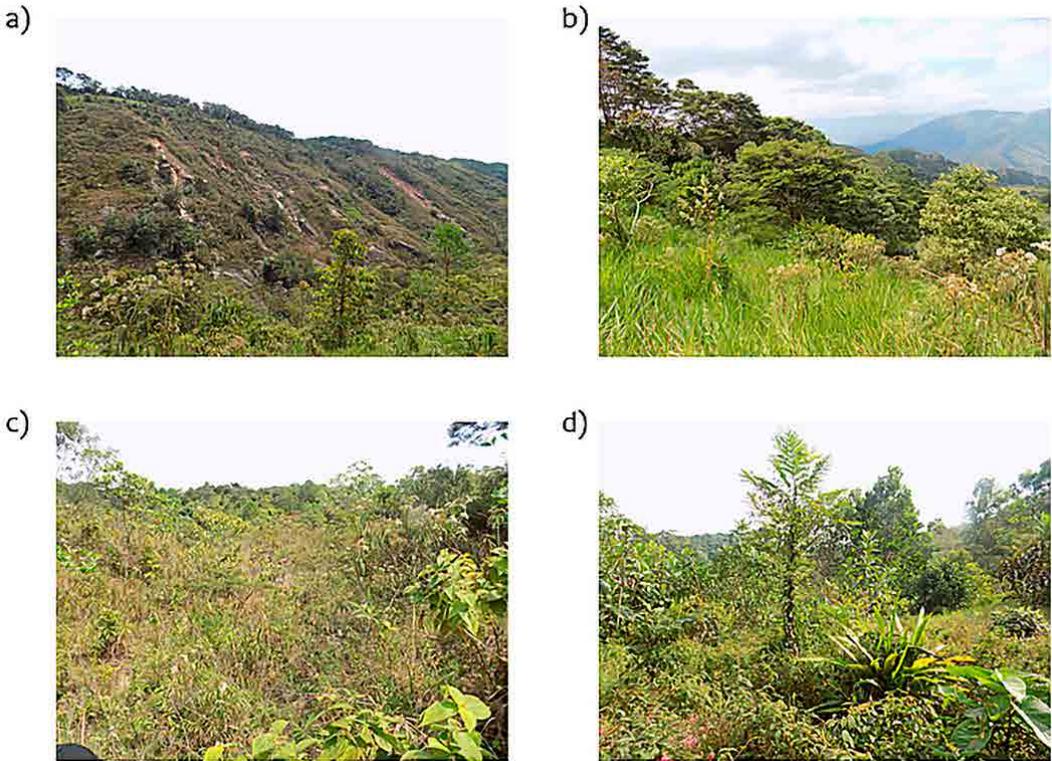
### Flora

En las 25 ha intervenidas se evidenció una matriz dominante de pastizales con especies de etapas del bosque subandino y de plantaciones de especies forestales nativas y exóticas abandonadas (Figs. 2 y 3). De acuerdo con las características biofísicas, se identificaron las áreas de restauración teniendo en cuenta servicios ecosistémicos como biodiversidad y regulación hídrica.

Para el área de estudio se consideraron situaciones de manejo definidas tres fuentes de información: a) las comunidades locales en referencia a los conflictos socioambientales y el régimen de disturbio; b) la Alcaldía Municipal sobre desafíos y retos para abordar la conservación de la estructura ecológica municipal, y c) la generación de información primaria de línea de base.



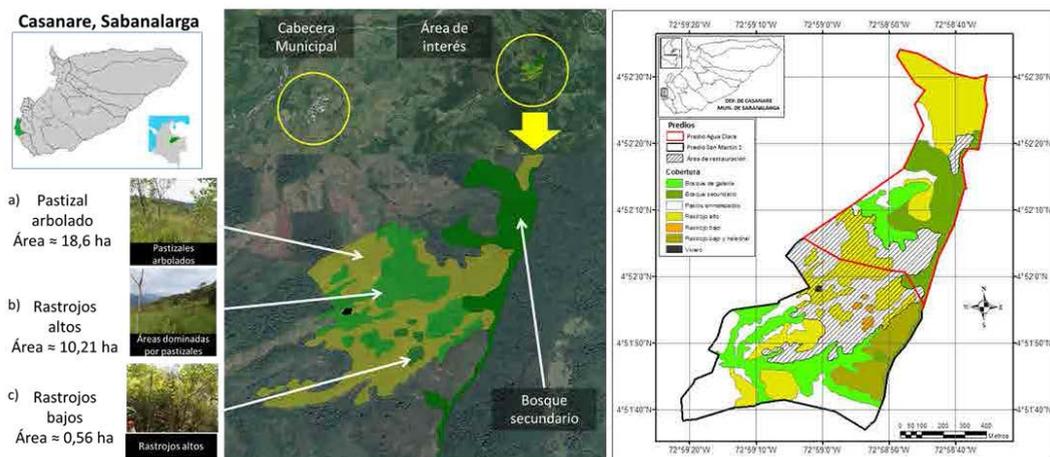
**Figura 2.** Aspectos relevantes del área intervenida. **a)** Bordes de avance de bosque subandino secundario sobre pastizales abandonados; **b)** Procesos de erosión hídrica; **c)** Núcleos de regeneración natural sobre pastizales; **d)** Plantaciones de especies forestales exóticas y nativas sobre pastizales sin manejo reciente.



**Figura 3.** Aspectos relevantes del área intervenida. **a)** Zonas de ronda hídrica muy escarpadas con baja densidad de cobertura forestal y con evidencias de derrumbes periódicos; **b)** Bordes de avance con plantaciones forestales sin manejo reciente; **c)** Rastrojos bajos y abiertos; **d)** Presencia de especies exóticas en todos los estratos (herbáceas, gramíneas, enredaderas y árboles).

En el área de restauración se identificaron cinco prioridades: 1) la ganadería intensiva y actividades culturales asociadas; 2) el establecimiento de especies de gramíneas exóticas con potencial invasor; 3) la necesidad de fortalecer la relación gente-medio natural; 4) la necesidad de posicionar al área en su función ecológica y al papel de la educación ambiental, y 5) los vacíos de conocimiento sobre los atributos de la biodiversidad y los procesos que hacen parte de estos ecosistemas.

A partir de la zonificación ecológica del área de interés (Fig. 4), se seleccionaron como áreas prioritarias los pastizales abandonados, sectores de bosque ripario, y rastrojos altos y bajos.



**Figura 4.** Tipos de coberturas en áreas de interés. **a)** Zonas de pastoreo abandonadas y colonización de especies de bosque subandino; **b)** Zonas de pastoreo con abandono tardío y rastrojos; **c)** Zonas de pastoreo con abandono temprano y rastrojos abiertos/bajos. Se observan referencias ecológicas más avanzadas como es el bosque secundario.

Según leyenda nacional de coberturas de la tierra (IDEAM, 2010), soporte en la verificación de campo (para delimitación de coberturas, escala 1:1), las coberturas caracterizadas correspondieron a las siguientes designaciones:

- **Bosque abierto alto de tierra firme (CLC: 31211):** correspondió a los bosques secundarios según IDEAM (2010), coberturas constituidas por árboles de distribución regular, con formación de un dosel continuo y alturas hasta de 15 m.

*Características fisionómicas:* comunidad conformada por vegetación leñosa de hasta 22 m, con coberturas hasta de 150 m<sup>2</sup>; el terreno caracterizado cuenta con pendientes entre los 25-45°, luminosidad 20% y espesor de materia orgánica entre 25-50 cm.

*Composición y riqueza:* la riqueza es de 60 especies, en 44 géneros y 28 familias. Familias representativas por riqueza son: Lauraceae (4 géneros/ 9 especies), Clusiaceae (4/6), Rubiaceae (3/5), Bromeliaceae (3/4), entre otras; las 12 familias más ricas incluyen el 64% de los géneros y el 73% de las especies, mientras que, los 10 restantes están representados con una especie (28%).

- **Bosque de galería (CLC: 314):** correspondió al tipo fisionómico de bosque asociado a las quebradas presentes en las áreas de Aguaclara y San Martín 1; según IDEAM (2010), es una cobertura constituida por vegetación arbórea ubicada en márgenes de cursos de agua permanentes o temporales.

*Características fisionómicas:* comunidad conformada por vegetación leñosa de hasta 22 m, con coberturas hasta de 120 m<sup>2</sup>; el terreno caracterizado cuenta con

pendientes de 10-35°, luminosidad hasta 25% y espesor de materia orgánica entre 10-60 cm.

*Composición y riqueza:* la riqueza es de 56 especies, en 41 géneros y 29 familias, con representación de riqueza de, Rubiaceae (4 géneros/ 7 especies), Myrtaceae (5/6), Lauraceae (2/5), Cecropiaceae (2/3), entre otras; las 11 familias más ricas incluyen el 56% de los géneros y el 68% de las especies, los 18 restantes están representadas con una especie (32%).

- **Vegetación secundaria o en transición (CLC: 323):** correspondió al tipo fisionómico de arbustal alto y bajo (rastros); según IDEAM (2010), es originada por el proceso de sucesión secundaria posterior al abandono de las áreas productivas.

*Características fisionómicas:* comunidad conformada por vegetación herbácea de hasta 2,4 m, con pocos individuos entre 3-12 m; el terreno caracterizado cuenta con pendientes entre 15-30°, luminosidad de 100% y sin materia orgánica.

*Composición y riqueza:* la riqueza es de 62 especies, en 55 géneros y 29 familias, con Cyperaceae (5 géneros/ 8 especies), Poaceae (5/7), Asteraceae (6/6), Melastomataceae (4/4), entre otras; las 11 familias más ricas, incluyen el 67% de los géneros y el 71% de las especies, el 29% de las especies conformaron las familias restantes.

## Fauna

- **Entomofauna**

Los insectos son artrópodos con una gran diversidad, representan aproximadamente el 85% de las especies animales vivientes y juegan un importante rol en las dinámicas ecológicas, debido a que ocupan todos los hábitats terrestres, incluyendo los ecosistemas de aguas continentales (Wahlberg et al., 2006). Además, la importancia funcional de los insectos es enorme, pues la gran variedad de relaciones intra e interespecíficas que presentan, les permiten interactuar con su entorno de distintas maneras, siendo parte fundamental, para el entendimiento de cualquier ecosistema; en este aparte se estudiaron los escarabajos coprófagos, las mariposas y las hormigas.

### *Escarabajos coprófagos*

Debido a que muchas especies de escarabajos coprófagos dependen de bosques nativos, sus comunidades son altamente vulnerables a la fragmentación y transformación de los hábitats naturales (Nichols et al., 2007; Gardner et al., 2008). Por lo tanto, han sido ampliamente estudiados como indicadores ecológicos de disturbios antrópicos (Nichols et al., 2007) y, recientemente, han sido propuestos como un grupo clave en el monitoreo de procesos de restauración ecológica debido a que su diversidad puede evidenciar un acercamiento a las características naturales del ecosistema que se quiere restaurar y con la diversidad de vertebrados, lo

que refleja procesos de colonización, abandono o uso de las nuevas coberturas por parte de estos últimos (Nichols et al., 2007, 2008).

*Composición y riqueza:* se recolectaron 36 especies (3578 individuos). Las especies que se encontraron en las cuatro coberturas muestreadas fueron: *Coprophanaeus telamón*, *Onthophagus* O8H / sp. 1, *Onthophagus bidentatus* y *Uroxys* aff. *braquialis*. Los géneros *Canthidium* y *Dichotomius* presentaron la mayor riqueza con seis especies cada uno; sin embargo, la abundancia de *Canthidium* fue mayor, donde *Canthidium* sp. 23H, se puede considerar como la especie dominante para el diagnóstico. Especies como *Canthidium* sp. 7, *Canthidium* sp. 8, *Dichotomius deyrollei*, *Dichotomius mamillatus*, *Eurysternus foedus* y *Sulcophanaeus auricollis* pueden considerarse como especies raras, debido a sus bajas abundancias respecto a las demás especies (Tabla 1).

**Tabla 1.** Abundancia de especies de escarabajos para las coberturas vegetales, en el área San Martín durante la fase Diagnóstico (T=0). **B1:** Bosque de Palma; **B2:** Bosque Secundario; **BR:** Bosque Ripario; **P:** Pastizal Enmalezado.

Especie	B1	B2	BR	P	Total
<i>Ateuchus</i> sp. 1	0	0	18	0	18
<i>Canthidium</i> sp. 23 H	359	464	457	0	1280
<i>Canthidium</i> sp. 27 H	105	142	29	0	276
<i>Canthidium</i> sp. 3	9	44	17	0	70
<i>Canthidium</i> sp. 5	25	3	8	0	36
<i>Canthidium</i> sp. 7	0	2	0	0	2
<i>Canthidium</i> sp. 8	3	0	1	0	4
<i>Canthon</i> aff. <i>cyaneus</i>	2	0	0	11	13
<i>Canthon angustatus</i>	7	1	52	0	60
<i>Canthon</i> sp. 1	19	26	62	0	107
<i>Coprophanaeus telamon</i>	1	22	14	24	61
<i>Deltochilum</i> sp. 1	13	7	14	0	34
<i>Deltochilum</i> sp. 2	4	9	16	0	29
<i>Dichotomius boreus</i>	0	0	12	0	12
<i>Dichotomius compresicollis</i>	3	0	32	0	35
<i>Dichotomius deyrollei</i>	0	0	0	2	2
<i>Dichotomius mamillatus</i>	0	2	1	0	3
<i>Dichotomius protectus</i>	20	52	0	0	72
<i>Dichotomius</i> sp. 1	6	10	3	0	19
<i>Eurysternus</i> aff. <i>contractus</i>	4	3	2	0	9
<i>Eurysternus caribaeus</i>	24	11	31	0	66
<i>Eurysternus foedus</i>	0	2	3	0	5
<i>Ontherus</i> aff. <i>diabolicus</i>	3	3	39	0	45
<i>Ontherus</i> aff. <i>kirschii</i>	26	11	0	1	38
<i>Onthophagus</i> O8H / sp. 1	34	9	313	1	357
<i>Onthophagus bidentatus</i>	7	14	143	3	167

Especie	B1	B2	BR	P	Total
<i>Onthophagus curvicornis</i>	12	17	1	3	33
<i>Onthophagus rubescens</i>	10	1	127	0	138
<i>Onthophagus sp._nov</i>	2	6	0	17	25
<i>Phanaeus cambeforti</i>	1	6	6	0	13
<i>Phanaeus meleagris</i>	56	32	0	0	88
<i>Scybalocanthon aff. kelleri</i>	7	11	0	0	18
<i>Sulcophanaeus auricollis</i>	1	0	1	0	2
<i>Uroxys aff. braquialis</i>	41	58	162	3	264
<i>Uroxys aff. cuprescens</i>	48	47	82	0	177
<b>Total</b>	<b>852</b>	<b>1015</b>	<b>1646</b>	<b>65</b>	<b>3578</b>

### Mariposas

El orden Lepidoptera representa el segundo orden con más especies dentro de los insectos. Las mariposas son componentes fundamentales de su hábitat, debido al papel relevante que cumplen en la transformación de materia vegetal y animal.

*Composición y riqueza:* se recolectaron 77 especies (159 individuos), y la especie más representativa fue *Heliconius erato hydara*, seguida de *Hermeuptychia harmonia*. Por otro lado, las coberturas con menor abundancia fueron el bosque y el pastizal (Tabla 2).

**Tabla 2.** Abundancia de especies de mariposas para las coberturas vegetales, en el área de San Martín 1 durante la fase Diagnóstico (T=0). **B1:** Bosque de Palma; **B2:** Bosque Secundario; **BR:** Bosque Ripario; **PE:** Pastizal Enmalezado.

Especie	B1	B2	BR	PE	Total
<i>Adelpha cytherea</i>	0	2	0	0	2
<i>Adelpha irmina tumida</i>	0	1	0	0	1
<i>Altinote stratomice stratonice</i>	0	0	1	0	1
<i>Autochton longipennis</i>	0	0	0	1	1
<i>Caligo prometheus prometheus</i>	1	2	1	0	4
<i>Callimormus sp. 1</i>	0	0	1	0	1
<i>Catonephele numilia esite</i>	1	0	0	0	1
<i>Catonephele salambria</i>	2	0	0	0	2
<i>Cissia penelope</i>	2	1	1	0	4
<i>Cupido comyntas</i>	0	0	0	1	1
<i>Danaus gilippus</i>	0	0	0	1	1
<i>Dismorphia crisis</i>	0	4	0	0	4
<i>Dryas iulia</i>	0	4	0	0	4
<i>Dyaetria clymena</i>	0	1	1	0	2
<i>Dynamine athemon</i>	0	0	2	0	2

<b>Especie</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>BR</b>	<b>PE</b>	<b>Total</b>
<i>Dynamine theseus</i>	0	0	1	0	1
<i>Dynamine tithia</i>	0	0	1	0	1
<i>Emesis aurimna</i>	2	3	1	0	6
<i>Enantia Albania</i>	0	2	0	0	2
<i>Episcada polita</i>	2	1	1	0	4
<i>Eresia polina</i>	1	1	0	0	2
<i>Eurema daira lydia</i>	0	0	0	2	2
<i>Eurema sp. 1</i>	0	1	0	1	2
<i>Greta andromica</i>	1	3	0	0	4
<i>Hamadryas fornax</i>	0	2	0	0	2
<i>Hamadryas laodamia saurites</i>	0	0	1	0	1
<i>Heliconius erato hydara</i>	2	5	2	1	10
<i>Heliconius numata messene</i>	3	1	1	0	5
<i>Heraclides thoas nealces</i>	0	1	0	0	1
<i>Hermeuptychia harmonia</i>	0	7	0	0	7
<i>Hermeuptychia hermes</i>	1	1	1	0	3
<i>Hesperiinae sp. 2</i>	0	0	0	1	1
<i>Hesperiinae sp. 4</i>	0	2	0	0	2
<i>Hesperiinae sp. 1</i>	0	0	2	0	2
<i>Hesperiinae sp. 2</i>	0	1	0	0	1
<i>Hesperiinae sp. 3</i>	0	2	0	0	2
<i>Hyaliris coeno</i>	1	0	2	0	3
<i>Hypscada illinissa sinilia</i>	0	1	0	0	1
<i>Hypothyris sp. 1</i>	0	1	0	0	1
<i>Hypothyris sp. 2</i>	0	2	0	0	2
<i>Ithomia iphianassa alienassa</i>	0	1	0	0	1
<i>Lamasina draudti</i>	1	0	0	0	1
<i>Laothus gibberosa</i>	0	1	0	0	1
<i>Leucochimona icare</i>	1	1	0	0	2
<i>Lieinix nemesis nemesis</i>	0	1	0	0	1
<i>Magneuptychia alcinoe</i>	0	1	0	0	1
<i>Magneuptychia libye</i>	0	1	0	0	1
<i>Magneuptychia sp. 1</i>	0	1	0	0	1
<i>Manataria maculata</i>	1	0	0	0	1
<i>Mechanitis aff. mazaesus</i>	0	2	0	0	2
<i>Megeuptychia antonoe</i>	0	1	0	0	1
<i>Melinaea sp. 1</i>	1	0	0	0	1
<i>Memphis perenna</i>	0	3	0	0	3

<b>Especie</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>BR</b>	<b>PE</b>	<b>Total</b>
<i>Mesosemia machaera dealbata</i>	3	0	0	0	3
<i>Morpho menelaus</i>	0	3	0	0	3
<i>Morpho theseus</i>	0	1	0	0	1
<i>Opsiphanes camena</i>	0	1	0	0	1
<i>Oressinoma typhla typhla</i>	0	1	0	1	2
<i>Panthiades bitias</i>	0	1	0	0	1
<i>Pareuptychia ocirrhoe</i>	2	1	1	0	4
<i>Patia orise</i>	0	0	1	0	1
<i>Phoebis argante</i>	0	0	0	1	1
<i>Pierella lamia chalybaea</i>	0	0	3	0	3
<i>Potamanaxas</i> sp. 1	2	0	0	0	2
<i>Prepona Laertes</i>	0	1	0	0	1
<i>Pyrrhogyra crameri</i>	0	0	1	0	1
<i>Pyrrhogyra edocla</i>	0	0	0	1	1
<i>Pyrrhopyge phidias</i>	0	1	0	0	1
<i>Siproeta epaphus epaphus</i>	0	3	0	0	3
<i>Strymon colombiana</i>	0	1	0	0	1
<i>Theclopsis demea</i>	0	1	0	0	1
<i>Theritas mavors</i>	0	1	0	0	1
<i>Thestius pholeus</i>	0	0	1	0	1
<i>Urbanus dorantes dorantes</i>	0	3	1	0	4
<i>Urbanus teleus</i>	0	2	0	0	2
<i>Urbanus viterboana</i>	0	1	0	0	1
<i>Yphthimoides</i> sp. 1	0	2	0	1	3
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>89</b>	<b>28</b>	<b>12</b>	<b>159</b>

## Hormigas

Las hormigas son organismos conocidos por su capacidad de formar colonias altamente organizadas de miles y hasta millones de individuos, aunque varias especies pueden ser cazadoras que deambulan solitarias en el suelo (Hölldobler & Wilson, 1990). En el saber común son conocidas porque suelen habitar en casas y jardines, incluso en algunos lugares de Colombia son parte del folclor culinario y gastronómico. En los ecosistemas naturales, su presencia es de enorme importancia, pues al construir las colonias, el proceso de remoción del suelo mejora características como su textura y pH, además que contribuye a la mineralización y flujo de nutrientes (Wilson, 2000; Lafleur et al.,

2005). De igual forma, contribuyen en la formación estructural de las coberturas vegetales, ya que en su actividad cotidiana, recolectan, trasladan y entierran semillas de diferentes especies de plantas (proceso denominado dispersión de semillas); esto hace que sean importantes en procesos de restauración tanto espontánea como dirigida de bosques (Domínguez-Haydar & Armbrrecht, 2011).

Este grupo de insectos perteneciente a la familia Formicidae (Hymenoptera), además de ser uno de los grupos de organismos más abundantes en la tierra, es altamente diverso: presenta casi 13000 especies descritas, y su taxonomía es relativamente bien estudiada con respecto a otros grupos del mismo orden (Bolton, 1994; Palacio & Fernández,

2003; Fernández & Arias-Penna, 2008). Esto hace que sea frecuentemente usado como grupo focal en bioindicación (Andersen & Brault, 2010), y recientemente propuesto para monitorear y evaluar procesos de conservación y restauración de ecosistemas (Arcila & Lozano-Zambrano, 2003; Jiménez-Carmona et al., 2015).

Específicamente, en cuanto al monitoreo y evaluación de procesos de restauración ecológica, las hormigas pueden ser una herramienta de gran importancia, ya que son el grupo más representativo de insectos de la edafofauna, que pueden ser fácilmente muestreados

y que además pueden permanecer durante mucho tiempo en el mismo nido. Esto hace que a través de su monitoreo se pueda extraer información ligada a la colonización o abandono de especies de acuerdo a las coberturas vegetales, y así validar el éxito de un proceso de restauración ecológica (Armbrecht et al., 2005).

*Composición y riqueza:* durante la fase diagnóstico se registraron un total de 14 morfoespecies de hormigas. Las coberturas con mayor presencia de morfoespecies fueron BR y B2 en donde se encontraron 8 y 7 especies respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3.** Presencia de morfoespecies de hormigas para las coberturas vegetales, en el área San Martín durante la fase Diagnóstico (T=0). **O:** Ausencia; **1:** Presencia. **B1:** Bosque Secundario 1; **B2:** Bosque Secundario 2; **BR:** Bosque Ripario 1; **PE:** Pastizal Enmalezado.

Morfoespecie	B1	B2	BR	PE	Total
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1	0	0	1	0	1
<i>Camponotus</i> sp. 1	0	1	0	0	1
<i>Camponotus</i> sp. 2	0	0	1	1	2
<i>Camponotus</i> sp. 3	0	0	1	1	2
<i>Camponotus</i> sp. 4	0	0	1	0	1
<i>Crematogaster</i> sp. 1	1	1	1	0	3
<i>Megalomyrmex</i> sp. 1	1	1	1	1	4
<i>Odontomachus</i> sp. 1	0	1	1	0	2
<i>Pheidole</i> sp. 1	1	0	0	0	1
<i>Pheidole</i> sp. 2	0	1	0	0	1
<i>Pheidole</i> sp. 3	1	1	0	1	3
<i>Pheidole</i> sp. 4	0	0	0	1	1
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 1	0	1	0	0	1
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 2	0	0	1	0	1
Total	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>24</b>

### • **Avifauna**

Colombia cuenta con una variada disponibilidad de ecosistemas, los cuales están amenazados por el incontrolado cambio de uso de suelo, principalmente causado por la deforestación para implementación de sistemas agropecuarios (Dirzo & García, 1992; Laurance et al., 2002; Etter et al., 2006). Como producto de la deforestación se encuentran la fragmentación, pérdida y degradación del hábitat, disminución de poblaciones de especies y pérdida de servicios ecosistémicos (Laurance

et al., 2002; Etter et al., 2006; Suazo-Ortuño et al., 2015).

A pesar de todos los problemas que enfrenta Colombia en cuanto al diseño de políticas fuertes en la protección y conservación de sus ecosistemas, sigue manteniendo su posición como el país más rico en aves del mundo (Salaman et al., 2009; Del Hoyo & Collar, 2014), con un total de 1918 especies.

Para la región de la Orinoquía, en especial para el piedemonte llanero, son escasas las publicaciones o colecciones científicas. La información disponible se relaciona más con informes técnicos de estudios ecológicos y ambientales, en los que se reportan 783 especies de aves (McNish, 2007), si se consideran como límites el Río Guayabero, la Serranía de la Macarena, Río Orinoco y estribaciones del escudo de Guyanas. Usma & Trujillo (2011), presentan una aproximación de la ornitofauna del departamento en el que se reportaron un total de 507 especies, distribuidas en 67 familias y 23 órdenes. Laverde & Gómez (2016), para Santa María (Boyacá) registran 350 especies, y Peñuela-Díaz et al. (2016), para el sector de Cuchillas Negras y Guaneque (Boyacá) 265 especies. Esta alta biodiversidad está relacionada con una gran diversidad de paisajes, que integra elementos naturales propios de la planicie de la Ecoregión Llanos y el piedemonte de la Ecoregión Villavicencio-Apure (Usma & Trujillo, 2011; Laverde & Gómez, 2016).

**Composición y riqueza:** se registraron 113 especies de aves que se distribuyen en 17 órdenes y 38 familias. El más representativo es Passeriformes con 70 especies, en 18 familias, seguido del orden Piciformes (toritos, carpinteros y tucanes), con 10 especies y tres familias. Otros órdenes como Apodiformes (vencejos y colibríes) con seis especies, una de la familia Apodidae y cinco de la familia Trochilidae. Los órdenes restantes entre una y cuatro especies respectivamente (Tabla 4).

**Tabla 4.** Lista de especies de aves reportadas en el municipio de Sabanalarga, Casanare. Gr: granívoro, Fr: Frugívoro, Cr: Carroñero, Ca: Carnívoro, In: Insectívoro.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL	DIETA
TINAMIFORMES	Tinamidae	<i>Crypturellus soui</i>	Tinamú chico	0-1500	Gr
		<i>Crypturellus cinereus</i>	Tinamú cenizo	0-500	Gr
GALLIFORMES	Cracidae	<i>Ortalis guttata</i>	Guacharaca variable	0-1400	Fr
		<i>Penelope argyrotis</i>	Pava canosa	350-2800	Fr
CATHARTIFORMES	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Guala cabecirroja	0-2500	Cr
		<i>Coragyps atratus</i>	Gallinazo negro	0-3600	Cr
		<i>Rupornis magnirostris</i>	Gavilán caminero	0-2500	Ca
ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	<i>Elanoides forficatus</i>	Aguillita tijereta	0-2500	Ca
		<i>Buteo platypterus</i>	Gavilán aliancho	0-2500	Ca
		<i>Buteo nitidus</i>	Gavilán saraviado	0-500	Ca
GRUIFORMES	Rallidae	<i>Aramides cajaneus</i>	Chilacoa colinegra	0-2000	In
FALCONIFORMES	Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo americano	0-3000	Ca
		<i>Falco rufigularis</i>	Halcón murcielaguero	0-2200	Ca
		<i>Milvago chimachima</i>	Pigua	0-2500	Ca
		<i>Herpetotheres chachinnans</i>	Halcón reidor	0-2500	Ca
		<i>Colombina talpacoti</i>	Tortolita rojiza	0-2500	Gr
COLUMBIFORMES	Columbidae	<i>Patagioenas cayennensis</i>	Paloma morada	0-1500	Fr
		<i>Zenaida auriculata</i>	Torcaza naguiblanca	0-3000	Gr
		<i>Leptotila verreauxi</i>	Rabiblanca	0-2800	Gr
PSITTACIFORMES	Psittacidae	<i>Forpus conspicillatus</i>	Periquito de anteojos	0-2300	Fr
CUCULIFORMES	Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero piquiliso	0-2600	In
		<i>Piaya cayana</i>	Cuco-ardilla común	0-2800	In
STRIGIFORMES	Strigidae	<i>Megascops choliba</i>	Currucutú	0-2800	Ca
NYCTIBIIFORMES	Nyctibiidae	<i>Nyctibius grandis</i>	Bienparado grande	0-1200	In

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL	DIETA
APODIFORMES	Apodidae	<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejo collarejo	300-2500	In
	Trochilidae	<i>Phaethornis hispidus</i>	Ermitaño barbiblanco	0-1000	Nec-In
		<i>Phaethornis griseogularis</i>	Ermitaño gorgogris	500-1600	Nec-In
		<i>Phaethornis guy</i>	Ermitaño verde	800-2700	Nec-In
		<i>Chalybura buffonii</i>	Colibrí de buffon	0-2000	Nec-In
	<i>Saucerottia viridigaster</i>	Amazilia colimorada	500-1500	Nec-In	
CORACIIFORMES	Momotidae	<i>Momotus momota</i>	Barranquero coronado	0-1400	Om
TROGONIFORMES	Trogonidae	<i>Trogon viridis</i>	Trogón coliblanco	0-1200	Om
GALBULIFORMES	Galbulidae	<i>Galbula tombacea</i>	Jacamar barbiblanco	0-1000	In
PICIFORMES	Capitonidae	<i>Capito auratus</i>	Torito filigrana	0-1300	Fr
		<i>Eubucco bourcierii</i>	Torito cabecirrojo	1200-1500	Fr-In
		<i>Pteroglossus castanotis</i>	Pichí bandirrojo	0-1200	Om
	Ramphastidae	<i>Aulacorhynchus haematomygus</i>	Tucancito culirrojo	500-2300	Om
		<i>Ramphastos vitellinus</i>	Tucán pechiblanco	0-1000	Om
	Picidae	<i>Picumnus squamulatus</i>	Carpinterito escamado	0-1600	In
		<i>Colaptes punctigula</i>	Carpintero pechipunteado	0-1500	In
		<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Carpintero habado	0-1800	In
		<i>Dryocopus lineatus</i>	Carpintero real	0-2200	In
		<i>Campephilus melanoleucus</i>	Carpintero marcial	0-2000	In
	Thamnophilidae	<i>Myrmeciza longipes</i>	Hormiguero pechiblanco	0-1800	In
		<i>Myrmoborus leucophrys</i>	Hormiguero cejiblanco	0-800	In
		<i>Dysithamnus mentalis</i>	Hormiguero tiznado	300-2400	In
	Grallariidae	<i>Grallaricula ferruginepectus</i>	Tororoí ferruginoso	700-2000	In
	Furnariidae	<i>Synallaxis albescens</i>	Chamicero buchiblanco	0-1800	In
		<i>Dendroplex picus</i>	Trepatroncos pico-de-lanza	0-700	In
		<i>Leptopogon superciliaris</i>	Atrapamoscas sepia	500-2100	In
		<i>Todirostrum cinereum</i>	Espatulilla común	0-2200	In
		<i>Elaenia flavogaster</i>	Elaenia copetona	0-2400	In
<i>Zimmerius chrysops</i>		Tiranuelo cejiamarillo	1000-2400	In	
<i>Mionectes oleagineus</i>		Atrapamoscas ocráceo	0-1300	In	
Tyrannidae		<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	Picoplano azufrado	0-1800	In
		<i>Tyrannus melancholicus</i>	Sirirí común	0-2800	In
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bichofué	0-1500	In
	<i>Myiozetetes cayanensis</i>	Suelda crestinegra	0-2000	In	
	<i>Megarynchus pitangua</i>	Bichofué picudo	0-1400	In	
	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Atrapamoscas cabecinegro	0-1800	In	
Pipridae	<i>Manacus manacus</i>	Saltarín barbiblanco	0-1000	Fr	
Tityridae	<i>Pachyramphus polychropterus</i>	Cabezón aliblanco	0-2000	Fr-In	

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL	DIETA
PASSERIFORMES	Vireonidae	<i>Vireo olivaceus</i>	Verderón ojirrojo	0-3400	Fr-In
	Corvidae	<i>Cyanocorax violaceus</i>	Carriquí violáceo	0-1200	Om
	Hirundinidae	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Golondrina barranquera	0-2200	In
		<i>Atticora tibialis</i>	Golondrina selvática	0-1100	In
		<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina tijereta	0-3000	In
		<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Golondrina alfarera	0-3000	In
	Troglodytidae	<i>Microcerculus marginatus</i>	Cucarachero ruiseñor	0-1500	In
		<i>Pheugopedius rutilus</i>	Cucarachero pechirrufo	0-2000	In
		<i>Thryophilus rufalbus</i>	Cucarachero cantor	0-1400	In
	Turdidae	<i>Turdus leucomelas</i>	Mirla buchiblanca	0-1800	Fr-In
		<i>Turdus ignobilis</i>	Mirla embarradora	0-2600	Fr-In
		<i>Turdus nudigenis</i>	Mirla caripelada	0-1600	Fr-In
		<i>Turdus albicollis</i>	Mirla collareja	0-1600	Fr-In
		<i>Catharus ustulatus</i>	Zorzal buchipecoso	0-1600	Fr-In
		<i>Catharus minimus</i>	Zorzal carigris	0-2300	Fr-In
	Mimidae	<i>Mimus gilvus</i>	Sinsonte común	0-2600	Fr-In
	Thraupidae	<i>Ramphocelus dimidiatus</i>	Cardenal carmesí	0-2200	Fr-In
		<i>Ramphocelus carbo</i>	Toche negro	0-1200	Fr-In
		<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo común	0-2600	Fr-In
		<i>Thraupis palmarum</i>	Azulejo palmero	0-2000	Fr-In
		<i>Tangara gyrola</i>	Tángara cabecirrufa	0-2000	Fr-In
		<i>Ixothraupis guttata</i>	Tángara pecosa	700-2000	Fr-In
		<i>Stilpnia cyanicollis</i>	Tángara real	700-2500	Fr-In
		<i>Stilpnia vitriolina</i>	Tángara rastrojera	600-2600	Fr-In
		<i>Tangara cayana</i>	Tángara triguera	0-600	Fr-In
		<i>Dacnis cayana</i>	Dacnis azul	0-1100	Fr-In
		<i>Cyanerpes cyaneus</i>	Mielero patirrojo	0-1200	Fr-In
		<i>Tachyphonus rufus</i>	Parlotero malcasado	0-1800	Fr-In
		<i>Coereba flaveola</i>	Mielero común	0-1500	Nec-In
		<i>Sporophila angolensis</i>	Arrocero buchicastaño	0-800	Gr
		<i>Sporophila intermedia</i>	Espiguero gris	0-2400	Gr
		<i>Sporophila nigricollis</i>	Espiguero capuchino	0-2200	Gr
		<i>Volatinia jacarina</i>	Espiguero Saltarín	0-2200	Gr
		<i>Saltator maximus</i>	Papayero	0-1800	Fr-In
		<i>Saltator coerulescens</i>	Saltador papayero	0-1300	Fr-In
		Passerellidae	<i>Arremon taciturnus</i>	Pinzón pectoral	0-800
	Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>	Piranga abejera	0-3000	Fr-In

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL	DIETA	
PASSERIFORMES	Parulidae	<i>Setophaga striata</i>	Reinita rayada	0-3000	In	
		<i>Setophaga ruticilla</i>	Candelita norteña	0-3000	In	
		<i>Setophaga fusca</i>	Reinita gorjinaranja	0-3200	In	
		<i>Mniotilta varia</i>	Cebrita trepadora	0-2500	In	
		<i>Basileuterus culicivorus</i>	Arañero cejiblanco	300-1800	In	
	Icteridae	<i>Cardellina canadensis</i>	Reinita de Canadá	0-3001	In	
		<i>Cacicus cela</i>	Arrendajo culiamarillo	0-700	Fr-In	
		<i>Psarocolius angustifrons</i>	Oropéndola variable	0-2500	Fr-In	
		<i>Psarocolius decumanus</i>	Oropéndola crestada	0-2600	Fr-In	
		<i>Molothrus bonariensis</i>	Chamón común	0-2600	Om	
		Fringillidae	<i>Euphonia laniirostris</i>	Eufonia gorgiamarilla	0-2400	Fr
			<i>Euphonia xanthogaster</i>	Eufonia buchinaranja	0-2500	Fr
			<i>Chlorophonia cyanea</i>	Clorofonia verdiazul	1000-2200	Fr-In
			<i>Chlorophonia pyrrhophrys</i>	Clorofonia ferruginosa	1500-3000	Fr-In

Las aves son consideradas de gran importancia en la dispersión de semillas y en los procesos de recuperación de los bosques y selvas (Figueroa & Castro, 2002; Barrantes & Pereira, 2002), ya que ingieren frutos y a través del vuelo defecan o regurgitan semillas en áreas lejanas (Figueroa & Castro, 2002). Para esta zona se reportaron 37 especies de aves frugívoras; entre las principales familias de este tipo de dieta están Cracidae, Columbidae, Psittacidae, Capitonidae, Vireonidae, Tityridae, Turdidae, Mimidae, Thraupidae, Icteridae y Fringillidae.

Especies con algún grado de endemismo presente en la zona de estudio fueron el periquito de anteojos (*Forpus conspicillatus*), el cardenal carmesí (*Ramphocelus dimidiatus*) y la tångara rastrojera (*Stilpnia vitriolina*) (Chaparro et al., 2013), y aunque son casi endémicas, no se encuentran en amenaza (IUCN, 2017; Renjifo et al., 2014, 2016).

Para las categorías CITES que hacen referencia al comercio de especies amenazadas de fauna y flora, se encontraron 14 especies en el apéndice II, en el que se incluyen especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, pero cuyo comercio debe controlarse con el fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia (CITES, 2017), ellas pertenecen a las familias Accipitridae (gavilanes y aguilillas), Falconidae (cernícalos

y piguas), Psittacidae (loros, pericos y guacamayas), Strigidae (búhos) y Trochilidae (colibríes).

Se realizó una revisión sobre las especies migratorias que llegan a Colombia (Peñuela, 2010; Naranjo et al., 2012) y se encontró que para el área de estudio 18 especies realizan algún tipo de migración. Se destacan las especies que realizan movimientos transfronterizos, donde se tienen 13 especies de las familias Accipitridae, Tyrannidae, Vireonidae, Hirundinidae, Turdidae, Cardinalidae y Parulidae.

#### • Mastofauna

En Colombia hay 471 especies de mamíferos (Alberico et al., 2000), con 92% de especies confirmadas y las demás con presencia probable, por su registro en los países fronterizos. Colombia se encuentra dentro de los cuatro países con mayor riqueza de especies de mamíferos del mundo junto con Brasil, Indonesia y México (Alberico et al., 2000). Solari et al. (2013), actualizaron la diversidad de especies de mamíferos de Colombia, el resultado fue un total de 492 especies nativas. La mayor riqueza de especies se da en los órdenes Chiroptera (198 especies) y Rodentia (122), pero existen 23 especies endémicas de roedores, contra solo siete de murciélagos.

De acuerdo con la actualización más reciente del listado de especies para Colombia planteada por

Ramírez-Chávez & Suárez-Castro (2014), se proyectan aproximadamente 518 especies de mamíferos para el país. Las mayores amenazas son la deforestación, la cacería y el comercio ilegal (Solari et al., 2013). Para la Orinoquía colombo-venezolana se han reportado 318 especies de mamíferos, representadas en 12 órdenes, 40 familias y 156 géneros (Ferrer et al., 2009; Peñuela et al., 2011; Mora-Fernández & Peñuela-Recio, 2013). Para la región solo se reportan dos especies de mamíferos endémicos: un primate nocturno (*Aotus brumbacki*) y un roedor (*Proechimys occconnelli*).

Se tuvieron en cuenta los trabajos disponibles de Usma & Trujillo (2011) y Pardo-Vargas & Payan-Garrido (2015).

**Composición y riqueza:** Para el grupo de mamíferos se registraron un total de siete especies. Por medio de observación directa, el aullador (*Alouatta seniculus*, Orden Primates) y la ardilla común (*Notosciurus granatensis*, Orden Rodentia) (Fig. 5A). Empleando cámaras trampa se obtuvieron datos de las especies *Didelphis marsupialis* (Orden Didelphimorphia) (Fig. 5B), *Nasuella olivacea* (Orden Carnivora) y *Coendou prehensilis* (Orden Rodentia) (Fig. 5C), *Tamandua tetradactyla* (Orden Pilosa) (Fig. 5D) y *Pecari tajacu* (Orden Artiodactyla). La especie *Pecari tajacu* fue encontrada en todas las coberturas de estudio, debido a los rastros que dejaron; según los expertos locales es muy perseguida por los cazadores dentro del área.



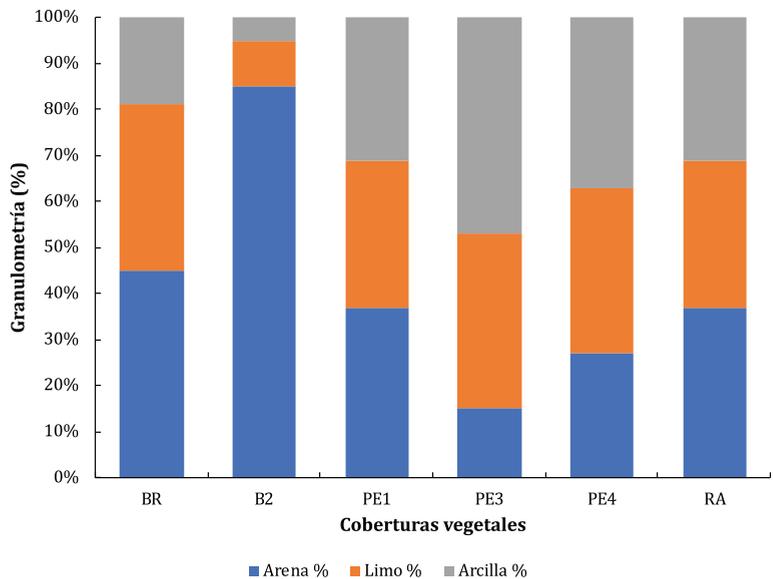
**Figura 5.** Registro de fauna en el área de intervención Sabanalarga, Casanare. **A.** *Notosciurus granatensis*; **B.** *Didelphis marsupialis*; **C.** *Coendou prehensilis*; **D.** *Tamandua tetradactyla*.

Ninguna de las especies de mamíferos de este estudio se encuentra en alguna categoría de amenaza (IUCN, 2017); en general, las especies registradas son típicas de ambientes altamente intervenidos (Tirira, 2007).

## Suelos

### • *Parámetros físicoquímicos*

Los suelos de las áreas de San Martín y Agua Clara, se caracterizan por grandes pendientes, topografía muy ondulada y el predominio de procesos erosivos; presentan una coloración amarillenta a rojiza, con texturas franco arenosas en la cobertura de bosque secundario y franco arcillosas en las demás coberturas. Estos suelos se encuentran clasificados dentro de los órdenes taxonómicos entisoles e inceptisoles, los cuales presentan un alto porcentaje de arenas y arcillas en comparación con los contenidos de limos (Fig. 6).

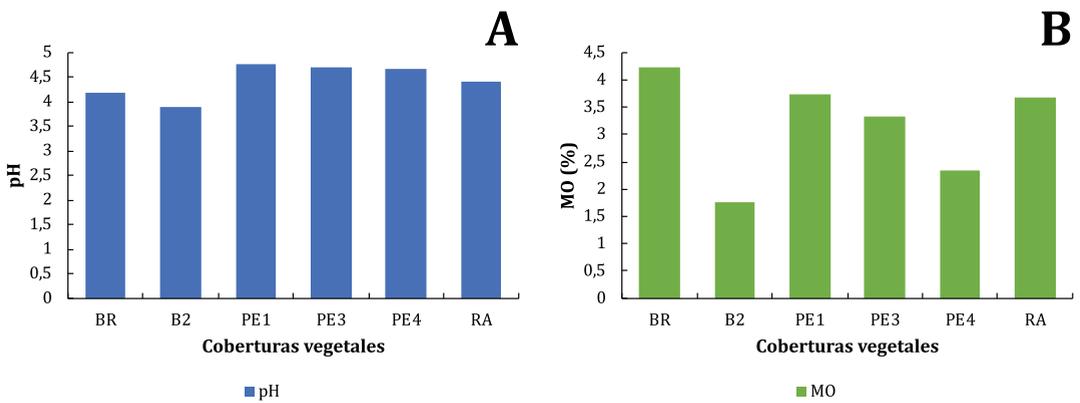


**Figura 6.** Granulometría de los suelos muestreados en coberturas vegetales en el municipio de Sabanalarga, Casanare. **B2.** Bosque secundario; **BR.** Bosque ripario; **PE1.** Pastizal enmalezado 1; **PE3.** Pastizal enmalezado 3; **PE4.** Pastizal enmalezado 4; **RA.** Rastrojo alto.

Según Arias et al. (2010), el tipo de suelo presente en las coberturas evaluadas, es muy permeable al aire, al agua y a las raíces, y con limitaciones como, bajo poder de retención de agua, y baja capacidad de almacenamiento de nutrientes; además, los suelos con texturas franco arcillosas, se caracterizan por ser aptos para retener grandes cantidades de agua y nutrientes, lo que asegura un óptimo crecimiento vegetal; sin embargo, al presentar gran capacidad impermeable, al secarse, se pueden generar daños en la estructura y en las propiedades físicoquímicas de los suelos, lo cual puede ocasionar pérdidas en la vegetación. Conjuntamente, según el tipo de textura del suelo, Huang et al. (2003), encontraron que, en los suelos

arenosos, la disponibilidad de contaminantes aumenta en comparación con los suelos arcillosos, debido principalmente a que las arcillas tienen mayor capacidad de adsorción que las arenas, por lo que las primeras pueden limitar los procesos de biodegradación.

Las coberturas vegetales analizadas presentaron suelos ácidos con valores de pH entre 3,9 a 4,7; el bosque secundario presentó mayor acidez, mientras que los pastizales enmalezados fueron menos ácidos (Fig. 7A). En términos de contenido de materia orgánica (MO), las coberturas de bosque ripario, pastizal enmalezado 1 y rastrojo alto, presentaron los valores más altos de este parámetro, mientras que el bosque secundario mostró los niveles más bajos (Fig. 7B). Aunque no se pudo apreciar un perfil orgánico en la cobertura de bosque secundario, sí se evidenció gran acumulación de hojarasca, que brindar nutrientes a las plantas.



**Figura 7.** Valores de **A.** pH y **B.** Materia orgánica (MO), registrados en coberturas vegetales en el municipio de Sabanalarga, Casanare. **B2.** Bosque secundario; **BR.** Bosque ripario; **PE1.** Pastizal enmalezado 1; **PE3.** Pastizal enmalezado 3; **PE4.** Pastizal enmalezado 4; **RA.** Rastrojo alto.

Según Mummey et al. (2002), el pH puede influir en los procesos de revegetación de un ecosistema; sin embargo, Martinsen et al. (2015), menciona que las condiciones de acidez en los suelos pueden tener efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas, ya que se genera una deficiencia de nutrientes esenciales como el P.

En suelos arcillosos tal y como se presentó en la mayoría de las coberturas muestreadas, la acumulación de MO es superior a la de suelos arenosos. En lo relacionado con los macro-nutrientes analizados, la concentración de P, Ca, Mg y K fue mayor en las coberturas de pastizal enmalezados y en el rastrojo alto, mientras que, en el bosque, estos nutrientes disminuyen. Por otro lado, los micro-nutrientes evaluados (Cu, Mn y Zn) se presentaron en bajas concentraciones en los suelos de las diferentes coberturas vegetales; aunque se aumenta en el pastizal enmalezado 1 (Tabla 5). Con respecto a elementos como Fe y Al, en el bosque ripario están las menores concentraciones, mientras que en las demás coberturas se presentaron altos valores, llegando a limitar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Martinsen et al., 2015).

**Tabla 5.** Análisis químicos de los suelos muestreados en las diferentes coberturas vegetales en el municipio de Sabanalarga, Casanare. **B2.** Bosque secundario; **BR.** Bosque ripario; **PE1.** Pastizal enmalezado 1; **PE3.** Pastizal enmalezado 3; **PE4.** Pastizal enmalezado 4; **RA.** Rastrojo alto.

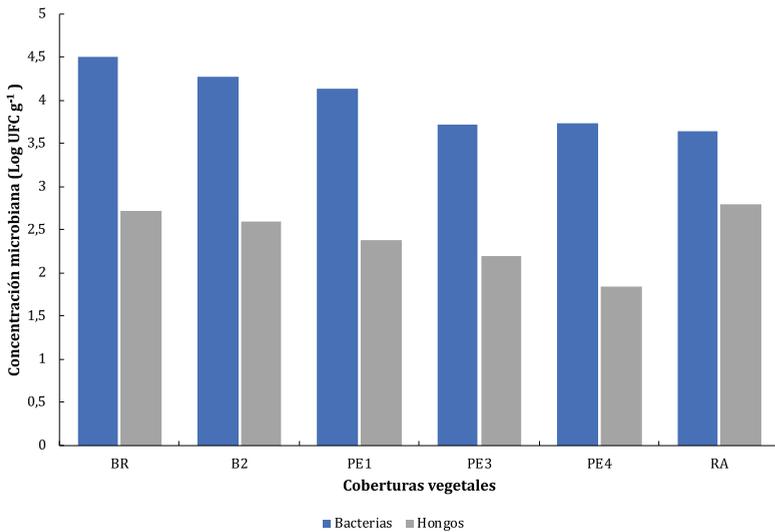
Análisis	Unidad	Cobertura vegetal					
		B2	BR	PE1	PE3	PE4	RA
P	(ppm)	5.46	5.46	7.95	7.95	7.48	7.95
Ca	(cmol/ Km <sup>-1</sup> )	0.28	0.32	0.54	0.33	0.28	0.51
Mg	(cmol/ Km <sup>-1</sup> )	0.12	0.08	0.29	0.13	0.09	0.26
K	(cmol/ Km <sup>-1</sup> )	0.11	0.07	0.12	0.13	0.1	0.09
Fe	(ppm)	131	20.9	63.5	46.2	70.12	95.33
Mn	(ppm)	1.2	1	24.79	5.19	8.06	7.42
Cu	(ppm)	0.23	0.28	0.77	0.13	0.46	0.54
Zn	(ppm)	0.79	0.67	1.33	0.67	0.23	1.07
CICE	(cmol/ Km <sup>-1</sup> )	7.97	1.44	7.16	8.8	5.88	5.47
Al	(%)	57.72	34.72	69.83	77.27	68.03	69.47

En todas las coberturas, se evidenció que las concentraciones de los macro y micro-nutrientes pudieron ser afectadas por el pH, el contenido de MO, la textura y la aireación, afectando probablemente la disponibilidad de estos nutrientes, los cuales cumplen con 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).

- **Parámetros microbiológicos**

Los suelos de las dos áreas en Sabanalarga presentaron una concentración bacteriana de 4,5 Log UFC g<sup>-1</sup> y de 2,4 Log UFC g<sup>-1</sup> para el caso de hongos filamentosos, siendo el bosque ripario, la cobertura

que presentó la mayor abundancia de estos microorganismos, mientras que el pastizal enmalezado 4 muestra los valores más bajos de UFC (Fig. 8). Se aislaron un total de seis géneros bacterianos y cinco fúngicos, en donde la cobertura de bosque secundario presenta el mayor número de microorganismos aislados, seguido de pastizal enmalezado 1; pastizal enmalezado 4, fue la que presentó el menor número de aislados. Dentro de los aislados bacterianos, se destacaron los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, los cuales fueron los más abundantes en todas las coberturas evaluadas. En cuanto a los hongos filamentosos, los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Cladosporium* se presentaron en mayor proporción en todas las coberturas vegetales.



**Figura 8.** Concentración de bacterias y hongos filamentosos presentes en los suelos de las diferentes coberturas vegetales en Sabanalarga, Casanare. **B2.** Bosque secundario; **BR.** Bosque ripario; **PE1.** Pastizal enmalezado 1; **PE3.** Pastizal enmalezado 3; **PE4.** Pastizal enmalezado 4; **RA.** Rastrojo alto.

*Penicillium* y *Aspergillus*, fueron los géneros de hongos hallados en esta localidad, siendo comunes en suelos y considerados productores de micotoxinas, que ayudan en los procesos de descomposición de MO (Domsch et al., 1980).

Las condiciones de acidez, los bajos contenidos de materia orgánica, los valores bajos de macro y micronutrientes, las condiciones de erosión y el mal drenaje que presentaron los suelos en las diferentes coberturas analizadas, son factores limitantes para el establecimiento de las plantas.

## COMPONENTE SOCIAL

Como parte del proceso de apropiación del proyecto por parte de las comunidades locales y en el marco de la estrategia de participación se desarrollaron diversas actividades que buscaron acercar a la comunidad al proceso de restauración, entre ellas, la reconstrucción de la memoria colectiva sobre el uso y percepciones del territorio.

La información lograda, en principio, permitió complementar la interpretación que desde otras fuentes del conocimiento (*p. ej.*: análisis espaciales multitemporales) se obtuvieron para el diagnóstico socioambiental del territorio. En términos de la restauración ecológica, surgieron aportes relevantes para aspectos tan diversos como:

- a) El análisis del estado del medio físico y la posibilidad de intervención previa al establecimiento del proyecto.
- b) La identificación de la necesidad de la restauración ecológica y las causas de la degradación, y de los valores ecológicos que se encuentran amenazados o degradados en este sector del municipio de Sabanalarga; inclusive, la definición de los atributos del ecosistema que deben ser considerados en la restauración ecológica.
- c) Desde la memoria colectiva, describir el régimen de disturbio y la identificación de los recursos bióticos (p. ej.: semillas, propágulos, plantas nodrizas) con los que se cuenta localmente y que facilitan el establecimiento del proyecto.

En principio, y como parte de los análisis de la información social que se realizaron, se presentan tres aspectos estratégicos para abordar la restauración ecológica, a saber: a) la importancia ambiental del territorio; b) los principales usos productivos; y c) las principales problemáticas ambientales vigentes.

*Problemáticas ambientales vigentes.* El total de personas entrevistadas a la fecha del final del proyecto, coincidieron en identificar como principales factores de conflicto socioambiental, la tala selectiva, la pérdida de la calidad/cantidad de agua y los incendios forestales.

Esta percepción brinda un panorama preocupante para un sector que es clave en la oferta hídrica hacia los acueductos veredales e implica —entre otros—, que las actividades productivas que se han desarrollado históricamente, no han sido compatibles con el mantenimiento de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, y reflejó la necesidad de avanzar en la restauración ecológica, y la gestión social participativa para conservar las rondas de las quebradas que en él se encuentran.

Otro factor importante para la gestión del territorio, pero que no fue identificado por la mayoría de los entrevistados, es la dinámica de derrumbes; debido a que se presenta una alta actividad tectónica, y es una razón más, para abordar los aportes que desde la restauración se pueden hacer a la gestión del riesgo.

Se identificaron conjuntamente con la comunidad local como factores limitantes, tensionantes y potenciadores de la restauración:

### **Factores limitantes**

- La *baja calidad del suelo* debido fundamentalmente al grado de compactación.
- La *variabilidad climática* resultado de la intensidad y extensión de los fenómenos Niño-Niña que ha alterado —según conocimiento local— los ciclos de floración-fructificación de algunas especies y, por tanto, ha condicionado la posibilidad de propagación *ex situ*.
- Existen algunos sectores con *alta pendiente* en zonas de cima con permanentes derrumbes y fuertes vientos, lo que dificulta el establecimiento efectivo de propágulos en sitios específicos de las dos áreas.
- En gran parte de las 25 ha a intervenir se observa *dominancia de especies de gramíneas exóticas* —principalmente *Brachiaria* sp.— que limitan el desarrollo

de la sucesión ecológica secundaria, al modificar las condiciones del suelo y reducir probablemente la capacidad germinativa de especies nativas.

- Es probable que como resultado de la pérdida de especies forestales nativas y de importantes extensiones de coberturas de bosque, se hayan *reducido o desplazado hacia nuevos sitios poblaciones de fauna* que cumplen funciones de dispersores o polinizadores.

### **Factores tensionantes**

- La presencia de ganadería y de gramíneas exóticas en el entorno a las áreas en restauración.
- Como resultado de la tala selectiva, se observa una *pérdida de diversidad de especies forestales* y, por tanto, la diversidad funcional.

### **Factores potenciadores**

- *Oferta física*: la zona de interés se caracteriza por suelos orgánicos, si bien deteriorados por el uso agropecuario, aún con presencia de estructura y composición que favorecen la sucesión ecológica; la pendiente es media-alta, la humedad es alta y existen quebradas.
- *Potencial biótico*: existen fragmentos de bosque subandino (> 10 ha) que permiten 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 los componentes físico y biótico, permitió 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*: las dos áreas en restauración no se encontraban habitadas, pero a su alrededor sí, por lo que no se evidenció una profunda cultura de la organización comunitaria, y la gestión se concentró más en la Administración Municipal y otras instituciones como las educativas para generar esa cultura asociada a la conservación del agua y la biodiversidad. Estos aspectos fueron clave para propiciar la sostenibilidad del proyecto.

# METAS DE RESTAURACIÓN

## Definición de metas

En Sabanalarga, la meta está propuesta en función del control de especies gramíneas exóticas como principal factor limitante a la sucesión ecológica e implementar acciones orientadas hacia la restauración ecológica (Tabla 6).

**Tabla 6.** Meta de restauración, indicadores y criterios de cumplimiento de la restauración ecológica para la vereda Monserrate, Sabanalarga, Casanare.

Meta	Indicadores	Criterio de cumplimiento
Incremento de la ocupación de especies nativas (arbóreas y arbustivas) en áreas de pastizales abandonados en al menos el 30% del área total intervenida mediante estrategias de plantación al segundo semestre de 2017 y al menos el 50% al segundo semestre de 2018	Distribución de edades en grupos	$\geq 25$ % de individuos en etapa juvenil I al segundo semestre de 2017
		$\geq 50$ % de individuos en etapa juvenil I al segundo semestre de 2018
	Supervivencia de las plantaciones	$\geq 50$ % de individuos en etapa juvenil I al segundo semestre de 2017
		$\geq 75$ % de individuos en etapa juvenil I al segundo semestre de 2018
	Recambio de especies	$\geq 50$ % de especies observadas al segundo semestre de 2017 son nativas
		$\geq 75$ % de especies observadas al segundo semestre de 2018 son nativas
	Cobertura de vegetación nativa	$\geq 30$ % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por especies nativas en las fases de vida juveniles I y II al segundo semestre de 2017
$\geq 50$ % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por especies nativas en las fases de vida juveniles I y II al segundo semestre de 2018		
Cobertura de vegetación gramínea exótica	$\leq 80$ % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por gramíneas exóticas al segundo semestre de 2017	
	$\leq 50$ % de cobertura vegetal en núcleos de plantación está comprendida por las fases de vida juveniles I y II al segundo semestre de 2018 son nativas	

# DISEÑO DE LAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN A PARTIR DE LA GESTIÓN DE LA VEGETACIÓN

## Selección de especies destinadas a la restauración

- **Criterios de selección**

Previa selección de las especies, la propuesta de restauración inició con la identificación de subsistemas (tipos de coberturas vegetales) en cada unidad de paisaje para definir los tipos de áreas disturbadas, que, para el caso de Sabanalarga, comprende los tipos de coberturas vegetales. Una vez identificados los tipos de áreas disturbadas, se procedió a la identificación de las referencias ecológicas, corresponden a las coberturas vegetales que muestran diferentes estados del proceso sucesional entre áreas degradadas y las mejor conservadas. Con las referencias identificadas, se construyeron hipótesis de trayectorias y se seleccionaron aquellas consideradas viables a partir de las condiciones específicas de cada proceso.

Se eligieron rasgos de historia de vida considerados clave para abordar las zonas afectadas por pastizales abandonados, y bajo la condición del limitado conocimiento existente sobre la biología de las especies nativas del sector. Los rasgos fueron propuestos a partir de revisión de literatura (p. ej.: Castellanos-Castro & Bonilla, 2011; Cárdenas-Arévalo & Vargas-Ríos, 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 considerados.

Esta descripción, igualmente, parte de las observaciones de campo realizadas durante el estudio de la vegetación de las referencias ecológicas. Finalmente, fue la factibilidad de obtención de propágulos el filtro definitivo para la selección de las especies a propagar en el vivero, para dar respuesta a las necesidades de material vegetal del proyecto.



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

			TFP																					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
Ciclo de vida	Persistencia	Anual	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
		Perenne																						
Regeneración vegetativa	Dispersión	SÍ/NO	No	No	No	Sí	Sí	Si	Sí	No														
Regeneración	Agente de dispersión	Dispersión																						
		Anemocoria										x						x						
		Autocoria										x				x								
	Vector de polinización	Persistencia	Zoocoria	x	x	x	x	x	x	x				x	x		x		x	x	x	x	x	
			Hidrocoria	x																				
	Banco de semillas	Establecimiento	Anemogamia																					
Entomogamia			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Renovación de hojas	Persistencia	Transitorio	x		x	x	x	x		x	x		x	x	x	x		x	x					
		Persistente		x						x			x						x			x	x	
Morfológico	Tipos de planta	Establecimiento – Persistencia	Alta		x						x	x				x								
			Baja	x		x	x	x	x	x			x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
			Graminoide																					
			Palmoide	x																				
			Herbácea	x																				
	Hábito	Establecimiento – Persistencia	Subarborescente								x									x		x		
			Arbustiva					x	x	x					x			x	x	x	x		x	
			Arbórea	x	x	x	x					x	x	x		x	x	x	x			x		
		Trépano																						
		Erecto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

Es así como se definieron, 19 tipos funcionales de plantas (TFP) (Díaz et al., 2007). Los TFP1 a TFP19 son ensamblajes de plantas semejantes ecológicamente, en los que se buscó generar diseños de restauración que combinaran la mayor cantidad de TFP, según las características propias de cada tipo de área disturbada (o cobertura vegetal) (Tabla 9).

**Tabla 9.** Tipos funcionales de plantas identificados para abordar la restauración ecológica en pastizales abandonados de *Brachiaria* sp. y ejemplos de especies que dentro de las caracterizaciones cumplieron con los requerimientos establecidos.

Tipos funcionales de plantas (TFP)	Especie
TFP 1	<i>Attalea</i> sp.; <i>Oneocarpus</i> sp.
TFP 2	<i>Cecropia</i> aff. <i>peltata</i> L.
TFP 3	<i>Alchornea</i> sp.; <i>Lauraceae</i> sp. 1; <i>Clethra fagifolia</i> Kunth; <i>Syzygium</i> sp.; <i>Croton</i> sp.; <i>Persea</i> sp.
TFP 4	<i>Neea</i> sp.; <i>Ficus</i> sp.
TFP 5	<i>Palicourea</i> sp.
TFP 6	<i>Trichantera gigantea</i> (Bonpl.) Nees
TFP 7	<i>Miconia</i> sp.; <i>Clidemia</i> sp.; <i>Tococa</i> sp.
TFP 8	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.
TFP 9	<i>Cedrela odorata</i> L.
TFP 10	<i>Garcinia madruno</i> (Kunth) Hammel; <i>Siparuna</i> sp.; <i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.; <i>Clusia grandiflora</i> Splitg.; <i>Clusia</i> aff. <i>insignis</i> Mart.
TFP 11	<i>Macleania</i> sp.
TFP 12	<i>Fabaceae</i> sp. 1; <i>Fabaceae</i> sp. 2; <i>Erythrina</i> sp. 1; <i>Erythrina</i> sp. 2
TFP 13	<i>Tapirira</i> aff. <i>guianensis</i> Aubl.
TFP 14	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski.
TFP 15	<i>Myrcia</i> sp.
TFP 16	<i>Erytroxylum</i> aff. <i>gracilipes</i> Peyr.
TFP 17	<i>Myrsine</i> sp.
TFP 18	<i>Piper</i> sp.
TFP 19	<i>Duroia</i> aff. <i>hirsuta</i> (Poepp.) K. Schum.

Las especies anteriormente citadas fueron seleccionadas de todo el *pool* de especies registradas en cada una de las coberturas caracterizadas, y que a su vez, se han propagado de forma exitosa en vivero, así también, se identificaron especies de vegetación de sucesión temprana y tardía (Tabla 10).

**Tabla 10.** Especies de sucesión temprana y tardía identificadas.

Tipo de cobertura	Especie
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Alchornea</i> sp.
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Clethra fagifolia</i> Kunth
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Croton</i> sp.
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Miconia</i> sp.
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Clidemia</i> sp.
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Clusia</i> aff. <i>insignis</i> Mart.
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	<i>Duroia</i> aff. <i>hirsuta</i> (Poepp.) K. Schum.
Bosque andino (borde)	<i>Lauraceae</i> sp. 1
Bosque andino (borde)	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.
Bosque andino (borde)	<i>Cedrela odorata</i> L.
Bosque andino (borde)	<i>Trichanthera gigantea</i> (Bonpl.) Nees
Bosque andino (borde)	<i>Attalea</i> sp.
Bosque andino (borde)	<i>Oneocarpus</i> sp.

Las especies seleccionadas corresponden a especies nativas de piedemonte llanero, algunas de ellas con amplia distribución y adaptaciones a diferentes ecosistemas. Para la selección de las especies destinadas a la restauración, se tuvieron en cuenta atributos morfofisiológicos (reproducción, producción de materia orgánica y tipos de dispersión de semillas), importancia económica y usos por comunidades. Por otra parte, aspectos como: densidades de poblaciones, coberturas, predominio fisionómico, fueron tenidos en cuenta con base en el diagnóstico.

Se seleccionaron 41 especies que cumplieran con todos o algunos de dichos aspectos. Para los atributos de reproducción (sexual y asexual), producción de materia orgánica y usos por comunidades, se escogieron diez especies (amarillo, cafetero, clavellino, frijolito, guaney, guayabito, hígado, quince días, cedro y *Ocotea*). Especies como *Alchornea*, arrayán, buena leña, chizo, cucharo, gague blanco, gague cebollo, lanzo, lechudo, madroño, manzano, pavo,

pomarroso, huesito, ceiba e hígado negro, presentan únicamente reproducción sexual, producción de materia orgánica y usos por comunidades. Respecto a la producción de esta, solo nueve especies (cenizo, cordoncillo, grado, guarumo, pusú, coca montañera, *Miconia*, *Tococa* y *Clidemia*) fueron utilizadas (Tabla 11).

Con relación a los tipos de dispersión de semillas, especies como arrayán, chizo, guichire, lanzo, pomarroso, pusú, *Clidemia* y *Miconia* se dispersan por viento (anemocoria), animales (zoocoria) y agua (hidrocoria). Por medio del aire y los animales, cuatro de las especies seleccionadas presentan estos tipos de dispersión. Adicionalmente, seis especies se dispersan por medio de los animales y el agua. En cuanto a las especies seleccionadas, 23 de ellas son dispersadas únicamente por animales. Para el caso de cenizo e indio viejo, solo son diseminadas por aire (Tabla 11).

**Tabla 11.** Listado de atributos de las especies para propagación en el vivero temporal de Sabanalarga.

Nombre común	Nombre Científico	Reproducción		Producción de materia orgánica	Maderable	Tipo de Dispersión de semillas		
		Sexual	Asexual			Anemocoria	Zoocoria	Hidrocoria
Güichire	<i>Attalea aff. maripa</i> (Aubl.) Mart.	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Pusú	<i>Oneocarpus</i> sp.	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Guarumo	<i>Cecropia latiloba</i> L.	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO
Alchornea	<i>Alchornea</i> sp.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Amarillo	<i>Nectandra</i> sp.	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Lechudo	<i>Ficus maxima</i> Mill.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Cordonsillo	<i>Piper aff. arboreum</i> Aubl.	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO
Peludo	<i>Duroia hirsuta</i> (Poepp.) K. Schum.	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO
Pavo	<i>Erythrina edulis</i> Triana ex Micheli	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Limonsillo	<i>Siparuna thecaphora</i> (Poepp. & Endl.) A. DC.	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Cenizo	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski.	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO
Lanzo	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Tunos	<i>Erythrina edulis</i> Triana ex Micheli	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Tuno	<i>Clidemia ciliata</i> Pittier	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ
Tuno	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO
Gaque cebollo	<i>Clusia insignis</i> Mart.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Gaque blanco	<i>Tovomita parviflora</i> Cuatrec.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Uva camarrera	<i>Psammisia penduliflora</i> (Dunal) Klotzsch	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO
Buena leña	<i>Phyllanthus attenuatus</i> Miq.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Quince días	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Café	<i>Palicourea aff. amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
Manzano	<i>Clethra fagifolia</i> Kunth	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ
Madroño	<i>Garcinia madruno</i> (Kunth) Hammel	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Frijolito	<i>Cassia</i> sp.	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Clavellino	<i>Calliandra</i> sp.	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Guayabito	Myrtaceae	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Hígado	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Pomarraso	<i>Syzygium jambo</i> (L.) Alston	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Arrayán	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Chizo	<i>Myrcia</i> sp.	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Coca montañera	<i>Erythroxylum aff. macrophyllum</i> Cav.	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO
Grado	<i>Croton gossypifolius</i> Vahl	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO
Cucharo	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Guaney	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO
Cafetero	<i>Trichantera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO

- **Seguimiento fenológico a los árboles madre** (fuentes de recolección de plántulas y semillas)

Las especies pueden cumplir roles importantes en los ecosistemas, de tal forma que de ellas depende la persistencia de una gran cantidad de organismos (Ehrenfeld, 2000). Las especies seleccionadas constituyen la fuente de alimento de otros organismos, propician las condiciones que posibilitan la regeneración de las poblaciones (dispersión de semillas), regulan las cadenas tróficas, entre otros.

El éxito de la necesidad de regenerar los bosques está en función de un buen manejo o programa de abastecimiento de semillas; para asegurar esto, es necesario el conocimiento de la biología de la floración, la producción de semillas, la época del año en que florecen y fructifican los árboles, con el fin de programar las actividades relacionadas con el *pool* de semillas para la producción de plantas en vivero o el establecimiento de áreas bajo manejo de regeneración natural.

## **Sucesión asistida a través de la técnica de nucleación**

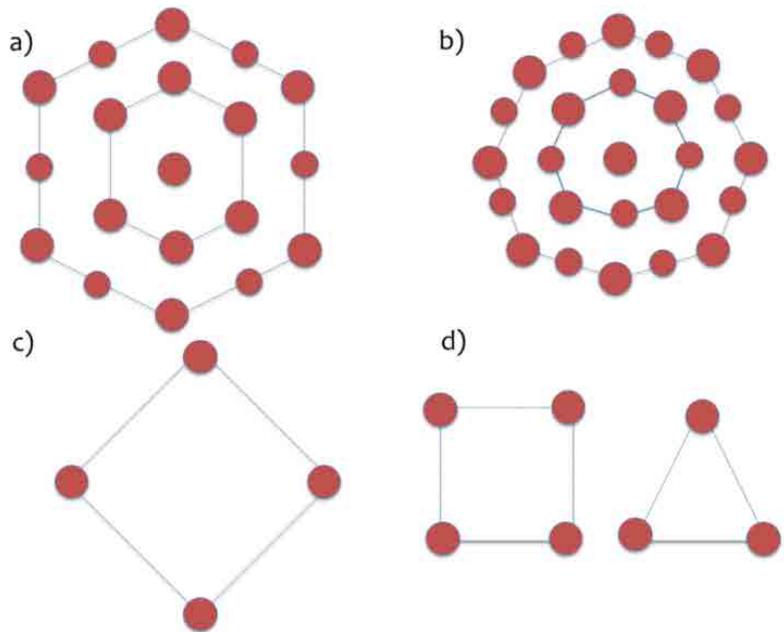
Las estrategias propuestas para la restauración del área de interés se enfocaron en: a) procesos de nucleación, y b) ampliación de bordes de bosque. Los primeros se abordan con la incorporación de las especies que presentan diversidad funcional en biotipos, síndromes de polinización y de dispersión; algunas arbustivas/arbóreas con altas tasas de renovación de biomasa aérea, rangos diferenciales de tolerancia a la luz y/o de persistencia después del disturbio.

Por otra parte, la ampliación de bordes en los fragmentos de bosque, logró aumentar el área total del remanente y disminuir el área de la matriz (para este estudio, áreas de uso agropecuario abandonadas), lo que reduce la distancia entre fragmentos e incrementa la conectividad. El diseño consistió en plantaciones lineales (franjas o bien plantaciones en cuadrado en función del área efectiva de intervención) de especies arbóreas/arbustivas seleccionadas igualmente a partir del análisis de atributos vitales.

Se planteó un diseño para el incremento de diversidad funcional mediante núcleos de regeneración natural, el cual consistente en establecer plantaciones de especies nativas de diversos grupos funcionales, sobre núcleos naturales identificados, principalmente sobre áreas de pastizales. Una vez caracterizados los núcleos y definida su extensión aproximada, se establecieron en plantación regular (para facilitar el monitoreo), con las siguientes características (Fig. 9 y Tabla 12):

- a) El tipo de plantación en hexágono responde a individuos de especies arbóreas. Se realiza en áreas donde en medio de la matriz de gramíneas se observan diversas especies nativas –principalmente arbustivas– colonizando en espacios abiertos. Se establecieron un total de 55 núcleos de este tipo. Igualmente, se crearon cinco núcleos (3 arbustivos y 2 arbóreos) en plantación del tipo octágono en pequeñas áreas inmersas entre bosques secundarios y matorrales abiertos.

- b) La plantación del tipo cuadrado, es aquella implementada en áreas pequeñas con fines de consolidar coberturas existentes; de este tipo se sembraron 278 núcleos.
- c) Finalmente, se realizaron dos tipos de siembras contiguo al curso de las quebradas, que por sus características de alta pendiente (quebradas muy encañonadas), se decidió abordarlas mediante diseño de siembra de tipo cuadrado (para el caso de la inclusión de palmas) o bien del tipo franjas longitudinales con siembra al tresbolillo. Se establecieron dos núcleos del tipo cuadrado para palmas en un área total de 100 m<sup>2</sup>; entre tanto, cerca de 6000 m<sup>2</sup> de forma longitudinal con otras especies nativas.



**Figura 9.** Tipo de plantaciones realizadas para la restauración en Sabanalarga. **a)** hexágono; **b)** octágono; **c)** cuadrado; **d)** cuadrado y triángulo (tresbolillo) para franjas y corredores de conectividad.

**Tabla 12.** Diseños de nucleación establecidos en las 25 ha intervenidas en Sabanalarga.

Tipo de núcleo	Cantidad de núcleos	Cantidad de módulos x núcleo	Área de núcleo (m <sup>2</sup> )	Cantidad individuos (módulo)	Total plantación (No. individuos)
Octágono (arbustivo)	3	4		37	444
Octágono (arbóreo)	2	4		17	200
Hexágono (arbóreo)	55	4		19	4180
Cuadrado	278	-	25	5	1390
Franja	-	-	6000	30-120	535
Cuadrado (Palmas)	2	-	100	100	188
Total	-	-	-	-	6937

## PROPAGACIÓN DE PLANTAS NATIVAS

La producción de material vegetal en un vivero depende de la calidad con la que las semillas y las plantas son recolectadas y tratadas; es preciso que las necesidades nutricionales sean atendidas, con el fin de minimizar los riesgos de pérdida, ya sea por factores climáticos, falta de nutrientes o riego (Orozco-Segovia & Sánchez-Coronado, 2013).

Dentro de las actividades de un vivero se realizan diferentes formas de compostaje y abonos verdes para mantener el crecimiento de las plantas de forma natural y orgánica; el compostaje es un proceso controlado de descomposición de la materia orgánica y residuos de alimentos de diferentes animales, en este caso, está elaborado a partir de una mezcla entre estiércol de bovino, equino, caprino, residuos orgánicos de cocina y hojarasca, además de esto, se agrega melaza y cal dolomita en una mezcla homogénea.

Un aspecto importante en las plantaciones es tener en cuenta las épocas efectivas, en las cuales puede realizar la siembra, para así garantizar el establecimiento de las mismas; adicionalmente, es necesario que se prepare eficientemente el área a restaurar, mantener una producción que coincida con las épocas de siembra y la elección de las especies que mejor se adapten a las actividades propuestas.

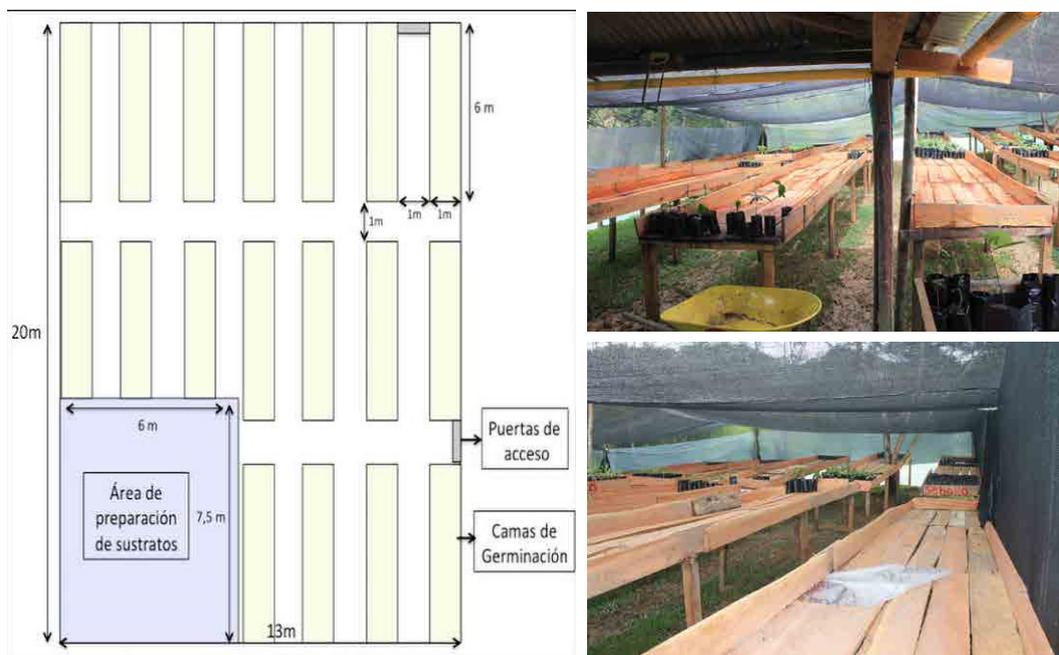
Se realizaron pruebas de propagación de las especies, así como nuevas mezclas y sustratos que ayudaron a mejorar los tratamientos para las especies, todo ello con el fin de realizar un proceso de propagación efectivo y replicable.

## ETAPA DE DISEÑO DEL VIVERO EN SABANALARGA

Para el diseño del vivero temporal se tuvieron en cuenta una serie de pasos que permitieran propagar el material vegetal, así: 1) una fuente constante de agua; 2) terreno con drenajes; 3) orientación del vivero óptima para el desarrollo de las plantas, y 4) equipos y materiales de propagación de plantas.

El vivero en Sabanalarga (Fig. 10), se diseñó sobre un área plana de 13 x 20 m, en el que se ubicaron las camas de germinación y mantenimiento de las plantas a propagar; el vivero se ubicó de tal forma que los vientos golpearan por la cara menos extensa (orientación sur-norte).

Se implementaron un total de 18 camas para propagación de material vegetal con medidas de 6x1 m, a 80 cm del suelo; un área de preparación de sustratos y compostajes de 6x7,5 m, y dos puertas de acceso y salida; asimismo, un área de almacenamiento de materiales y herramientas. El diseño contempla dos camas destinadas a germinación de semillas y 16 camas para mantenimiento y cuidado de las plantas propagadas. Este vivero fue de capacidad para 12000 plantas en bolsas de un kilo de capacidad (13x20 cm).



**Figura 10.** Vivero Sabanalarga.

## IDENTIFICACIÓN DE FUENTES SEMILLERAS

La exploración e identificación de las fuentes semilleras, surge del diagnóstico, y junto a recorridos (coberturas identificadas: pastizal, bosque ripario, bosque, arbustal, entre otros) en zonas aledañas, se identificaron los posibles candidatos a propagar, se les realiza un seguimiento fenológico con el fin de establecer épocas fértiles y de producción de semillas (Tabla 13).

**Tabla 13.** Atributos de las especies seleccionadas

MORFOLOGÍA	
Hábito de la planta (Árbol, Arbusto, Hierba, etc.)	El hábito hace referencia al tipo de crecimiento que presenta cada especie, también depende de factores como, la dureza de la madera, las ramas, el tamaño, etc.
Estructura (Cobertura de la copa, densidad de hojas, forma).	Esta refiere a la forma del individuo, también depende de la disposición y cantidad de ramas que tiene, la cantidad de hojas, el tamaño de las mismas, etc.
Hojas (tipo de hojas, tamaño, cantidad de materia seca, área foliar)	En este caso, la frondosidad de las hojas y el individuo en general, el estado físico de la planta madre (individuo donador de semillas), es indispensable a la hora de elegir al más apto para tomar sus semillas.
REPRODUCCIÓN	
Sexual (semillas)	Los procesos de germinación de las semillas dependen en gran parte de conocer el tipo de semilla con que se trabaja, la forma, el tamaño, la dureza, juegan un papel importante a la hora de generar los semilleros para las mismas, en general, las especies de plantas arbóreas generan semillas cuyo ciclo de germinación puede tardar meses, mientras que especies arvenses y arbustivas de semillas pequeñas y en grandes cantidades, pueden tener ciclos de germinación de días o semanas.
Asexual (estacas)	Muchas especies se logran propagar por medio estacas, este proceso consiste en cortar pequeñas secciones de las ramas y tallos de un individuo (sin poner en riesgo la integridad de la misma), con el fin de generar "clones" para propagar la especie.

## MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE SEMILLAS

Dentro de los métodos más comunes de recolección de semillas se encuentran:

*Caída natural:* consiste en la recolección de semillas del suelo, identificando que pertenezcan a la planta que estamos buscando (se debe conocer perfectamente la morfología de semillas de las especies a coleccionar) (Fig. 11A).

*Sacudimiento manual:* se realiza un zarandeo a la planta, que permite, que los frutos y semillas maduros caigan (se puede colocar una cubierta bajo el árbol para que la colecta de semillas sea más fácil y efectiva; aplica para árboles pequeños, arbustos y herbáceas).

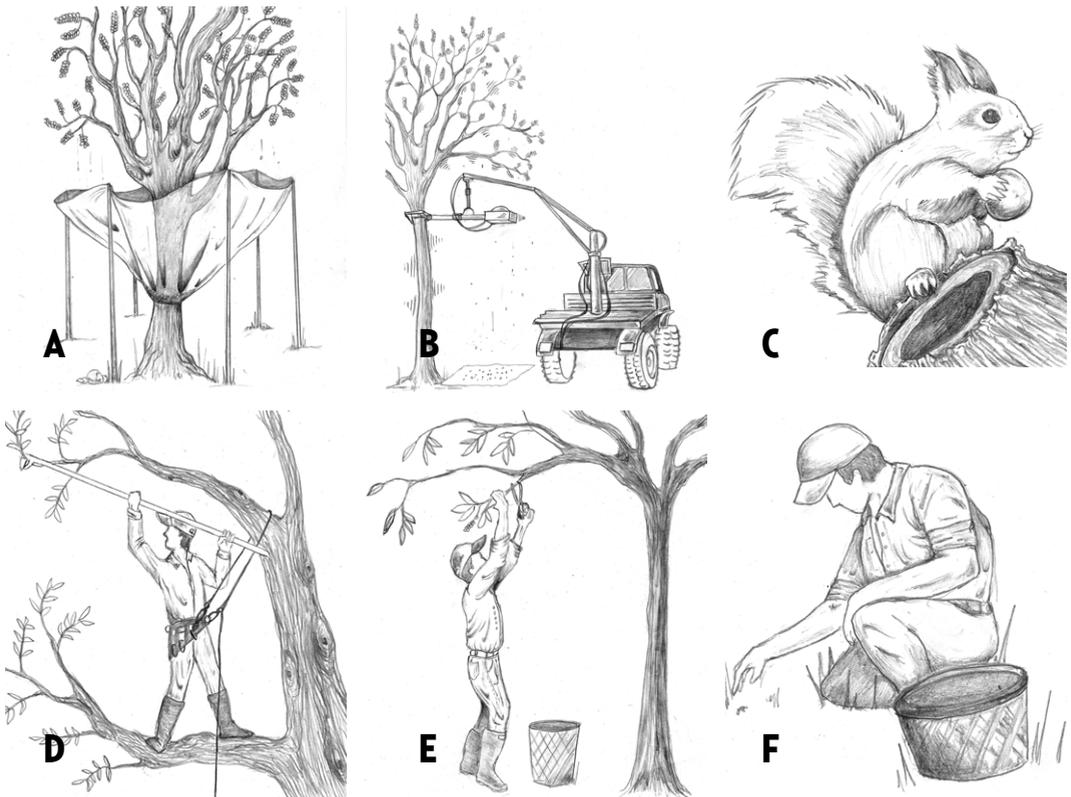
*Sacudimiento mecánico:* si se cuenta con la opción de tener acceso a maquinaria para realizar este tipo de recolección, se recomienda tener un protocolo de trabajo específico para recolección de las semillas (Fig. 11B).

*Escondites de animales:* en este caso se tiene en cuenta la dispersión por animales, se buscan los escondrijos y senderos por los que transitan para realizar captura de semillas (si se conoce la ecología de los animales, se pueden crear escondites artificiales) (Fig. 11C).

*Recolección en las copas de árboles:* implica conocimientos en ascenso o escalada de árboles para tener acceso a los árboles más grandes con los que se trabaja en un proceso de restauración (se debe contar con medidas de bioseguridad, ya que implica riesgo en alturas) (Fig. 11D).

*Recolección en árboles en pie con acceso desde el suelo:* se puede usar una escalera que permita acercarnos a la copa del árbol para tener acceso a las semillas (tener precauciones de trabajo en alturas) (Fig. 11E).

*Recolección manual:* es práctico en el sentido que, se coleccionan semillas por los senderos donde se transita, áreas de fácil acceso o colectas generales de plantas y semillas (es fundamental conocer la morfología de las semillas ya que se pueden cometer errores de propagación lo cual implica un gasto innecesario para el proyecto) (Fig. 11F).



**Figura 11.** Métodos de recolección de semillas. **A.** Caída natural; **B.** Sacudimiento mecánico; **C.** Escondites de animales; **D.** Recolección en las copas de árboles; **E.** Recolección en árboles en pie con acceso desde el suelo; **F.** Recolección manual general.

Todas las actividades mencionadas se practican en campo para la recolección de todo tipo de semillas, depende de las semillas que se encuentren o se estén buscando, del rodal de plantas y del sitio, este último nos permite identificar el método más adecuado en cada caso (Oliva et al., 2014).

## PROPAGACIÓN DE MATERIAL VEGETAL

Depende de la calidad de las semillas recolectadas, esta propagación se realiza con tratamientos pre germinativos y diseños que logren establecer el tipo de sustrato que presenta mejor afinidad con las especies a propagar (Fig. 12).



**Figura 12.** Propagación de material. **A.** Encapachado de plántulas; **B.** Vivero con material propagado; **C.** Marcaje de lotes de especies en vivero; **D.** Rescate de plántulas en el área.

### **Tratamientos pre-germinativos de las semillas**

Dentro de las especies vegetales, existen diferentes tipos de semillas, a las cuales se les deben realizar tratamientos pre-germinativos, estos tratamientos aumentan las probabilidades de germinación; en un vivero donde la accesibilidad a la tecnología es escasa, se ponen en práctica dos procesos básicos pero efectivos a la hora de detectar semillas viables y en buen estado para germinar, imbibición y despulpe de semillas (Fig. 13).

*Imbibición:* este proceso consiste en dejar las semillas en agua pura y a temperatura ambiente (24 a 72 horas dependiendo el tamaño de la semilla y la dureza de la testa). Es útil para acelerar el proceso germinativo de las semillas, se aplica a frutos con testa dura y frutos secos (arecáceas, lauráceas, clusiáceas, myrtáceas, leguminosas) (Fig. 13A).

*Despulpe de frutos carnosos:* para este proceso, los frutos fueron depositados en agua limpia para ablandar la pulpa, del mismo modo que el anterior, el tiempo lo determina el tamaño de la semilla, por lo cual, se debe estar pendiente de no dejarlas mucho tiempo, ya que las semillas pueden podrirse. Posteriormente se maceran manualmente para separar la semilla, este proceso se realiza con suavidad de tal forma que la semilla no se vea afectada por daño mecánico (melastomátáceas, rubiáceas, euphorbiáceas, ericáceas, clusiáceas, siparunáceas, cecropiáceas) (Figs. 13B-C).



**Figura 13.** Tratamientos pre-germinativos. **A.** Imbibición; **B-C.** Depulpe de frutos carnosos.

### **Diseños experimentales para la siembra de semillas**

Las semillas se deben sembrar a una profundidad no mayor a su tamaño (Fig. 14A), en un sustrato blando, en casos específicos se puede usar Turba (Fig. 14B). Cuando no se tiene conocimiento de la ubicación del poro germinativo, la semilla se siembra de medio lado de tal forma que al momento de germinar no se atrofie el embrión. Otro buen sustrato es el Capote, que simula las condiciones de crecimiento particulares del bosque o su hábitat propio, lo que genera que las semillas tengan una mayor probabilidad de germinación y consumo de nutrientes.



**Figura 14.** **A.** Siembra de semillas en surcos, en sustrato de turba; **B.** Semilla sembradas directamente en bolsa en sustrato de turba; **C.** Selección de semillas de las especies a propagar; **D.** Siembra de semillas al boleto, en bandejas en sustrato de tierra negra.

Los resultados de la experiencia de propagación de material en el vivero de Sabanalarga, presentaron valores altos de germinación de semillas; de igual modo, el rescate de plántulas (en zonas de pastoreo activo) fue exitoso. Dadas las condiciones del terreno, las plántulas presentaban resistencia a los cambios de sustratos; por tanto, las tasas de supervivencia mejoraban respecto a las plántulas que se identificaban en campo. En la Tabla 14, se indican los porcentajes en germinación de semillas, y la supervivencia de plántulas y el tiempo que estuvieron en el vivero antes de la fase de endurecimiento (25-35 cm de alt.). Otras especies como *Trichantera gigantea* y *Eirmocephala brachiata*, presentaron mejores resultados al ser propagadas por estaca (Tabla 15).

**Tabla 14.** Especies propagadas por semilla o rescate de plántulas, porcentajes de supervivencia de semillas y plántulas, y tiempos de duración en el vivero.

Nombre común	Nombre científico	Propagado por rescate de plántulas	Propagado por semilla	Germinación de semillas (%)	Supervivencia de plántulas rescatadas (%)	Tiempo de crecimiento en vivero
Manzano	<i>Clethra fagifolia</i> Kunth	SÍ	SÍ	10	50	6-8 meses
Alchornea	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp.	SÍ	NO	-	95	4-6 meses
Güichire	<i>Attalea aff. maripa</i> (Aubl.) Mart.	SÍ	SÍ	90	90	6-9 meses
Guarumo	<i>Cecropia latiloba</i> Miq.	NO	SÍ	96	-	2-4 meses
Tuno	<i>Clidemia ciliata</i> Pittier	NO	SÍ	95	-	12 meses
Gaque cebollo	<i>Clusia insignis</i> Mart.	SÍ	SÍ	85	89	10-12 meses
Gaque blanco	<i>Tovomita parviflora</i> Cuatrec.	SÍ	SÍ	83	87	10-12 meses
Grado	<i>Croton gossypifolius</i> Vahl	SÍ	NO	-	70	4-6 meses
Peludo	<i>Duroia hirsuta</i> (Poepp.) K. Schum.	SÍ	NO	-	75	8-12 meses
Pavo	<i>Erythrina edulis</i> Triana ex Micheli	SÍ	NO	-	93	4-6 meses
Guaney	<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook	NO	SÍ	78	-	4-6 meses
Coca montañera	<i>Erythroxylum aff. macrophyllum</i> Cav.	NO	SÍ	90	-	8-12 meses
Lechudo	<i>Ficus máxima</i> Mill.	SÍ	NO	-	93	4-6 meses
Madroño	<i>Garcinia madruno</i> (Kunth) Hammel	NO	SÍ	87	-	8-12 meses
Uva camarera	<i>Psammisia penduliflora</i> (Dunal) Klotzsch	NO	SÍ	50	-	18-24 meses
Tunos	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	NO	SÍ	90	-	12 meses
Arrayán	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	SÍ	NO	-	85	6-8 meses
Chizo	<i>Myrcia</i> sp.	SÍ	NO	-	87	6-8 meses
Cucharo	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	SÍ	NO	-	75	8-10 meses
Higado	<i>Neea</i> sp.	SÍ	NO	-	92	4-6 meses
Pusu	<i>Oneocarpus</i> sp.	NO	SÍ	40	-	12 meses
Café	<i>Palicourea aff. amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC.	NO	SÍ	15	-	12 meses
Amarillo	<i>Nectandra</i> sp.	SÍ	NO	-	86	8-12 meses
Cordonsillo	<i>Piper aff. arboreum</i> Aubl.	SÍ	SÍ	10	90	4-6 meses
Cenizo	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski.	SÍ	NO	-	94	6-8 meses
Limonsillo	<i>Siparuna thecaphora</i> (Poepp. & Endl.) A. DC.	SÍ	NO	-	89	8-10 meses
Pomarroso	<i>Syzygium jambo</i> (L.) Alston	NO	SÍ	83	-	6-8 meses
Quince dias	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	SÍ	SÍ	80	83	4-6 meses
Tuno	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	NO	SÍ	90	-	12 meses
Cafetero	<i>Trichantera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	NO	NO	-	-	4-6 meses
Lanzo	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	SÍ	SÍ	35	75	6-8 meses
Indio viejo	<i>Eirmocephala brachiata</i> (Benth.) H. Rob.	NO	NO	-	-	4-6 meses
Huesito	<i>Casearia</i> sp.	SÍ	NO	-	90	8-10 meses
Clavellino	Fabaceae sp.	SÍ	NO	-	87	8-10 meses

Nombre común	Nombre científico	Propagado por rescate de plántulas	Propagado por semilla	Germinación de semillas (%)	Supervivencia de plántulas rescatadas (%)	Tiempo de crecimiento en vivero
Frijolito	Fabaceae sp. 2	NO	SÍ	91	-	8-10 meses
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	NO	SÍ	90	-	6-8 meses
Higado negro		SÍ	NO	-	80	12 meses
Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	NO	SÍ	80	-	8-10 meses
Buena leña		NO	SÍ	50	-	8-10 meses
Guayabito	Myrtaceae	SÍ	NO	-	84	8-10 meses

**Tabla 15.** Especies propagadas por estaca, porcentaje de supervivencia y tiempo de mantenimiento en vivero.

Nombre común	Nombre científico	Reproducción	Supervivencia	Tiempo de crecimiento en vivero
Cafetero	<i>Trichantera gigantea</i> (Bonpl.) Nees	Estaca	70%	4-6 meses
Indio viejo	<i>Eirmocephala brachiata</i> (Benth.) H. Rob.	Estaca	30%	4-6 meses

## Endurecimiento

En la naturaleza, el endurecimiento de las plantas es un proceso que ocurre espontáneamente, gracias a ello, las plantas se aclimatan para sobrevivir o crecer bajo situaciones de estrés. Un ejemplo de endurecimiento es el aumento de la resistencia a las heladas que experimentan muchas especies, por ejemplo, la adaptabilidad que presentan en zonas donde el cambio estacional (verano, otoño, invierno y primavera) las someten a estrés extremo (Burr, 1990; van den Driessche, 1989).

Se realizaron varios procesos para realizar una correcta etapa de endurecimiento en las plantas, para esta práctica los métodos principales son:

1. Endurecimiento por estrés hídrico;
2. Reducción del aporte de fertilizantes (endurecimiento nutricional), y
3. Endurecimiento por bajas temperaturas (espacios abiertos sin protección al clima).

El endurecimiento se realizó mediante reubicación del material del vivero (Fig. 15), junto a exposición directa y riego limitado (estrés hídrico). Lo anterior, se corrobora aproximadamente en dos meses para desarrollar una mayor resistencia a condiciones ambientales. Este proceso, permitió un mejor establecimiento en campo y un mayor grado de adaptabilidad.



**Figura 15.** Traslado de material al área de endurecimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberico, M., Cadena, A., Hernández-Camacho, J. & Muñoz-Saba, Y. 2000. Mamíferos (Synapsida: Theria) de Colombia. *Biota Colombiana*, 1(1): 43-75.
- Alcaldía Municipal de Sabanalarga en Casanare. 2018. Municipio. Disponible en: <http://www.sabanalarga-casanare.gov.co/tema/municipio>
- Andersen, A.N. & Brault, A. 2010. Exploring a new biodiversity frontier: Subterranean ants in northern Australia. *Biodiversity Conservation*, 19(9): 2741-2750.
- Arcila, A.M. & Lozano-Zambrano, F.H. 2003. Hormigas como herramientas para la bioindicación y el monitoreo. Capítulo 9. En: *Introducción a las hormigas de la región neotropical*. XXVI, p. 159-166. Fernández, F. (Ed.). Bogotá, Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Arias, F., Alvarado, A., Mata, R., Serrano, E. & Laguna, J. 2010. Relación entre la mineralogía de la fracción arcilla y la fertilidad en algunos suelos cultivados con banano en las llanuras aluviales del Caribe de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 34(2): 223-236.
- Armbricht, I., Rivera, L. & Perfecto, I. 2005. Reduced diversity and complexity in the leaf-litter ant assemblage of Colombian coffee plantations. *Conservation Biology*, 19(3): 897-907.

- Barrantes G. & Pereira A. 2002. Seed dissemination by frugivorous birds from forest fragments to adjacent pastures on the western slope of Volcán Barva, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 50: 569–575.
- Bolton, B. 1994. Identification guide to the ant genera of the world. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Burr, K. 1990. The target seedling concepts: bud dormancy and cold-hardiness. pp. 79–90. En: Rose, R. Campbell, S. & Landis, T. (Eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Roseburg, Oregon, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- 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.
- Chaparro S., Echeverry M.A., Córdoba S. & Sua A. 2013. Listado actualizado de las aves endémicas y casi-endémicas de Colombia. *Biota Colombiana*, 14(2): 235–272.
- CITES. 2017. Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre <http://www.cites.org/esp/index.shtml>.
- CORPES, Consejo Regional de Planificación Económica y Social de la Orinoquía. 1990. La Orinoquía Colombiana. Disponible en: <http://babel.banrepcultural.org/cdm/ref/collection/p17054coll10/id/2821>
- Del Hoyo, J. & Collar N.J. 2014. HBW and BirdLife International Illustrated Checklist of the Birds of the World. Vol 1: Non-Passerines. Lynx Edicions, Barcelona.
- Dirzo, R. & García, M.C. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology*, 6(1): 84–90.
- Domínguez-Haydar, Y. & Armbrecht, I. 2011. Response of ants and their seed removal in rehabilitation areas and forests at El Cerrejón coal mine in Colombia. *Restoration Ecology*, 19(201): 178–184.
- Domsh, K., Gams, W. & Anderson, T. 1980. Compendium of soil fungi, Vol 1, Part I. Estados Unidos: Academic Press. 27p.
- Ehrenfeld, J.G. 2000. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. *Restoration Ecology*, 8(1): 2–9.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phin, S. & Possingham, H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia.
- Fajardo, D., Domínguez, C., Molano, J., Rangel, O., Defler, T., Rodríguez, J.V., Cavelier, I., Gómez, A., Pérez, H., Baraona, G., Mejía, M., Romero, M.E., Díaz, H.L., Aguilar, O. & Galeano, C. 1998. Colombia Orinoco. Colombia, Fondo para la Protección del Medio Ambiente.
- Fernández, F. & Arias-Penna, T.M. 2008. Las hormigas cazadoras en la región Neotropical. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1): 127–134.
- Ferrer, A., Beltrán M., Díaz A., Trujillo F., Mantilla H., Herrera O., Alfonso A. & Payán E. 2009. Lista de los mamíferos de la cuenca del río Orinoco. *Biota Colombiana*, 10(1 y 2): 179–207.

- Figuerola, J.A. & Castro, S.A. 2002. Effects of bird ingestion on seed germination of four woody species of the temperate rainforest of Chiloé Island, Chile. *Plant Ecology*, 160: 17-23.
- Fonseca, C.R. & Ganade, G. 2001. Species functional redundancy, random extinctions and the stability of ecosystems. *Journal of Ecology*, 89(1): 118-125.
- Gardner, T.A., Hernández, M.I.M., Barlow, J. & Peres, C.A. 2008. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for Neotropical dung beetles. *Journal Applied Ecology*, 45(3): 883-893.
- Gobernación de Casanare. 2018. Localización. Disponible en: <https://www.casanare.gov.co/index.php?idcategoria=1196>
- Greenshields, L., Guosheng, 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.
- 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.
- Hölldobler, B. & Wilson, E.O. 1990. *The ants*. Harvard University Press.
- Huang, W.L., Ping, P.A., Yu, Z.Q. & Fu, H.M., 2003. Effects of organic matter heterogeneity on sorption and desorption of organic contaminants by soils and sediments. *Appl. Geochem.*, 18: 955-972.
- IDEAM. 2010. *Leyenda nacional de coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá, D.C., Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1992. *Atlas de Colombia*.
- IUCN 2017. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <<http://www.iucnredlist.org>>
- Lafleur, B., Hooper L., Mumma, E. & Geaghan, J.P. 2005. Soil fertility and plant growth in soils from pine forests and plantations: Effect of invasive red imported fire ants *Solenopsis invicta* (Buren). *Pedobiologia*, 49(5): 415-423.
- Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., ... & Sampaio, E. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conservation Biology*, 16(3): 605-618.
- Laverde, O. & Gómez, F. 2016. *Las aves de Santa María. Serie guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales N° 16*. Bogotá, D.C.: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- 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.
- McNish, T. 2007. *Las aves de los llanos de la Orinoquía*. Colomboandina de Impresos S.A. Colombia.
- Mora-Fernández, C. & Peñuela-Recio, L. (Eds.). 2013. *Guía de campo. Flora y fauna de las sabanas inundables asociadas a la cuenca del río Pauto, Casanare Colombia. Serie Biodiversidad para la Sociedad No. 3*. Yoluka ONG,

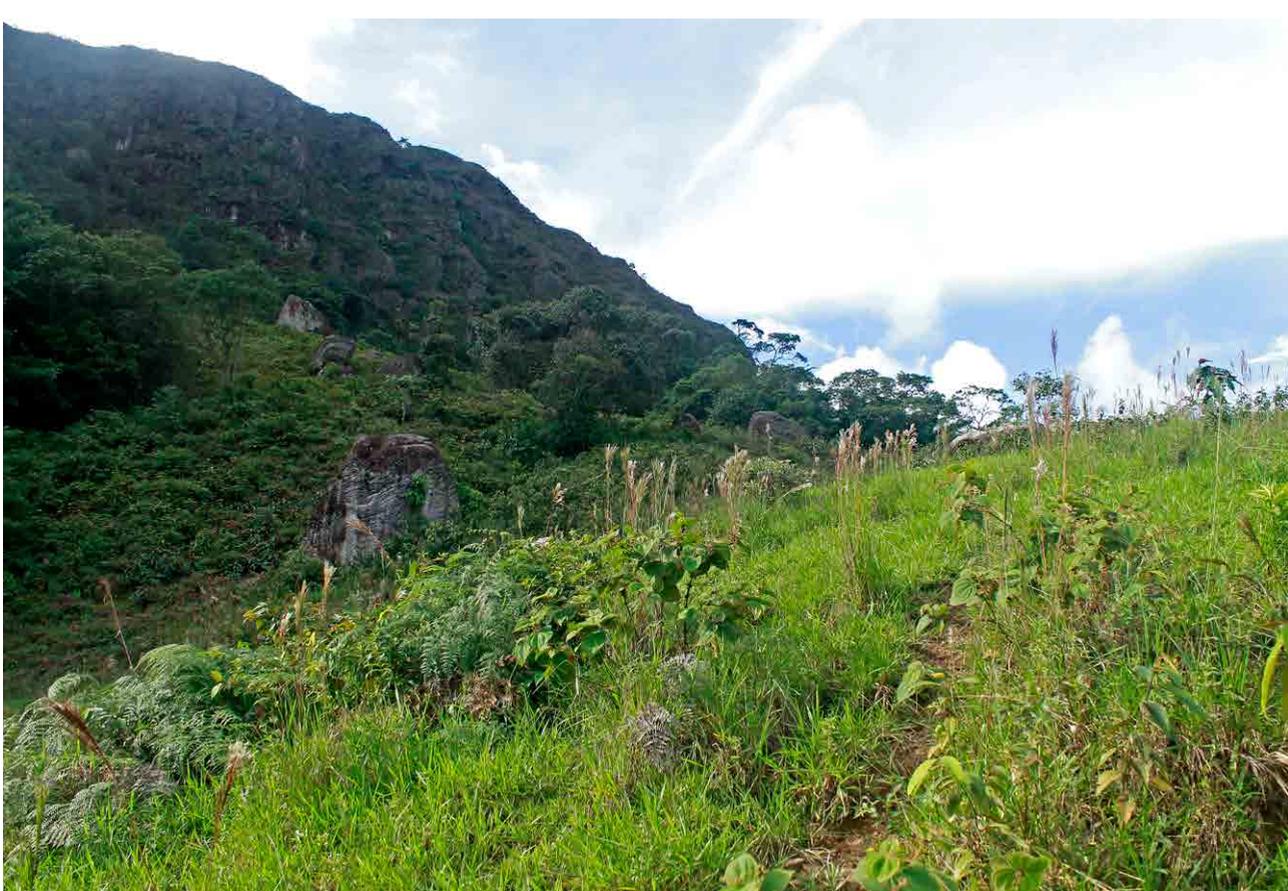
- Fundación de investigación en biodiversidad y conservación, Fundación Horizonte Verde y Ecopetrol S.A. 350 p.
- Mummey, D., Stahl, P. & Buyer, J. 2002. Soil microbiological and physiochemical properties 20 years after surface mine reclamation: Comparative spatial analysis of reclaimed and undisturbed ecosystems. *Soil Biology Biochemistry*, 34: 1717-1725.
- Naranjo, L.G., Amaya, J.D., Eusse-González, D. & Cifuentes-Sarmiento, Y. (Eds.). 2012. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Aves. Vol. 1. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF Colombia. Bogotá, D.C. Colombia. 708 p.
- Nichols, E., Larsen, B., Spector, S., Davis, L., Escobar, F., Favila, M. & Vulinec, K. 2007. Global dung beetle response to tropical forest modification and fragmentation: a quantitative literature review and meta-analysis. *Biological Conservation*, 137: 1-19.
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amézquita, S., Favila, M.E. & The Scarabaeinae research network. 2008. Ecological functions and ecosystems services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141(6): 1461-1474.
- Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D. & Tucto, A. 2014. Manual recolección de semillas de especies forestales nativas: experiencias en Molinopampa, Amazonas, Perú. Organización Internacional de las Maderas Tropicales.
- Orozco-Segovia, A. & Sánchez-Coronado, E. 2013. Germinación. En: Márquez-Guzmán, J., Collazo-Ortega, M., Martínez-Gordillo, M., Orozco-Segovia, A. & Vázquez-Santana, S. (Eds.), p. 212-240. *Biología de Angiospermas*. Ciudad de México: Las Prensas de Ciencias.
- Palacio, E. & Fernández, F. 2003. Clave para las subfamilias y géneros. En: Introducción a las hormigas de la región Neotropical, pp. 233-260. Fernández, F. (ed.). Bogotá, Colombia Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Pardo-Vargas, L.E. & Payán-Garrido, E. 2015. Mamíferos de un agropaisaje de palma de aceite en las sabanas inundables de Orocué, Casanare, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(1): 54-66.
- Peñuela, N. 2010. El fenómeno de la migración en aves: una mirada desde la Orinoquía. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, DC.
- Peñuela, L., Castro, F. & Ocampo-Peñuela, N. 2011. Las Reservas Naturales del Nudo Orinoquía en su rol de conservación de la biodiversidad. Fundación Horizonte Verde y Resnatur. 104 p.
- Peñuela-Díaz, G., Calonge-Camargo, B. & Aristizábal-G., H. 2016. Aves y mamíferos presentes en el distrito regional de manejo integrado Cuchillas Negra y Guanaque. Ecopetrol. Corporación Autónoma Regional de Chivor. E-qual servicios ambientales. 365 p.
- 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.
- Ramírez-Chávez, H. & Suárez-Castro, A. 2014. Adiciones y cambios a la lista de mamíferos de Colombia: 500 especies registradas para el territorio nacional. *Mammalogy Notes - Notas Mastozoológicas Sociedad Colombiana de Mastozoología*, 1(2): 31-34.

- Renjifo, L.M., Amaya-Villareal, A.M., Burbano-Girón, J. & Velásquez-Tibatá, J. 2016. Libro rojo de aves de Colombia Volumen II: Ecosistemas abiertos, secos, insulares, acuáticos continentales, marinos, tierras altas del Darién y Sierra Nevada de Santa Marta y bosques húmedos del centro, norte y oriente del país. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia.
- Renjifo, L.M., Gómez, F., Velásquez-Tibatá, J., Amaya-Villareal, A.M., Kattan, G.H., Amaya-Espinel, J.D. & Burbano-Girón, J. 2014. Libro rojo de aves de Colombia, Volumen I: Bosques de los Andes y la costa Pacífica. Editorial Pontificia Universidad Javeriana e Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia. 462 p.
- Salaman, P., Donegan, T. & Caro, D. 2009. Listado de las Aves de Colombia. Conservación Colombiana, 5: 1-85.
- Solari, S., Muñoz-Saba, Y., Rodríguez-Mahecha, J.V., Thomas, R., Defler, H., Ramírez-Chaves, E. & Trujillo, F. 2013. Riqueza, endemismo y conservación de los mamíferos de Colombia, Mastozoología Neotropical, 20(2): 301-365.
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J., Mendoza, E., López-Toledo, L., Lara-Uribe, N., Márquez-Camargo, C.,... & David Rangel-Orozco, J. 2015. High resilience of herpetofaunal communities in a human-modified tropical dry forest landscape in western México. Tropical Conservation Science, 8(2): 396-423.
- Tirira, D.G. 2007. Mamíferos del Ecuador. Guía de campo. Quito: Ediciones Murciélagos Blanco. Publicación Especial de los Mamíferos del Ecuador.
- Usma, J.S. & Trujillo F. (Eds.). 2011. Biodiversidad del Casanare: Ecosistemas estratégicos del departamento. Gobernación de Casanare - WWF Colombia. Bogotá, D.C. 286 p.
- Van den Driessche, R. 1989. Changes in osmotic potential of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings in relation to temperature and photoperiod. Canadian Journal Forest Research, 19: 413-421.
- Wagner, D., Jones, J.B. & Gordon, D.M. 2004. Development of harvester ant colonies alters soil chemistry. Soil Biology and Biochemistry, 36(5): 797-804.
- Wahlberg, N., Grimaldi, D. & Engel M.S. (2006). Evolution of the insects. Systematic Biology, 55(4): 692-693. <https://doi.org/10.1080/10635150600755461>
- Wilson, E.O. 2000. Foreword. En: Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity. Agosti, D., Majer, J.D., Alonso, L.E. & Shultz, T.R. Washington: Smithsonian institution press.



# CAPÍTULO 6

## RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL BOSQUE ANDINO EN LA VEREDA MONSERRATE (SABANALARGA, CASANARE): AVANCES



**Jeison Adrián Olaya-Angarita<sup>1</sup>, William Javier Bravo-Pedraza<sup>1</sup>, David Ricardo Hernández-Velandia<sup>1-2</sup>, Pablo Andrés Gil-Leguizamón<sup>1</sup>, Oscar Felipe Moreno-Mancilla<sup>1</sup>, Andrés Felipe Morales-Alba<sup>1-2</sup>, John Edison Reyes Camargo<sup>1</sup>, Andrés Leonardo Ovalle-Pacheco<sup>1</sup>, Javier Andrés Muñoz-Avila<sup>1-2</sup>, Paulina Vergara<sup>1</sup>, Laura Ortiz**

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

<sup>2</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

# INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas ha acelerado la crisis ambiental producto de la reducción de la calidad y disponibilidad de agua, ciclos de materia, pérdida de coberturas vegetales, productividad del suelo y biodiversidad (Acosta & Vargas-Ríos, 2007). Ante esta situación, las estrategias de restauración ecológica se convierten en soluciones que mitigan dicha degradación y favorecen la biodiversidad. La restauración se considera entonces una estrategia que soporta la sustentabilidad de los sistemas naturales y sociales, medida a diferentes escalas (paisajes, ecosistemas, comunidades y poblaciones) y que integra el papel fundamental de la flora, la fauna, los flujos ecológicos y la conservación de los recursos naturales (Díaz, 2007; Lozano-Zambrano, 2009).

En el presente capítulo se describen avances en la restauración ecológica a partir de los componentes: 1) temporalidad de coberturas vegetales; 2) suelo; 3) vegetación; 4) fauna y 5) sociedad, como aprendizajes obtenidos durante la estrategia de restauración de 25 ha en el municipio de Sabanalarga (Casanare), vereda Monserrate, las áreas San Martín I y Aguaclara.

# 6.1 TEMPORALIDAD DE COBERTURAS VEGETALES

**Abordaje del componente temporalidad:** la identificación de cambios espaciales y temporales se abordó a partir de información histórica de uso de suelo y la distribución de las coberturas; de este modo, se obtuvieron dos mapas temáticos de coberturas vegetales de los años 2015 y 2018 (Figs. 1 y 2), cuya dinámica de cambio fue soportada con las especies que caracterizan cada asociación vegetal (Capítulo 5, diagnóstico y diseño).

## Coberturas vegetales identificadas - mapas temáticos 2015 y 2018.

Según leyenda nacional de coberturas de la Tierra (Corine Land Cover CLC; IDEAM, 2010), soporte en la verificación de campo (para delimitación de coberturas), las coberturas identificadas corresponden a las siguientes designaciones:

- *Bosque abierto alto de tierra firme* (CLC: 31211): bosque secundario, según CLC es una cobertura constituida por árboles de distribución regular, con formación de un dosel continuo y alturas hasta de 15 m.
- *Bosque de galería* (CLC: 314): tipo fisonómico de bosque asociado a las quebradas presentes en las áreas Aguaclara y San Martín I; según CLC, es una cobertura constituida por vegetación arbórea ubicada en márgenes de cursos de agua permanentes o temporales.
- *Herbazal denso* (CLC: 321): tipo fisonómico de pastos enmalezados; según CLC corresponde a una cobertura dominada por especies herbáceas desarrolladas en áreas no inundables, en las cuales pueden o no existir especies arbustivas.
- *Vegetación secundaria o en transición* (CLC: 323): tipos fisonómicos de arbustal alto y bajo (rastros); según CLC, es una cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural posterior a la intervención, posiblemente se encuentren en recuperación tendiendo al estado original.

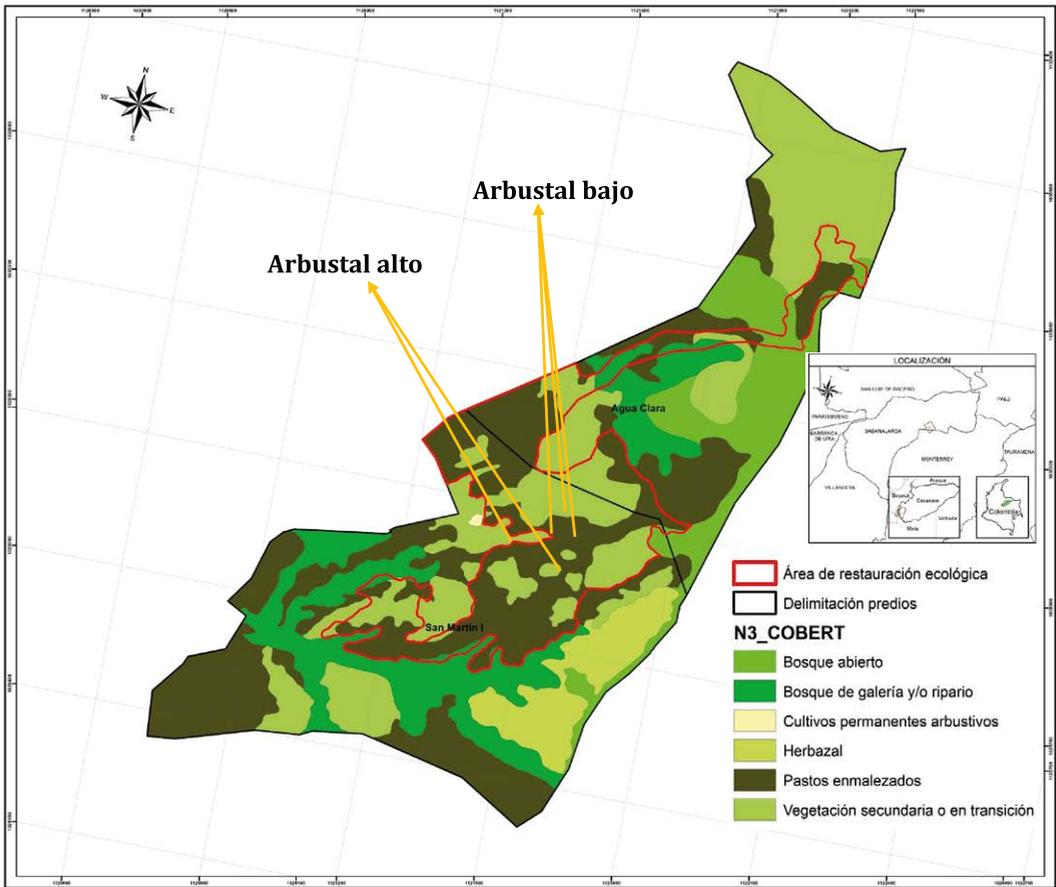
En general, los cambios en las coberturas vegetales son producto del establecimiento de las especies plantadas en los diseños de restauración. A continuación, se describen los principales resultados del análisis temporal realizado para las 25 ha de restauración:

**Métricas de coberturas vegetales para las 25 ha de restauración ecológica-2015:** Para el año 2015, se delimitaron cuatro tipos de coberturas vegetales, que definen la dinámica de un área natural con grado de perturbación producto de la colonización y uso desmedido de la madera y la caza ilegal de fauna; lo anterior, debido a identificación de características fisonómicas, verificación de campo y recopilación de información histórica (Tabla 1, Fig. 1).

De estas coberturas vegetales solo fueron caracterizadas aquellas que arrojaron información detallada de las posibles especies de sucesión temprana y tardía, útiles para la propagación en vivero. Así, las 25 ha de restauración ecológica contaron para 2015, con área de pastos enmalezados (14,89 ha) y arbustales (rastros); 8,48 ha), otras coberturas son las formaciones de bosque secundario y galería (1,63 ha).

**Tabla 1.** Métricas de paisaje calculadas para las 25 ha de restauración ecológica en Sabanalarga-2015.

Cobertura según Corin Land Cover (CLC)	Fisonomía - 2015	Perímetro (m)	Área (Ha)
Bosque abierto	Bosque secundario	922,36	0,68
Bosque de galería y/o ripario	Bosque de galería	1482,39	0,95
Pastos enmalezados	Pastos enmalezados	7689,76	14,89
Vegetación secundaria o en transición	Arbustal alto (rastrojo alto)	4753,26	7,91
	Arbustal bajo (rastrojo bajo)	573,77	0,57
<b>TOTAL</b>		<b>15433,05</b>	<b>25,00</b>

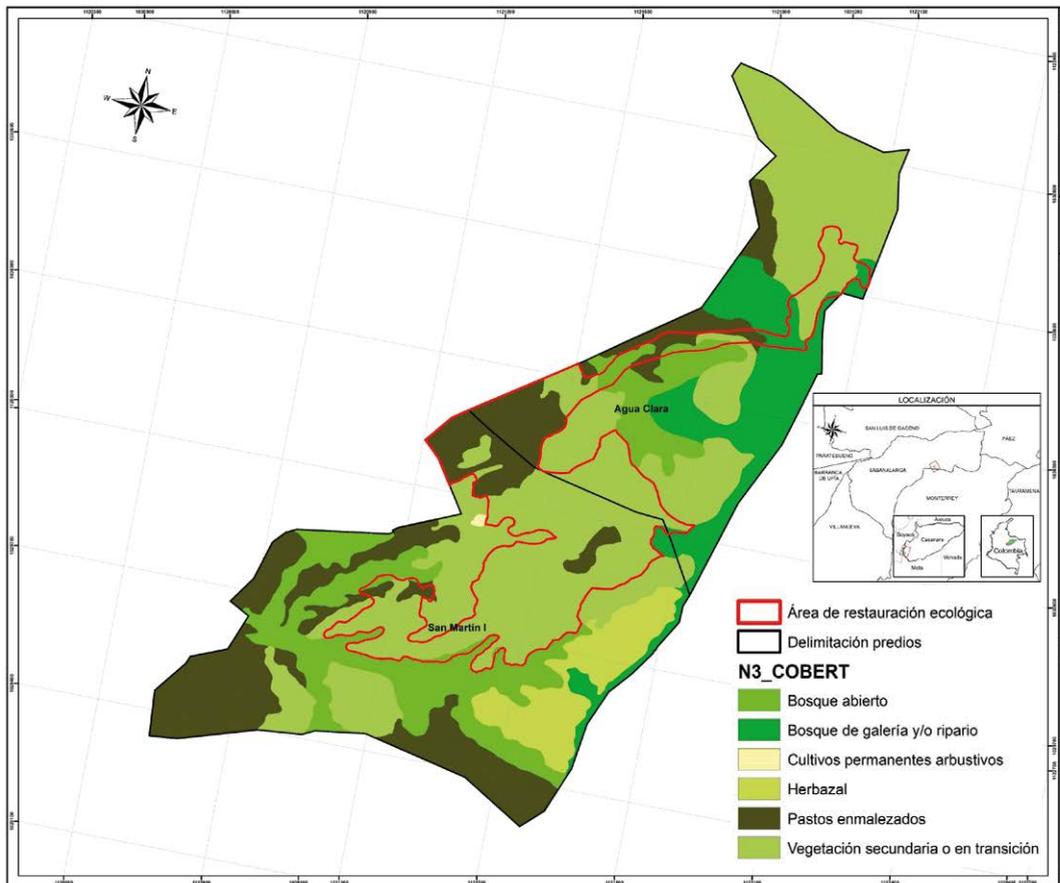


**Figura 1.** Mapa temático de coberturas vegetales 2015, delimitadas en las áreas San Martín I y Aguaclara (Sabalarga). El polígono rojo corresponde a las 25 ha de restauración ecológica.

**Métricas de coberturas vegetales para las 25 ha de restauración ecológica-2018:** En general, para esta fecha aún se mantienen los cuatro tipos de coberturas vegetales identificadas en el 2015; sin embargo, la dinámica espacial y temporal del área de influencia directa (25 ha) se ve modificada. Los pastizales enmalezados que en 2015 eran dominados por *Brachiaria* sp., para 2018, se cambia por la presencia de flora arbustiva (rastros bajos), producto de las estrategias de nucleación y avance de la sucesión natural; de esta forma para el 2018, a escala de paisaje, la cobertura vegetal representativa corresponde a la vegetación secundaria o en transición (arbustales) con 17,6 ha, mientras que los pastos enmalezados perdieron área (5,8 ha) (Tabla 2, Fig. 2).

**Tabla 2.** Métricas de paisaje calculadas para las 25 ha de restauración ecológica en Sabanalarga-2018.

Cobertura según Corin Land Cover (CLC)	Fisonomía - 2018	Perímetro	Área (Ha)
Bosque abierto	Bosque secundario	922,36	0,68
Bosque de galería o ripario	Bosque de galería	1482,39	0,95
Pastos enmalezados	Pastos enmalezados	3087,62	5,77
Vegetación secundaria o en transición	Arbustales	10289,02	17,61
<b>TOTAL</b>		<b>15781,39</b>	<b>25,00</b>



**Figura 2.** Mapa temático de coberturas vegetales 2018, delimitadas en las áreas San Martín 1 y Agua Clara (Sabalarga). El polígono rojo corresponde a las 25 ha de restauración ecológica.

## 6.2 SUELO

**El suelo y su papel en la restauración ecológica.** Con el fin de realizar análisis microbiológicos y fisicoquímicos del suelo se tomaron muestras del mismo en el periodo 2017 a 2018, en coberturas de bosque secundario (B2), bosque ripario (BR), pastizal enmalezado (PE) y rastrojo alto (RA).

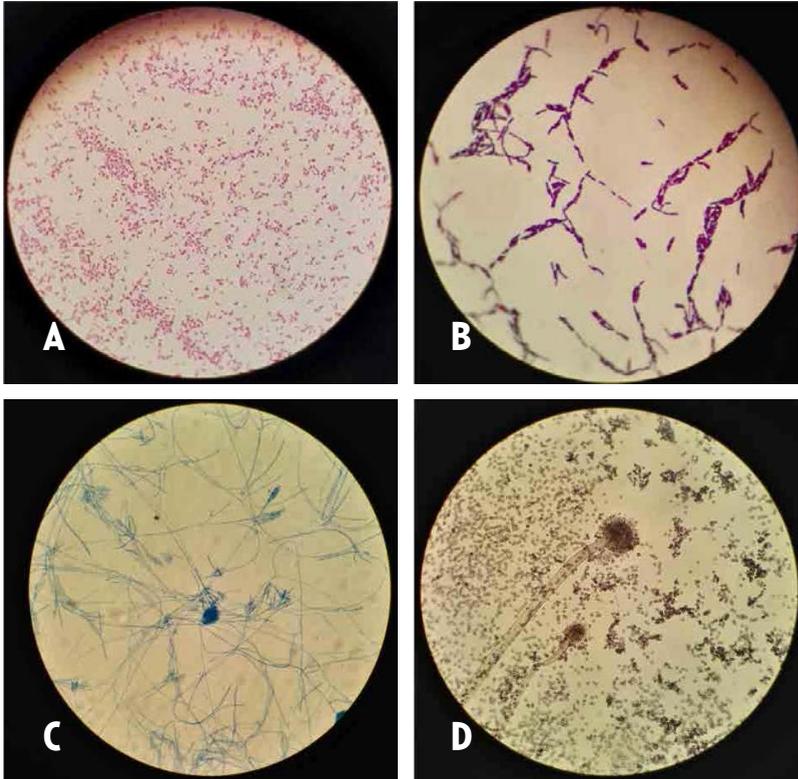
**Parámetros fisicoquímicos.** Los suelos de la vereda Monserrate (áreas San Martín I y Agua Clara), se caracterizan por texturas arenosas, principalmente, en la asociación vegetal de bosque ripario, otros con texturas francos arcillosos en bosque abierto, bosque secundario, vegetación secundaria baja, vegetación secundaria alta y pastizal enmalezado.

Los suelos son ácidos con pH entre 3,8-4,7 y contenidos bajos de materia orgánica (MO) en todas las coberturas evaluadas; los valores más bajos de pH (3,8) están asociados a las zonas con siembra de núcleos. Las condiciones de acidez en los suelos, puede ser por la ausencia de bases intercambiables y el remplazo de cationes ácidos ( $Al^{3+}$ ), además de la descomposición de la materia orgánica, la oxidación del azufre, la nitrificación del amonio y la liberación de  $H^+$  por las raíces de las plantas cuando absorben  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $K^+$  (Zapata, 2004).

Las concentraciones de Ca, Mg y K disminuyeron respecto a los valores obtenidos en el primer periodo; sin embargo, en la cobertura de rastrojo alto se obtuvieron para el segundo periodo de muestreo los valores más altos de Ca ( $0,7 \text{ cmol}^+ \cdot \text{Kg}^{-1}$ ), Mg ( $0,6 \text{ cmol}^+ \cdot \text{Kg}^{-1}$ ) y K ( $0,2 \text{ cmol}^+ \cdot \text{Kg}^{-1}$ ), y en pastizales enmalezados con siembra (nucleaciones) los de Mg ( $0,5 \text{ cmol}^+ \cdot \text{Kg}^{-1}$ ). Los bajos valores reportados en los macronutrientes de las diferentes coberturas vegetales, pueden estar siendo afectados por el pH ácido que presentan los suelos, el cual afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas por disminución de nutrientes esenciales (Martinsen et al., 2015).

**Parámetros microbiológicos.** Los suelos de la vereda Monserrate, presentaron una concentración microbiana similar entre periodos de muestreo; las bacterias en concentraciones de  $4,1 \text{ Log UFC g}^{-1}$  y para hongos de  $2,5 \text{ Log UFC g}^{-1}$ ; en bosque secundario se registró la mayor abundancia de bacterias ( $4,5 \text{ Log UFC g}^{-1}$ ), respecto a hongos, estos fueron abundantes en vegetación secundaria alta ( $2,8 \text{ Log UFC g}^{-1}$ ).

Se aislaron un total de nueve géneros bacterianos (Gb) y 6 fúngicos (Gf), la cobertura bosque secundario fue la más diversa con el mayor número de morfotipos (6 Gb y 5 Gf); seguido del pastizal aledaño a bosque ripario (4 Gb y 4 Gf), y con menor diversidad fue pastos enmalezados (2 Gb y 3 Gf). No se evidenció recambio en número de morfotipos microbianos en las diferentes coberturas, en su lugar fue evidente el aumento en las abundancias de estos; *Pseudomonas* fue la más abundante registrada en todas las coberturas, seguido de *Bacillus*, *Lactobacillus* y *Corynebacterium*, y *Klebsiella* fue el menos abundante, registrada solo en pastizal enmalezado. Respecto a hongos, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Cladosporium* se registraron en todas las coberturas durante los dos periodos de muestreo, seguido de *Mucor* y *Cephalosporium* (Fig. 3).



**Figura 3.** Principales géneros de bacterias y hongos aislados en las muestras de suelo en Sabanalarga, Casanare. **A.** *Pseudomonas*; **B.** *Bacillus*; **C.** *Penicillium*; **D.** *Aspergillus*.

La abundancia de bacterias y hongos no evidenció cambios significativos entre las coberturas en los periodos muestreados; sin embargo, en coberturas con siembra (nucleaciones), se apreció el aumento de abundancia de microorganismos bacterianos como *Pseudomonas* y *Bacillus*, los cuales pueden presentar alta flexibilidad metabólica y fisiológica, lo que les permite adaptarse con facilidad a diferentes ecosistemas y a los cambios en los suelos (Allison & Martiny, 2008).

En todo proceso de restauración ecológica, es fundamental la fijación de carbono por medio de la acumulación de hojarasca y el ciclaje de nutrientes a nivel de las raíces (Cheng & An, 2015), facilita la riqueza y la abundancia de microorganismos, que indica la recuperación de la estructura y propiedades del suelo. A corto plazo (0-3 años), no son notorios los cambios en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los suelos, por tanto, se esperarían cambios contrastantes a mediano plazo (3-10 años).

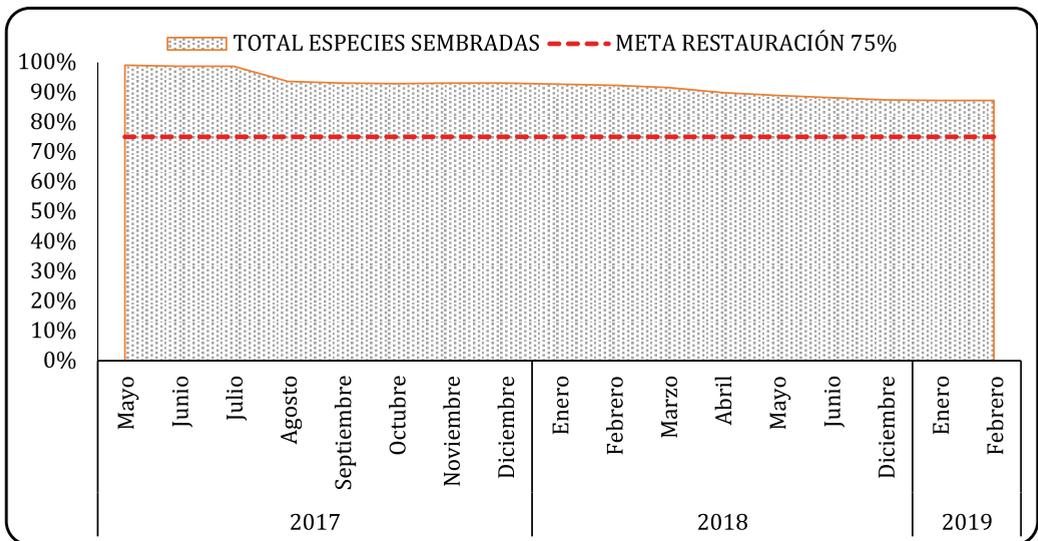
# 6.3 VEGETACIÓN

**La vegetación y su papel en la restauración ecológica:** a continuación se describen indicadores de restauración ecológica discriminados en: 1) supervivencia de la plantación; 2) distribución de edades en grupos; 3) recambio de las especies, y 4) monitoreo del cambio de cobertura.

Escala	Atributo	Temporalidad	Indicador	Cuantificador
Comunidad	Composición	Trimestral	• Supervivencia de las plantaciones	• Tasa de supervivencia de especies plantadas
			• Distribución de edades en grupos	• Tasa de desarrollo de especies plantadas
			• Recambio de las especies	• Diversidad

## • Supervivencia de las plantaciones

La supervivencia de las plantas sembradas en las estrategias de nucleación en el área de intervención (vereda Monserate, áreas San Martín I y Agua Clara) se registró hasta en un 89%, que sobrepasa la meta de restauración (> 75%) (Fig. 4). Las especies que presentaron una supervivencia del 100% fueron: *Attalea aff. maripa*, *Calliandra sp.*, *Dendropanax arboreus*, *Myrtaceae*, *Oenocarpus sp.*, *Tapirira guianensis*, *Tococa guianensis* y *Vismia baccifera*. Las especies que presentaron la menor tasa de supervivencia fueron *Palicourea aff. amethystina* y *Clidemia ciliata* con 47% y 56% respectivamente (Fig. 5).



**Figura 4.** Tasa de supervivencia general de las plantaciones realizadas en Sabanalarga, Casanare.

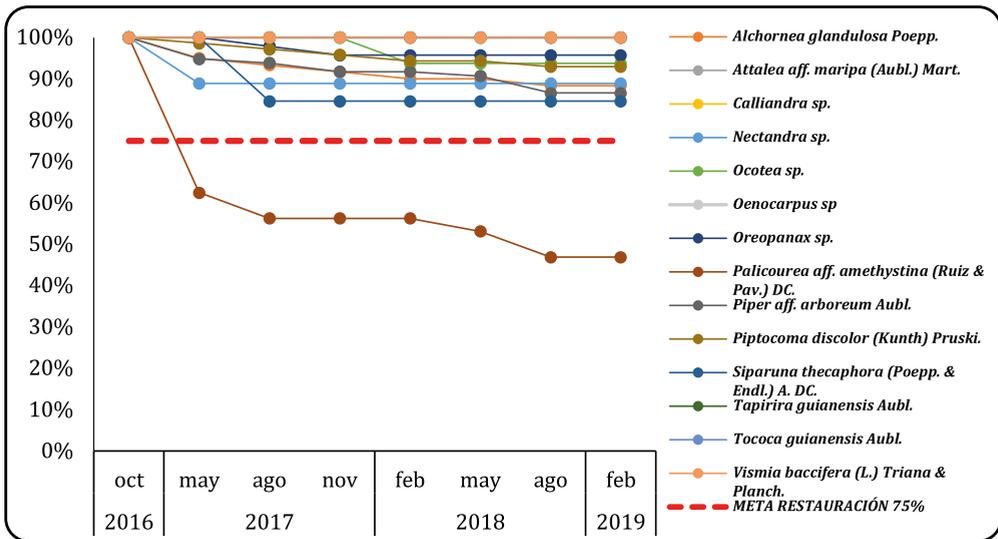


Figura 5. Tasa de supervivencia por especie.

• **Distribución de edades en grupos**

De acuerdo con los seguimientos para el año 2018, se evidencia que las plantaciones en su gran mayoría se encuentran en estado juvenil (I y II). Las especies *Cecropia latiloba*, *Miconia multiflora* y *Attalea aff. maripa*, son las especies que presentan mayor porcentaje de plantas en estado de plántula. *Alchornea glandulosa* es la única especie que presenta individuos en estado subadulto (Fig. 6).

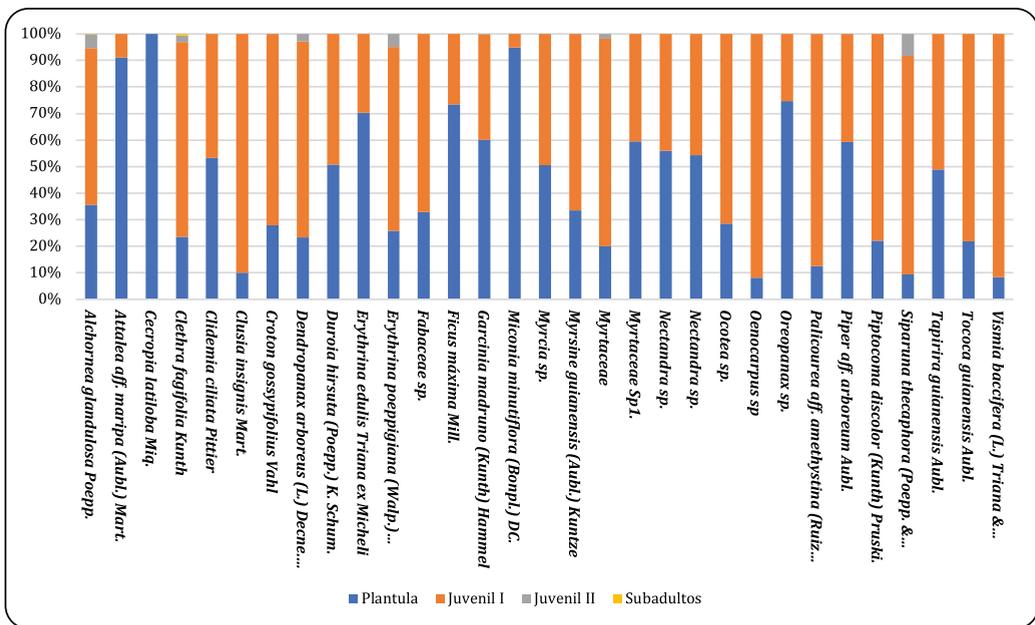
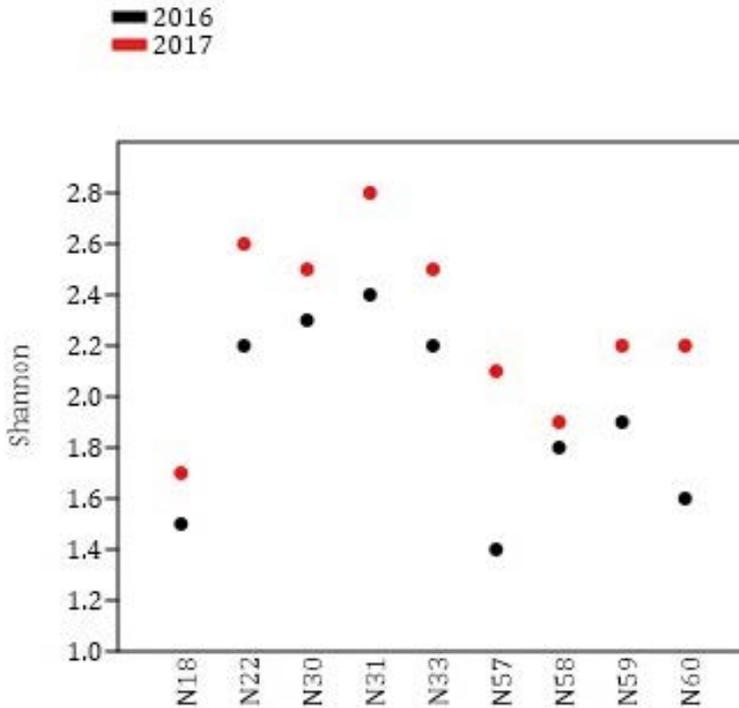
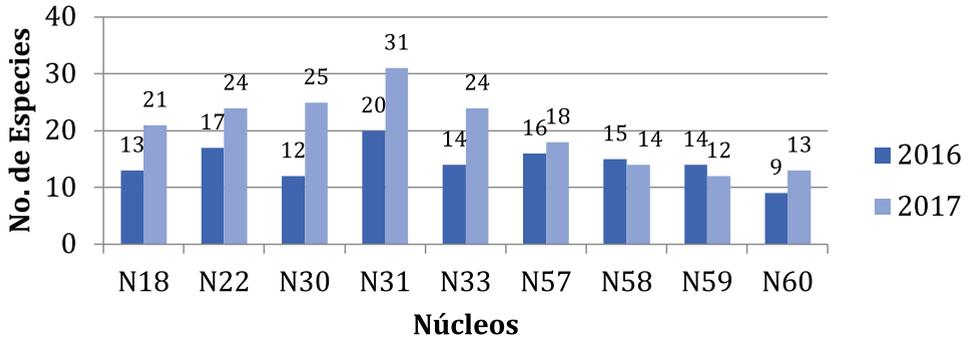


Figura 6. Distribución de edades para cada una de las especies establecidas en el área de intervención (II semestre 2018).

- **Recambio de las especies**

La vegetación asociada a los nueve núcleos de monitoreo tipo hexágono, registró un aumento en la riqueza entre los periodos 2016 y 2017 (Fig. 7). Así mismo, se evidenció un aumento sobre la diversidad (a partir del índice de Shannon), que, aunque no demostraron diferencias estadísticamente significativas, se observa que este valor incrementa en el año 2017. Los resultados muestran que en el área de intervención se llevó a cabo un proceso de regeneración natural.



**Figura 7.** Imagen superior. Riqueza de especies (2016 y 2017) para cada uno de los núcleos de monitoreo tipo hexágono. Imagen inferior: Índice de diversidad para los núcleos hexagonales (periodo 2016-2017).

- **Monitoreo del cambio de cobertura**

Escala	Atributo	Temporalidad	Indicador	Cuantificador
Paisaje	Estructura	Semestral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura de vegetación nativa</li> <li>• Cobertura de gramíneas exóticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje de área por tipo de cobertura</li> <li>• Cambio en la complejidad estructural de la vegetación</li> </ul>

En la vereda Monserrate, la ganadería intensiva y extensiva, la tala y quema fueron las causas del deterioro de las coberturas vegetales. Posterior a la implementación de las estrategias de nucleación en las 25 ha, se observaron cambios en las coberturas. Inicialmente dominaron los pastizales limpios y pastizales arbolados de *Brachiaria* sp.; a junio de 2018 las siembras realizadas determinaron el establecimiento de la plantación (con especies como *Miconia* sp., *Clidemia ciliata*, *Piper arboreum*, *Persea* sp., *Myrcia* sp., otras), lo que explica un avance en el modelo de trayectoria ecológica, determinado en la estrategia de restauración, con la transición del pastizal a los arbustales (rastrojo). En las Figuras 8 a 10, se aprecian cambios fisonómicos producto del exitoso establecimiento de la plantación en el periodo 2016–2018.



**Figura 8.** Registros de la estrategia de nucleación. **A.** Siembra en pastizal - 2016. **B-C.** Modificación fisonómica del área sembrada, arbustos establecidos en 2018.



**Figura 9.** Cambio de cobertura del área Aguaclara. **A.** 2017. **B.** 2018.



**Figura 10.** Cambios fisonómicos producto de la plantación. **A.** Pastizal antes de la siembra; **B.** La misma zona con establecimiento de la plantación.

## 6.4 FAUNA

### **Relación entre la presencia de coleópteros coprófagos y comunidades vegetales en diversas etapas sucesionales en Sabanalarga**

En la vereda Monserrate (Fig. 11), se registró una comunidad de escarabajos coprófagos muy diversa y estructurada, quizás resultado de la confluencia de los Andes y la región del Orinoco. Un total de 41 especies de escarabajos coprófagos (Scarabaeidae, Scarabaeinae) fueron registradas.

La especie más abundante, fue del género *Canthidium*, seguido de una morfoespecie del género *Onthophagus* y *Uroxys brachialis*. En contraste, se registraron con menos de diez individuos a: *Canthidium* sp. 1, *Canthon* aff. *politus*, *Uroxys pauliani*, *Dichotomius* aff. *tristis*, *Dichotomius mamillatus*, *Sulcophanaeus auricollis*, entre otros (Tabla 3). *Canthon*, *Deltochillum*, *Dichotomius* y *Sulcophanaeus* fueron especies exclusivas de bosques.



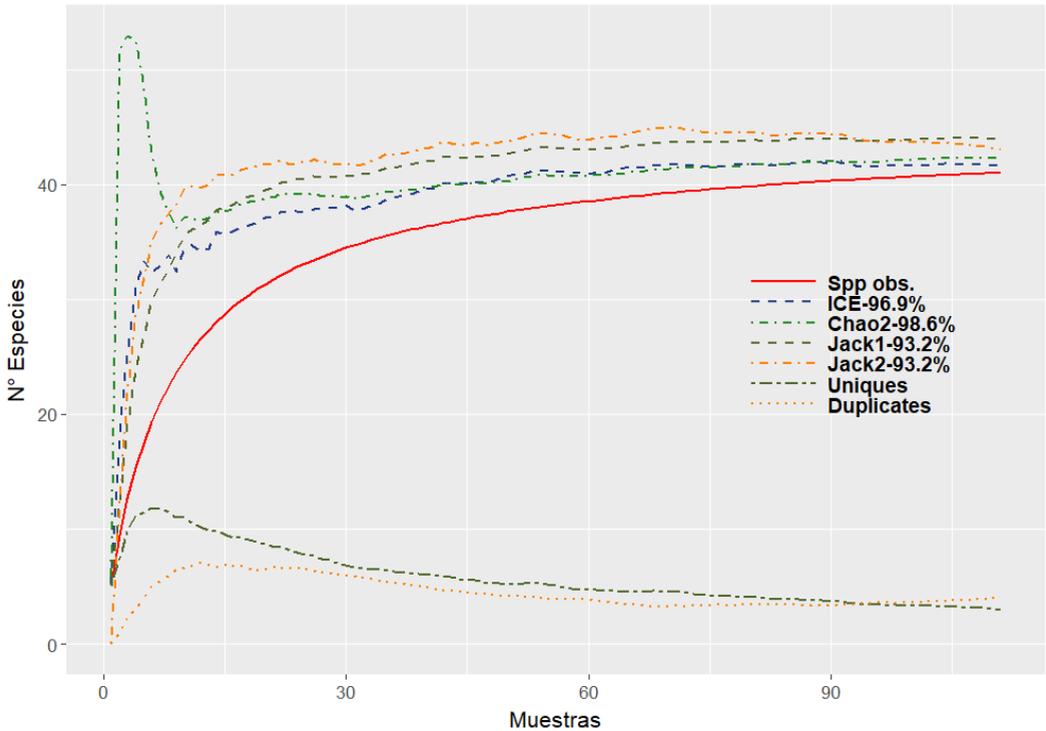
**Figura 11.** *Sulcophanaeus auricollis*. Especie indicadora positiva en Sabanalarga.

**Tabla 3.** Abundancia de escarabajos para las coberturas vegetales, en la vereda Monserrate (Sabanalarga). **B1.** Bosque de Palma; **B2.** Bosque Secundario; **BR.** Bosque Ripario; **PE1.** Pastizal Enmalezado 1; **PE2.** Pastizal Enmalezado 2; **PE3.** Pastizal Enmalezado 3.

Especie	B1	B2	BR	PE1	PE2	PE3	PE4	Total
<i>Ateuchus</i> sp. 1	0	0	46	0	0	0	0	46
<i>Canthidium</i> sp. 1	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Canthidium</i> sp. 23 H	395	570	508	43	18	5	11	1550
<i>Canthidium</i> sp. 27 H	168	202	52	16	1	2	3	444
<i>Canthidium</i> sp. 3	9	49	17	95	12	8	16	206
<i>Canthidium</i> sp. 5	25	4	8	7	0	0	0	44
<i>Canthidium</i> sp. 7	0	2	0	0	0	0	1	3
<i>Canthidium</i> sp. 8	3	0	1	0	0	0	0	4
<i>Canthon</i> aff. <i>cyaneus</i>	2	0	0	3	13	0	6	24
<i>Canthon</i> aff. <i>politus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Canthon angustatus</i>	8	2	56	0	0	0	0	66
<i>Canthon</i> sp. 1	20	33	63	5	1	0	28	150
<i>Coprophanaeus telamon</i>	1	23	16	11	24	5	0	80
<i>Deltochilum</i> sp. 1	14	12	25	3	0	0	0	54
<i>Deltochilum</i> sp. 2	10	14	17	0	0	0	0	41

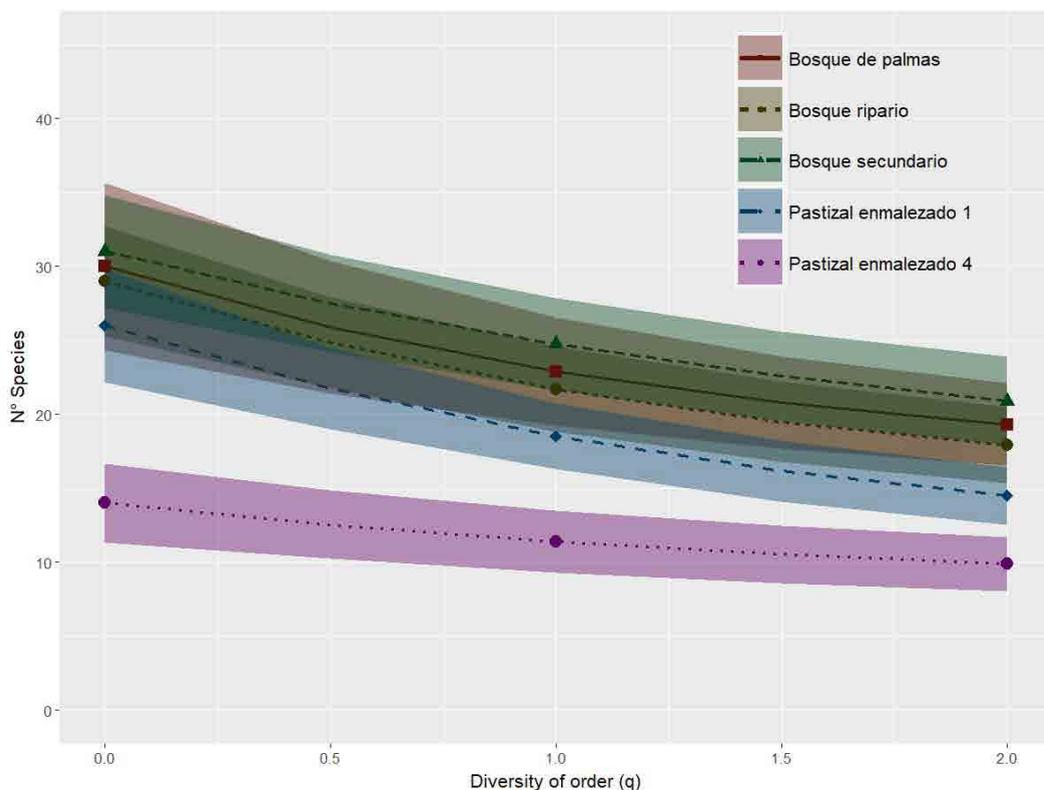
<b>Especie</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>BR</b>	<b>PE1</b>	<b>PE2</b>	<b>PE3</b>	<b>PE4</b>	<b>Total</b>
<i>Dichotomius aff. tristis</i>	0	0	0	8	0	0	0	8
<i>Dichotomius boreus</i>	0	0	24	0	0	0	0	24
<i>Dichotomius compresicollis</i>	6	2	36	10	0	0	0	54
<i>Dichotomius deyrollei</i>	0	0	0	22	3	0	0	25
<i>Dichotomius mamillatus</i>	0	2	1	0	0	0	0	3
<i>Dichotomius protectus</i>	46	90	1	0	0	0	0	137
<i>Dichotomius quinquelobatus</i>	11	6	0	1	0	0	0	18
<i>Dichotomius sp. 1</i>	6	10	3	1	0	0	0	20
<i>Eurysternus aff. contractus</i>	4	3	3	0	0	0	0	10
<i>Eurysternus caribaeus</i>	38	20	32	2	0	0	0	92
<i>Eurysternus foedus</i>	0	3	6	3	0	0	0	12
<i>Ontherus aff. diabolicus</i>	3	3	58	2	0	1	0	67
<i>Ontherus aff. kirschii</i>	39	17	0	1	3	1	1	62
<i>Onthophagus 08H / sp. 1</i>	55	14	403	4	4	0	0	480
<i>Onthophagus bidentatus</i>	10	15	157	4	11	12	21	230
<i>Onthophagus curvicornis</i>	15	20	2	0	3	1	2	43
<i>Onthophagus rubescens</i>	37	19	165	4	1	0	0	226
<i>Onthophagus sp. nov</i>	13	14	2	1	17	0	2	49
<i>Phanaeus cambeforti</i>	1	11	6	0	0	0	0	18
<i>Phanaeus meleagris</i>	59	43	0	0	0	0	0	102
<i>Scybalocanthon aff. kelleri</i>	7	14	0	152	64	26	11	274
<i>Sulcophanaeus auricollis</i>	1	0	1	1	1	0	0	4
<i>Uroxys aff. brachialis</i>	43	84	167	75	13	16	5	403
<i>Uroxys aff. cuprescens</i>	84	58	153	12	0	1	0	308
<i>Uroxys aff. pauliani</i>	0	3	0	0	0	0	0	3
<i>Uroxys sp. 5</i>	0	0	0	4	0	0	0	4
<b>Total</b>	<b>1133</b>	<b>1362</b>	<b>2029</b>	<b>490</b>	<b>189</b>	<b>78</b>	<b>109</b>	<b>5390</b>

**Diversidad Alfa ( $\alpha$ ).** La diversidad alfa de coleópteros coprófagos (Fig. 12), refleja que el muestreo fue eficiente. Las curvas de especies duplicadas y únicas, presentan una clara tendencia a descender según se incrementa el número de muestras (Fig. 13).



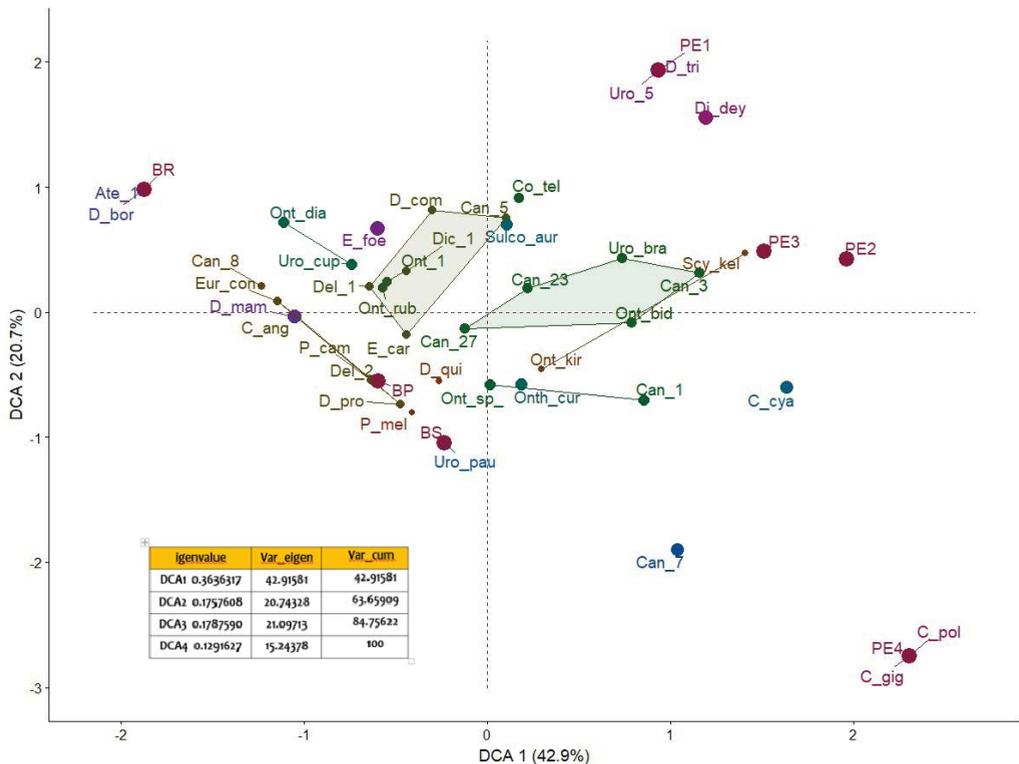
**Figura 12.** Diversidad Alfa para coleópteros en Sabanalarga.

Los bosques presentaron una mayor diversidad en comparación con los pastizales, pero se resalta que, uno de estos (PE\_1 en Fig. 13) se solapa completamente con las coberturas de bosque. En este pastizal, se registró en el 70% de las especies observadas para la zona, esta zona, a través del tiempo, presentó los mayores cambios fisonómicos producto del establecimiento de especies sembradas en la estrategia de nucleación. La cobertura con mayor diversidad fue el Bosque de Palmas (B1) de acuerdo al orden  $q_1$  de diversidad verdadera (11,34) y la cobertura con menor diversidad de escarabajos fue el pastizal PE3 ( $q_1=6,57$ ).



**Figura 13.** La diversidad Alfa en función de la riqueza de especies ( $q = 0$ ), el exponencial del índice de entropía de Shannon ( $q = 1$ ) y el inverso del índice de Simpson ( $q = 2$ ) o inverso del índice de Simpson.

**Diversidad Beta ( $\beta$ ).** El Análisis de Correspondencias sin tendencia (DCA) realizado entre las abundancias de coleópteros sobre diversos tipos de coberturas en Sabanalarga, muestra que, el 63,6% de la variabilidad de los datos fue explicada por los dos primeros ejes del modelo (Fig. 14). El primer eje discriminó las coberturas de acuerdo con su estructura y composición, mientras que el segundo eje los separó principalmente en función de la proximidad de las coberturas degradadas (pastizales) a los bosques.



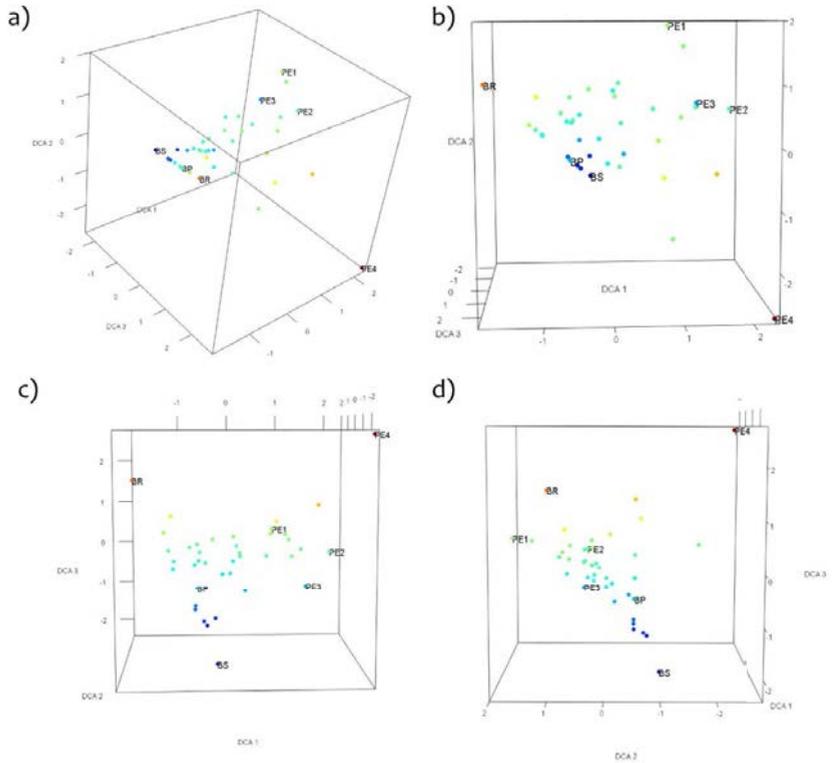
**Figura 14.** Análisis de correspondencias segmentado (DCA) realizado entre las abundancias de coleópteros en cuatro muestreos sobre diversos tipos de coberturas en Sabanalarga.

El bosque ripario (BR), y uno de los muestreos en pastizales (PE4), presentaron los datos más alejados en cuanto a semejanza de especies, esto explica el 43% de la variabilidad del modelo, a través de la composición de especies, lo que se interpreta con una importante diferencia en la presencia/ocurrencia de especies de coleópteros en función de las coberturas vegetales. Hay una separación de casi cuatro unidades de desviación estándar.

De igual manera, se puede observar que, existe coherencia en la hipótesis de trayectoria ecológica trazada para el desarrollo de las metas de restauración, al evidenciarse una mayor semejanza en la composición de especies de coleópteros entre pastizales respecto a aquellos observados en bosques. La misma interpretación procede para los bosques. El Bosque Ripario (BR), el Bosque de Palmas (BP) y el Bosque secundario (BS) comparten especies, con existencia de una relación proporcional en el número de incidencias de especies de coleópteros. Esta interpretación se hace al comparar los datos en 3 años.

De otra parte, es relevante observar cómo logran diferenciarse los pastizales entre sí. La principal diferencia en la composición de especies está entre el Pastizal 1 (PE1) y el Pastizal 4 (PE4). Las líneas (y polígonos) reflejan las especies compartidas entre coberturas vegetales. Y se observa una tendencia a la especificidad asociada a la complejidad estructural (y composicional) de las coberturas vegetales. Ahora,

al incluir el tercer eje en el Análisis de Correspondencias Segmentado (DCA), se explica un 84% de la variabilidad de los datos (Fig. 15).



**Figura 15.** Análisis de correspondencias segmentado (DCA) realizado entre las abundancias de coleópteros en cuatro muestreos sobre diversos tipos de coberturas en Sabanalarga, una vez se incluye el tercer eje. **a)** DCA en 3 dimensiones; **b)– d)** rotación de la gráfica sobre cada eje.

La inclusión del tercer eje, permitió observar no solamente cómo se distribuyen de forma más agregada los dos tipos dominantes de coberturas (bosques y pastizales), sino cuáles son semejantes entre sí. El bosque de palmas queda entre los bosques secundarios y ripario, con mayor similitud hacia el bosque secundario.

Se observa una tendencia en el incremento de la diversidad de coleópteros coprófagos a medida que incrementa la complejidad estructural y composicional de la cobertura vegetal. Dado que, estos atributos en comunidades cuantifican el proceso de sucesión ecológica secundaria, lo que se plantea aquí es que, efectivamente, estos insectos son indicadores del avance en la continuación y por tanto, un buen indicador del efecto de procesos como la nucleación bajo condiciones de Sabanalarga.

¿A qué se puede deber esta relación entre cobertura y coleópteros coprófagos?, probablemente a la funcionalidad en este grupo de insectos por su especialidad en el uso del recurso, su ocurrencia se explica casi exclusivamente, por la presencia/

ocurrencia de especies de mamíferos, y acceso a las heces. Por tanto, aquella cobertura vegetal que oferta un mejor hábitat a los mamíferos, en términos de refugio y alimento, reflejará una mayor presencia de mamíferos y, por tanto, de los coleópteros coprófagos asociados.

### Relación entre la presencia de hormigas y comunidades vegetales en diversas etapas sucesionales en Sabanalarga

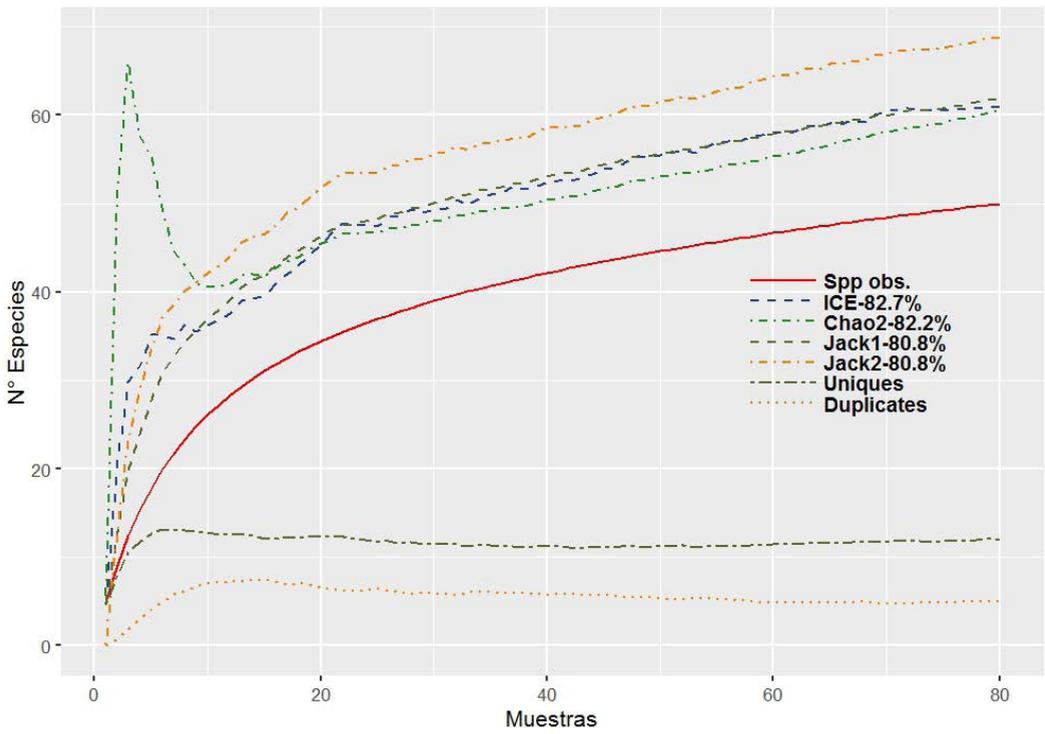
En total, se hallaron 50 morfoespecies, en 28 géneros (Tabla 4). La mayor cantidad de morfoespecies se encuentran en pastizales PE1 (36) y PE4 (33). Los bosques presentaron entre ocho y 12 morfoespecies. Solo una morfoespecie del género *Megalomyrmex* se encontró en todas las comunidades vegetales; y quince (15) fueron exclusivas de una sola comunidad (Tabla 4).

**Tabla 4.** Presencia de morfoespecies de hormigas para las coberturas vegetales, en Sabanalarga. 0: Ausencia, 1: Presencia; B1: Bosque Secundario 1, B2: Bosque Secundario 2. BR: Bosque Ripario 1, PE1: Pastizal Enmalezado 1, PE2: Pastizal Enmalezado, PE3: Pastizal Enmalezado 3, PE4: Pastizal Enmalezado 4.

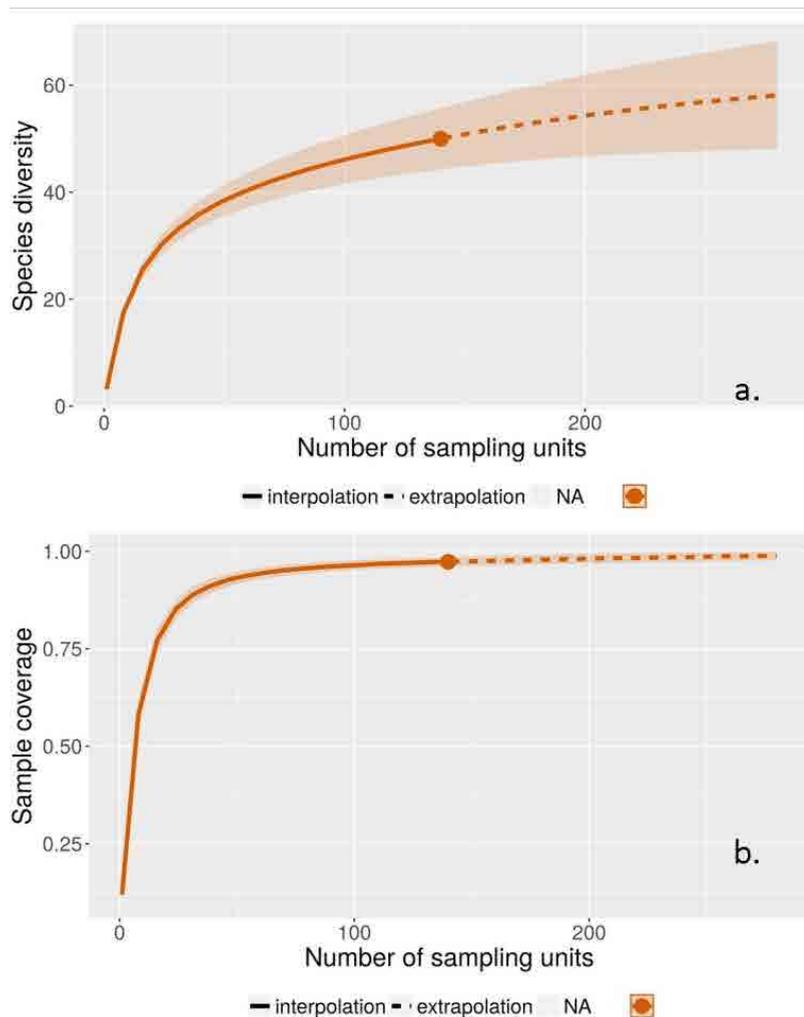
Morfoespecie	B1	B2	BR	PE1	PE2	PE3	PE4	Total
<i>Acromyrmex</i> sp. 1	0	1	0	1	1	1	1	5
<i>Anochetus</i> sp. 1	0	0	0	1	0	0	1	2
<i>Apterostigma</i> sp. 1	0	0	0	0	1	1	1	3
<i>Azteca</i> sp. 1	0	0	0	1	0	0	1	2
<i>Brachymyrmex australis</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Brachymyrmex patagonicus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Brachymyrmex</i> sp. 1	0	0	1	1	0	0	1	3
<i>Camponotus</i> sp. 1	0	1	0	1	1	1	1	5
<i>Camponotus</i> sp. 2	0	0	1	1	1	1	1	5
<i>Camponotus</i> sp. 3	0	0	1	1	1	1	1	5
<i>Camponotus</i> sp. 4	0	0	1	1	0	0	0	2
<i>Crematogaster limata</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Crematogaster</i> sp. 1	1	1	1	1	0	0	1	5
<i>Crematogaster</i> sp. 2	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Cyphomyrmex</i> sp. 1	1	0	0	1	1	1	1	5
<i>Cyphomyrmex</i> sp. 2	0	0	0	1	0	1	0	2
<i>Eciton</i> sp. 1	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Ectatomma brunneum</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Ectatomma</i> sp. 1	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Gnamptogenys</i> sp. 1	0	1	0	1	1	1	1	5
<i>Hypoponera</i> sp. 1	0	0	0	1	0	1	0	2
<i>Leptogenys</i> sp. 1	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Linepithema</i> sp. 1	0	1	0	1	0	0	0	2
<i>Linepithema</i> sp. 2	0	0	0	1	1	1	1	4
<i>Megalomyrmex</i> sp. 1	1	1	1	1	1	1	1	7
<i>Megalomyrmex</i> sp. 2	0	0	0	1	1	0	0	2
<i>Neoponera</i> sp. 1	1	0	0	1	0	0	0	2

Morfoespecie	B1	B2	BR	PE1	PE2	PE3	PE4	Total
<i>Neoponera</i> sp. 2	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Nylanderia</i> sp. 1	1	0	0	1	0	0	1	3
<i>Nylanderia</i> sp. 2	0	0	0	1	1	1	1	4
<i>Ochetomyrmex</i> sp. 1	0	0	0	1	0	0	1	2
<i>Odontomachus</i> sp. 2	0	1	1	1	1	1	1	6
<i>Odontomachus</i> sp. 2	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Pachycondyla</i> sp. 2	0	0	0	1	1	1	1	4
<i>Pachycondyla</i> sp. 2	0	0	0	1	0	1	1	3
<i>Paratrechina</i> sp. 2	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Pheidole</i> sp. 2	1	0	0	1	1	1	1	5
<i>Pheidole</i> sp. 2	1	1	0	1	1	1	1	6
<i>Pheidole</i> sp. 2	1	1	0	1	1	1	1	6
<i>Pheidole</i> sp. 2	0	0	0	1	1	0	1	3
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 2	0	1	0	1	1	1	1	5
<i>Pseudomyrmex</i> sp. 2	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Sericomyrmex</i> sp. 2	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Solenopsis</i> sp. 2	0	0	0	1	1	1	1	4
<i>Solenopsis</i> sp. 2	0	0	0	1	1	1	1	4
<i>Solenopsis</i> sp. 2	0	0	0	0	1	1	0	2
<i>Strumygenys</i> sp. 2	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Trachymyrmex</i> sp. 2	0	0	0	1	0	0	1	2
<i>Wasmannia auropunctata</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Wasmannia</i> sp. 2	0	0	0	1	1	1	1	4
Total	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>36</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>33</b>	<b>146</b>

**Diversidad Alfa ( $\alpha$ ).** El muestreo fue eficiente (Fig. 16). Las curvas duplicadas y únicas, reflejan una tendencia a caer según se incrementa el número de muestras. La cobertura de muestreo para hormigas indica que se registró más del 98 % del total de morfoespecies del lugar, evidencia de un muestreo altamente efectivo con bajas probabilidades de encontrar nuevas morfoespecies para el lugar en muestreos subsecuentes (Fig. 17).



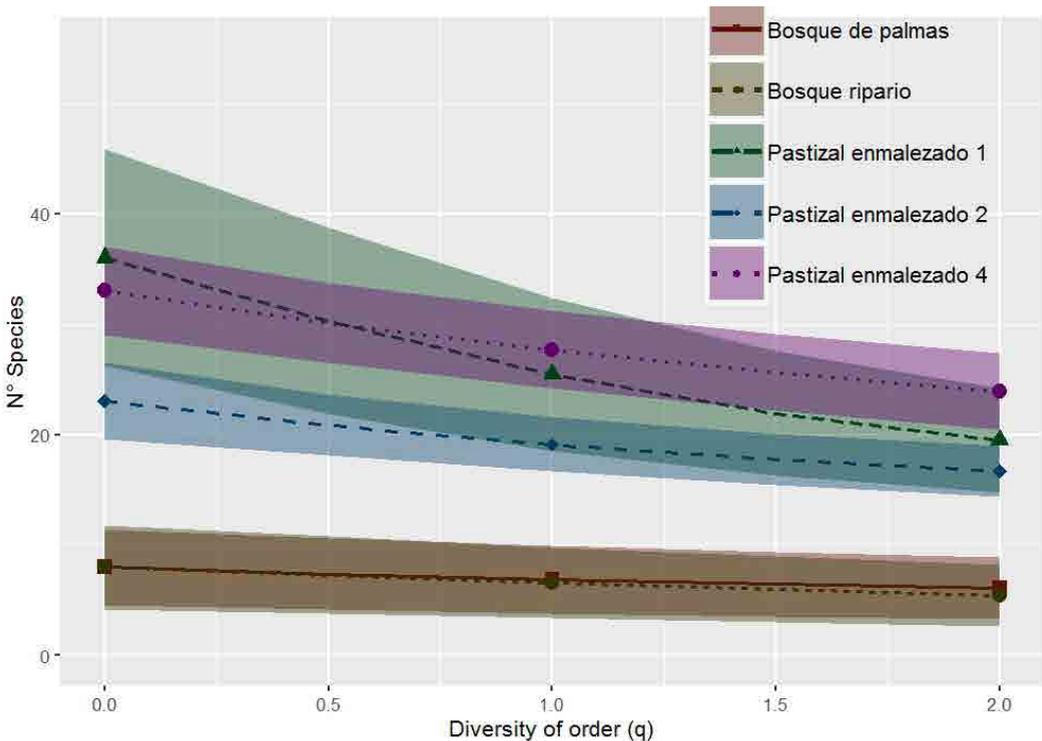
**Figura 16.** Diversidad Alfa para hormigas en Sabanalarga.



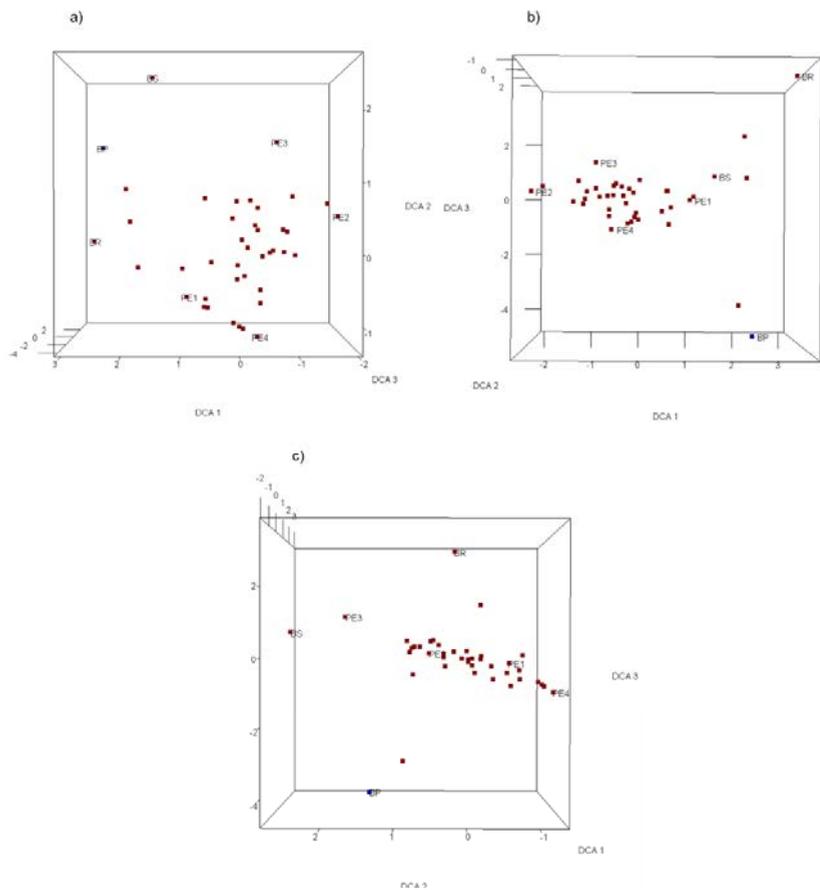
**Figura 17.** Completitud de muestreo para hormigas en Sabanalarga. **a.** Curva de rarefacción e interpolación de especies basadas en el tamaño de la muestra. **b.** Curva de cobertura de muestreo basada en el número de individuos.

La diversidad Alfa de hormigas (Figs. 18-19), fue más alta en los pastizales (PE1 y PE4), en comparación con los bosques en diferentes estados de conservación. En los bosques se presentaron los valores más altos de diversidad Alfa con intervalos de confianza superpuestos respecto al número de especies totales o con datos de presencia-ausencia semejantes.

La diversidad y el grado de recambio de especies reales (Chao & Jost, 2015) evidenció que la diversidad  ${}^0D$  ( $q = 0$ ) o riqueza de especies, es mayor en los pastizales (cobertura de establecimiento de los núcleos de plantación) en los tres tiempos (con diversidades estadísticamente semejantes entre ellos) en comparación con los bosques. Para la diversidad  ${}^1D$  ( $q = 1$ ) que corresponde al exponencial del índice de entropía de Shannon, y de diversidad  ${}^2D$  ( $q = 2$ ) o inverso del índice de Simpson, mantienen la tendencia, con valores más aproximados entre sí. Los bosques, presentaron una menor diversidad de hormigas y no son significativamente distintos entre ellos.



**Figura 18.** La diversidad Alfa en función de la riqueza de especies ( $q = 0$ ), el exponencial del índice de entropía de Shannon ( $q = 1$ ) y el inverso del índice de Simpson ( $q = 2$ ) o inverso del índice de Simpson.



**Figura 19.** Análisis de correspondencias segmentado (DCA) realizado entre la riqueza de especies, en cuatro muestreos sobre diversos tipos de coberturas en Sabanalarga. **a)** DCA entre componentes 1 y 2; **b)** DCA entre componentes 1 y 3; **c)** DCA entre componentes 2 y 3.

En la vereda Monserrate se identificaron al menos 11 gremios (Arenas et al., 2015), que pese a la gran amplitud de características ecológicas que ellos expresan, se observaron algunos aspectos que se resaltan, por su posible interés para la restauración, a saber:

- a) Los géneros *Neoponera* y *Crematogaster*, se observaron exclusivamente en uno de los bosques, más extenso, y estructura y composición más compleja. Pertenecen a gremios diferentes, la primera, en la mayoría de sus especies se alimentan y anidan en árboles (de Freitas et al., 2018); la segunda, es omnívora de suelo, generalista en la elección de su alimento; y posiblemente favorecida en ambientes perturbados. Si es el caso de las especies observadas, implicaría que las condiciones en áreas en restauración aún no ofertan recursos para su colonización.
- b) Los géneros *Megalomyrmex*, *Pheidole*, *Odontomachus* en términos generales, presentaron una amplia distribución entre las comunidades vegetales, tanto de bosque como de pastizales. Las dos primeras en el

gremio "dominantes omnívoras de suelo" y a tercera como "depredadoras grandes epigeas". Son tres géneros que aparecen muy abundantes en los primeros muestreos y reducen su presencia con el tiempo.

- c) *Brachymyrmex* es un género asociado con actividad especializada y parecen ser particularmente indicadoras de áreas en proceso de recuperación (Palacio & Fernández, 2003; Arenas et al., 2015) y sensible a las perturbaciones ambientales (Marinho et al., 2002). Palacio & Fernández (2003) le consideran dentro del gremio de "especialistas mínimas de vegetación" y es un género que apareció en los últimos muestreos de los pastizales (PE4 y PE1).
- d) Los géneros, *Apterostigma*, *Eciton*, *Ectatomma*, *Hypoponera*, *Nylanderia*, *Pachycondyla*, *Solenopsis* y *Wasmannia* fueron observados exclusivamente en pastizales. Están asociados a nueve gremios diferentes: desde nómadas, oportunistas y depredadoras, hasta especialistas.

Es interesante anotar cómo, ninguno de los ocho géneros anteriormente citados, fue observado durante el tiempo 0 del monitoreo, es decir, previo estableciendo de los núcleos de vegetación. Antes de la plantación de especies nativas, las áreas estaban dominadas por gramíneas exóticas, principalmente, especies del género *Brachiaria*.

Entre las posibles explicaciones a esta dinámica de poblamiento de hormigas, está el rápido desarrollo de la sucesión ecológica temprana, resultando unas tasas de mortalidad en las plantaciones inferiores al 5%, la activación de los bancos de semillas, debido al control inicial realizado a la gramínea, y probablemente a la presión de propágulos desde los fragmentos de bosques hacia la matriz de pastizales.

De acuerdo con Chacón de Ulloa & Abadía (2014), el grupo de las hormigas cazadoras, es particularmente relevante como indicadoras del estado de conservación de un sitio, debido a sus requerimientos de microhábitat (nidifican entre hojarasca y madera en descomposición); por tanto, susceptibles a los cambios en el ambiente; entre ellas, los autores citan especies del género *Gnamptogenys*, presente en bosque y pastizales. Es probable que, el incremento en el establecimiento de las plantaciones haya diversificado los microhábitats, lo que permite la coexistencia de numerosas especies (Valdés-Rodríguez et al., 2014).

### **¿Qué nos pueden decir los anfibios y reptiles sobre la restauración en la vereda Monserrate?**

Los muestreos evaluaron tres coberturas vegetales: Bosque Secundario (BS), Bosque Ripario (BR) y Matorrales densos o vegetación secundaria (MD). Estas tres coberturas cubren la mayoría de los hábitats que se encuentran disponibles en el área de estudio. Se registraron un total de 306 individuos de seis familias y 16 especies. En general, las tres coberturas presentaron riquezas iguales (12 especies cada una) y abundancias similares (Tabla 5); sin embargo, la mayoría de las especies son generalistas, y es común observarlas, en áreas boscosas como en algún grado de intervención. Familias como Hylidae, cuyas especies son comunes de observar en cuerpos de agua artificiales, o pequeñas charcas en pastizales o cultivos (Acuña-Vargas, 2016), excepto *Osteocephalus carri*, que fue únicamente observada a orillas de los arroyos de los bosques secundarios.

**Tabla 5.** Lista de especies de anfibios observados en el monitoreo realizado a las diferentes coberturas vegetales de la vereda Monserrate, Municipio de Sabanalarga. Bosque ripario (BR), Bosque secundario (BS) y Matorrales densos (MD). En monitoreos: 1, 2 y 3.

TAXÓN		COBERTURA VEGETAL									
Familia	Especie	BR1	BR2	BR3	BS1	BS2	BS3	MD1	MD2	MD3	Total
Aromobatidae	<i>Hyloxallus aff. sactamariensis</i>	2	3	6	2	17	14	0	0	0	44
	<i>Rheobates palmatus</i>	1	0	0	2	0	0	0	0	0	3
Bufonidae	<i>Rhinella cf. acuminata</i>	0	1	8	1	0	9	0	4	2	25
	<i>Rhinella horribilis</i>	0	1	0	1	0	0	1	1	4	8
Craugastoridae	<i>Pristimantis carranquerorum</i>	3	5	11	2	4	6	2	11	3	47
	<i>Pristimantis medemi</i>	10	4	5	7	0	0	10	6	3	45
	<i>Pristimantis sp.</i>	5	8	0	3	6	3	0	5	0	30
Hylidae	<i>Boana xerophylla</i>	0	1	3	0	1	10	0	2	0	17
	<i>Osteocephalus carri</i>	0	0	0	0	1	5	0	0	0	6
	<i>Scinax ruber</i>	0	0	6	0	0	3	0	14	4	27
	<i>Scinax wandae</i>	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
	<i>Leptodactylus colombiensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	4	0	5
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus fuscus</i>	2	2	2	0	1	6	2	1	3	19
	<i>Leptodactylus linneatus</i>	2	1	4	0	1	2	2	2	6	20
	<i>Pseudopaludicola boliviana</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
Microhylidae	<i>Elachistocleis ovalis</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Total general		<b>27</b>	<b>26</b>	<b>45</b>	<b>18</b>	<b>31</b>	<b>58</b>	<b>23</b>	<b>51</b>	<b>27</b>	<b>306</b>

Así mismo, especies de Leptodactylidae y Microhylidae son de hábitos generalistas y se encuentran en áreas con intervención humana; otro caso, Leptodactylidae tiene un modo reproductivo en el cual envuelve la postura de sus huevos con una sustancia espumosa, que protege a los huevos de las sequías y los mantiene húmedos (Wells, 2007). De tal manera que las características propias de este grupo, coadyuvan a que permanezcan en ecosistemas con altos grados de intervención como cultivos y pastizales.

Los registros de las especies de la familia Craugastoridae (Fig. 20), se deben a aspectos totalmente diferentes de las familias Bufonidae, Hylidae y Leptodactylidae. La abundancia de las especies de *Pristimantis* en todas las coberturas vegetales, y en especial, la cobertura de MD, se debe a que son organismos que no pasan por estado larval en ciclo de vida, sino que, por el contrario, su desarrollo se lleva a cabo adentro del huevo (Wells, 2007).



**Figura 20.** Rana de la familia Craugastoridae, *Pristimantis medemi*.

Para el caso de los reptiles, se observaron un total de 54 individuos que pertenecen a cinco familias y 12 especies, de las cuales, cinco son lagartos y siete son serpientes (Tabla 6). Respecto a los registros obtenidos con los anfibios, representa una abundancia mucho menor. Este contraste, se debe a que especies como las serpientes y algunos lagartos se caracterizan por ser de comportamientos crípticos, razón por la cual sus observaciones son con baja frecuencia (Rojas-Murcia et al., 2016). Además, los reptiles tienen escamas, lo cual le brinda una mayor tolerancia cambios de temperatura o humedad que los anfibios (McDiarmid et al., 2012).

**Tabla 6.** Lista de especies de reptiles observados en el monitoreo realizado a las diferentes coberturas vegetales de la vereda Monserrate, Municipio de Sabanalarga. Bosque ripario (BR), Bosque secundario (BS) y Matorrales densos (MD). En monitoreos: 1, 2 y 3.

TAXÓN		COBERTURA VEGETAL									
Familia	Especie	BR1	BR2	BR3	BS1	BS2	BS3	MD1	MD2	MD3	Total
Apoglossidae	<i>Ptychoglossus brevifrontalis</i>							1			1
Dactyloidae	<i>Anolis aff. auratus</i>		1								1
	<i>Anolis</i> sp. 1	1									1
Sphaerodactylidae	<i>Lepidoblepharis</i> sp.			1	1	3	7				12
	<i>Gonatodes concinnatus</i>							11	1	15	27
	<i>Atractus fuliginosus</i>								1		1
Colubridae	<i>Erythrolamprus reginae</i>								1		1
	<i>Mastigodryas boddartei</i>	1									1
	<i>Oxyrhopus petolarius</i>			1					1		2
	<i>Bothrocophias</i> sp.				1				2		3
Viperidae	<i>Bothrops atrox</i>	1							1	1	3
	<i>Bothrops venezuelensis</i>							1			1
Total general		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>54</b>

La notoria abundancia de los reptiles en la cobertura de MD se atribuye en su mayoría a la especie *Gonatodes concinnatus*, ya que son comunes de ver bajo los escombros o en las casas de los sitios alledaños. Son especies que toleran muy bien los cambios en la cobertura, siempre y cuando puedan hallar refugio de las altas temperaturas y alimento como pequeños insectos.

Además de esto, la gran mayoría de las serpientes se observaron en esta misma cobertura vegetal, lo que puede indicar que allí se encuentren las presas de las cuales suelen alimentarse. Como es el caso de las serpientes de los géneros *Bothrops* y *Bothrocophias* (Fig. 21), que son comunes de ver en áreas similares, ya que, allí buscan ranas, lagartijas o pequeños mamíferos que se alimentan de algunos cultivos. Estas serpientes, a pesar de representar cierto riesgo por ser venenosas, pueden jugar un papel importante en procesos de restauración ecológica al mantener el equilibrio de las redes tróficas.



**Figura 21.** Serpiente del género *Bothrocophias*, observada en cobertura de bosque secundario (BS) y Matorrales densos (MD).

Se puede afirmar que los anfibios y reptiles observados concuerdan con las especies típicas del piedemonte llanero que reportan Angarita et al. (2013). Y dado que existe poco conocimiento acerca de la herpetofauna del municipio de Sabanalarga, donde no existen reportes publicados o son pocas las colectas científicas para el municipio (Angarita-Sierra, 2014), cada uno de los hábitats y microhábitats muestreados son potenciales áreas que deben tener prioridad en procesos de conservación.

Las especies que pueden arrojar mejores respuestas a los procesos de restauración ecológica a largo plazo, son organismos cuyas poblaciones dependan de recursos o condiciones que les brinden las coberturas de bosque. Y si se corrobora que, tales especies están colonizando áreas que fueron reforestadas como la cobertura de matorrales densos, podría deberse a que estas zonas que fueron intervenidas en el pasado, estarían recuperándose y aportando recursos que antes solo se encontraban en las coberturas boscosas. Por ejemplo, para los anfibios como las ranas del género *Hyloxalus* y para los reptiles como la lagartija *Lepidoblepharis* sp., que son especies que no están asociadas directamente con grandes cuerpos de agua, o áreas abiertas como pastizales, pero sí están asociadas con vegetación que mantenga una humedad alta y con una gruesa capa de hojarasca, ya que, es ahí donde perchan, interactúan y llevan a cabo sus comportamientos reproductivos y desplazamientos en búsqueda de alimento.

Lo anterior, y el exitoso registro de las especies de anfibios y reptiles se debe a la amplia intensidad de muestreo comparando entre épocas climáticas, así como la evaluación y muestreo de las principales y predominantes coberturas vegetales presentes en el área.

## 6.5 LA GENTE DE LA VEREDA MONSERRATE

**Comunidades rurales, la academia y el intercambio de saberes.** Se realizaron actividades de educación ambiental con los 24 vigías ambientales de la Institución Educativa Jorge Eliécer Gaitán del municipio de Sabanalarga. Así mismo, se realizaron jornadas de capacitación ambiental, enfocadas en el reconocimiento del territorio, por medio de charlas de conservación del piedemonte llanero, restauración ecológica y acciones de trabajo en vivero (Fig. 22).



**Figura 22.** Jornada de capacitación a vigías ambientales.

Así mismo, se desarrolló un taller para evaluar los conocimientos adquiridos por los vigías ambientales, relacionados con el uso eficiente del agua, las ventajas de implementar procesos de restauración ecológica y su contribución a la conservación del agua, los efectos de la variación del clima y la importancia de las plantas para los seres humanos (Fig. 23).



**Figura 23.** Talleres de educación ambiental con estudiantes de secundaria de la Institución Educativa Jorge Eliécer Gaitán.

Con los 40 estudiantes de 5to. primaria y 49 de 6to. bachillerato, se desarrolló sensibilización en temas relacionados con el reconocimiento de la flora y fauna de la región, contaminación ambiental, restauración y taller de la percepción del territorio, con el fin de fortalecer y evaluar los conocimientos de los estudiantes sobre dichos temas (Fig. 24).



**Figura 24.** Jornada de capacitación grados 5 y 6. **A-B.** Presentación información grado 6. **C-D.** Taller de cartografía social grado 5. **D-E.** Socialización de carteleras.

**Participación activa.** La estrategia de participación comunitaria en el proyecto buscó, además de dejar apropiación en las comunidades con relación a los procesos y actividades del proyecto de restauración, la vinculación de pobladores como mano de obra local, y como expertos locales ser multiplicadores de la información desde el inicio hasta la culminación del proyecto.

La integración de la comunidad al proyecto de restauración, se ha realizado a través de su participación en las actividades de campo, como: la recolección de semillas,

ahoyado, siembra y donación de material vegetal, conjuntamente se capacitó al personal contratado en técnicas de viverismo (recolección de plántulas, estacas y semillas, tratamientos pre-germinativos, siembra de plántulas). De igual forma, se han mantenido vinculados dos pobladores de la región al proyecto (Fig. 25).



**Figura 25.** Actividades con la comunidad en el área de restauración. **A.** Transporte de material; **B.** Ahoyado; **C.** Siembra de material.

Asimismo, con la comunidad que participó en las actividades de trabajo en el vivero, se realizó una entrevista, en la cual se reconocieron las opiniones sobre el trabajo adelantado en el proyecto y su contribución a la protección de las fuentes hídricas del municipio, además de la identificación de los conocimientos adquiridos durante su participación en las diferentes actividades desarrolladas en el trabajo de vivero.

# BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M., & Vargas-Ríos, O. 2007. Ampliación de fragmentos de bosque altoandino. En: Vargas-Ríos, O. (ed.) Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la Reserva Forestal de Cogua, Cundinamarca. Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- 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.
- Arenas, A., Corredor, G., & Armbrrecht, I. 2015. Hormigas y carábidos en cuatro ambientes del piedemonte del Parque Nacional Natural Farallones de Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1): 120-125.
- Chacón de Ulloa, P., & Abadía, J. C. 2014. Two decades of study of the diversity of ants in Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148): 250-260.
- Chao, A., & Jost, L. 2015. Estimating diversity and entropy profiles via discovery rates of new species. *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12349>

- 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.
- De Freitas, F., Paixão, G. C., & Vicente, R. E. 2018. News records of species of Neotropical Ants in the Meridional Amazon.
- Díaz, R. 2007. El monitoreo en la restauración ecológica. En: Vargas O. (ed.). *Guía Metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- IDEAM. 2010. *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72 p.
- Lozano-Zambrano, F.H. (ed). 2009. *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales*. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) Bogotá, D.C., Colombia.
- Marinho, C.G.S., Zanetti, R., Delabie, J.H.C., Schindwein, M.N., & Ramos, L.S. 2002. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serapilheira em Eucaliptos (Myrtaceae) e área de cerrado de Minas Gerais. *Neotropical Entomology*, 31(2): 187-195.
- 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.
- Mcdiarmid, R.W., Foster, M.S., Guyer, G., Gibbons, J.W., & Neil, C. 2012: *Reptile biodiversity: standard methods for inventory and monitoring*. London, England, University of California.
- Palacio, E., & Fernández, F. 2003. Clave para las subfamilias y géneros. En: Fernández, F (ed.). *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*, pp. 233-260. Bogotá, Colombia Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Recuperado de: <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32961/978-958-8151-23-6.pdf?sequence=1>
- Rojas-Murcia, L.E., Carvajal-Cogollo, J.E., & Cabrejo-Bello, J.A. 2016. Reptiles del Bosque Seco Estacional en el caribe colombiano: Distribución de los hábitats y del recurso alimentario. *Acta Biol. Colomb.*, 21: 365-377.
- Valdés-Rodríguez, S., Chacón de Ulloa, P., & Armbrecht, I. 2014. Riqueza de hormigas del suelo en el Parque Nacional Natural Gorgona, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 62(Sup 1): 265-276.
- Wells, K.D. 2007. *The ecology and behavior of amphibians*. Chicago and London, The University of Chicago.
- Zapata, H. 2004. *Química de la acidez del suelo*. Cargraphics, Cali. 208 p.



# **CAPÍTULO 7**

## **SÍNTESIS Y PERSPECTIVAS DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN LAS VEREDAS MONTOYA (VENTAQUEMADA, BOYACÁ) Y MONSERRATE (SABANALARGA, CASANARE)**



**Luis Fernando Prado-Castillo<sup>1-2</sup>, María Eugenia Morales-Puentes<sup>1-2</sup>**

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

<sup>2</sup>Maestría en Ciencias Biológicas. Escuela de Posgrados. Facultad de Ciencias. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

# PROCESO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL DISTRITO REGIONAL DE MANEJO INTEGRADO RABANAL (DRMI RABANAL)

## ¿Por qué hacer restauración ecológica en un DRMI?

**El régimen de disturbio.** En el DRMI Rabanal, ha habido un uso histórico previo a su declaración, que ha involucrado el uso agrícola y en las últimas décadas la ganadería; estas actividades, han sido causantes de la pérdida de los bosques altoandinos frailejonales y otras coberturas nativas, lo que contrasta con su importancia estratégica para la conservación y mantenimiento de uno de los servicios ecosistémicos más estratégicos del DRMI: la regulación hídrica. La comunidad local y la autoridad ambiental regional, han coincidido en la necesidad de abordar la restauración ecológica y mitigar la pérdida de la biodiversidad local.

Finalmente, las áreas identificadas para avanzar en su restauración comprendieron zonas ampliamente colonizadas por gramíneas exóticas utilizadas para el pastoreo del ganado, matorrales abiertos de especies nativas, donde alguna vez hubo bosques altoandinos y plantaciones abandonadas de especies forestales exóticas, que colonizan la ronda hídrica de la Laguna Verde.

**El potencial de restauración.** Es entendido aquí, como la integración del potencial biofísico del territorio, la plataforma social preexistente y el grado de compromiso interinstitucional para la continuidad de las acciones en el tiempo.

En el entorno inmediato a las áreas en restauración, existen dos fragmentos de bosques altoandinos muy degradados, pero con algunas especies emblemáticas como es el caso de *Ocotea calophylla* Mez. De otra parte, la apariencia de dos quebradas y sus bosques riparios, se convertían en una importante oferta de propágulos y hábitat de fauna.

Desde el componente social, Laguna Verde y su entorno, es un sector de fácil acceso para la comunidad en general; su historia de uso productivo es tan solo una de las múltiples formas de relacionamiento sociedad-naturaleza observadas. Es interesante, por ejemplo, cómo existe una percepción colectiva de considerarlo territorio sagrado. Allí, el agua (en todos sus estados), María (madre de Jesús en el cristianismo) y el pagamento (práctica espiritual ancestral) se encuentran y se entrelazan. Conciencia y creencia para beneficio de la conservación del territorio.

De otra parte, se halló un aliado estratégico en el territorio: CORPOCHIVOR, que promueve y desarrolla iniciativas en este sentido, lo que garantiza la continuidad del proceso de restauración en el largo plazo.

**La regulación hídrica: herencia ancestral y patrimonio natural.** Uno de los servicios ecosistémicos más relevantes de Laguna Verde y su entorno es la regulación hídrica. El embalse de Teatinos –que abastece el acueducto de la ciudad de Tunja– es vecino a la Laguna. CORPOCHIVOR ha establecido como una prioridad la conservación de estos ecosistemas, así como la restauración de sus áreas degradadas para mantener la regulación hídrica.

### **¿Por qué hacer ecología de la restauración en el DRMI Rabanal?**

Una vez es entendida la necesidad de la restauración en los ecosistemas de alta montaña, como es el caso del Páramo de Rabanal (Boyacá), se hace necesario revisar con qué conocimiento se cuenta en el territorio en términos de historia, uso y ecología al momento de definir acciones concretas. Aquí, el enfoque y los objetivos que dieron origen a la información existente es importante. La ecología de la restauración provee aquellos conceptos, métodos, técnicas y tecnologías para su desarrollo (SER, 2004).

El Páramo de Rabanal cuenta con abundante información publicada sobre su biodiversidad (Medina et al., 2015; Díaz-Piedrahita et al., 2008), sistemas de producción (Useche de Vega, 2015; Robineau et al., 2010), comunidades locales (Orrego, 2017; Andino, 2008; Espitia, 2008), gestión socioambiental (Vergara-Buitrago et al., 2018), entre otras temáticas; sin embargo, es limitada cuando se refiere a procesos de restauración ecológica (Dotor et al., 2011) o a estudios que pueden contribuir a su comprensión o desarrollo (Cárdenas, 2018; Aguilar & Vásquez, 2017; Valderrama & Morales-Puentes, 2016; Ríos, 2013; Casasbuenas et al., 2006).

Se consideró que, el conocimiento actual sobre las dinámicas ecológicas en el sector de Laguna Verde era muy limitado para plantear procesos de restauración ecológica. La investigación relacionada con la restauración que se desarrolló, arrojó luces sobre la biodiversidad (bioindicadores), la sucesión ecológica, el régimen de disturbios, la biología de especies pioneras y las condiciones biofísicas, que permitieron ajustar los diseños de la restauración.

### **¿Cómo se propuso abordar la restauración ecológica en el DRMI Rabanal?**

Se construyó un modelo de trayectoria ecológica con información primaria y se diseñaron núcleos de plantación que mezclaron grupos funcionales de plantas con capacidad potencial para modificar las condiciones de micrositio, que respondieran a las metas de restauración establecidas en el corto plazo, y que, tuvieron un enfoque hacia establecimiento de coberturas del tipo matorral nativo y la reducción de la dominancia de la cobertura del tipo pastizal.

Para validar el proceso, se implementó un programa de monitoreo que incluyó un sistema de indicadores que evaluó los cambios en la estructura, la composición y la función del socioecosistema desde registro de información de los componentes: suelo, fauna, flora y una aproximación a la percepción de la comunidad local sobre el proceso de restauración y los modelos productivos sostenibles.

## ¿Cómo participó la comunidad local?

Mediante el uso de múltiples herramientas sociales, la estrategia de participación comunitaria involucró el desarrollo de las capacidades locales que fomentaron los principios por los que fue creado el DRMI, integró el conocimiento local de las especies y la historia de uso del territorio, al diseño de la estrategia de restauración. De otra parte, varios líderes ambientales recibieron una formación al nivel de diplomado avalado por la Universidad con enfoque en gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

## En función de las metas de restauración, ¿qué se logró?

Las metas de restauración a corto plazo se formularon para su cumplimiento a seis años. A continuación, algunos de los resultados logrados previo al cumplimiento de los dos años iniciales desde el establecimiento efectivo de la nucleación.

Para la meta *"incremento en un 20% el área de colonización de especies nativas dentro de las 68,5 ha que comprenden arbustales, herbazales, el mosaico de pastos con espacios naturales y las plantaciones forestales"*, la extensión de los matorrales arbolados en el área de intervención alcanzó el 20%, un avance considerado aceptable.

En la meta *"al menos el 75% de la vegetación plantada para ampliación de bordes de bosque, se encuentra en apropiadas condiciones fitosanitarias"*, la plantación logró una tasa de supervivencia superior al 90% y con un estado fitosanitario aceptable. El estrés causado por las bajas temperaturas, afectó hasta un 40% de la plantación, que, sin embargo, presentó una alta tasa de recuperación al evento climático (superior al 90% del material vegetal inicialmente plantado) sin necesidad de intervenciones.

Finalmente, la meta *"incremento del banco de plántulas (más de 100 individuos) establecido de *Ocotea calophylla* Mez en el bosque altoandino"*, el equipo de la Universidad logró propagar 390 individuos y establecer exitosamente en sitio, más del 90% del mismo. El último registro de datos indicó que al menos el 70% de los individuos se hallaban en edad juvenil (altura  $\geq 0,51$  m). Un logro, que, durante el estudio de la biodiversidad de los dos fragmentos de bosque, solo se identificaron dos individuos. Con el tiempo, y el crecimiento de nuevos individuos de la especie y la forma como la comunidad local gestione los bosques, serán factores críticos para lograr la recolonización de la especie y que nuevamente embellezca el paisaje con sus flores amarillas.

Al revisar otros indicadores, en general, la tasa de supervivencia de las especies plantadas, superó el 90%; aquí, la elección de especies mediante análisis de grupos funcionales fue el factor más relevante, dado que, no se estableció una fertilización, riego y replante frecuentes para las plantaciones.

Al evaluar el porcentaje de área de pastizales limpios en el área de intervención, se observaron cambios muy bajos en esta cobertura ( $\leq 60\%$ ), es decir, las gramíneas se mantienen durante el periodo de evaluación. Esto refleja la complejidad

de intentar generar en el corto plazo, cambios en las coberturas dominadas por gramíneas bajo las condiciones bioclimáticas del páramo, donde el desarrollo de las especies nativas es lento en comparación con las gramíneas, lo que exige, realizar actividades como el control manual y periódico de las gramíneas, y ¿será una alternativa el pastoreo controlado hasta agotar a las gramíneas?

Este tipo de estrategias generan controversia, pero han sido aplicadas en otros ecosistemas y latitudes (Martínez et al., 2015; Barboza, 1995); agotar el banco de semillas de una especie gramínea que lleva más de 30 años en un sitio, sin impactar el banco de semillas nativas o la capa orgánica que la sustenta, exige la búsqueda de nuevas opciones y experimentar antes de implementar de forma extensiva.

Finalmente, de los grupos de fauna estudiados como bioindicadores del proceso de restauración, los lepidópteros presentaron una mayor diversidad en los pastizales y su preferencia por estas zonas, debido a su hábito de vuelo, sin embargo, no se cuenta con suficientes datos que soporten los procesos de restauración o su significancia en el tiempo y entre coberturas vegetales.

Las hormigas no fueron un grupo representativo para evidenciar cambios en los procesos de restauración en Laguna Verde, la baja diversidad y abundancia de estos insectos hizo que no brindaran mayor información a corto plazo. Al parecer los métodos convencionales utilizados no fueron eficaces y se evidenció la necesidad de la aplicación de métodos alternativos.

La diversidad de escarabajos coprófagos en Laguna Verde estuvo representada por dos especies. La baja diversidad y abundancia de este grupo, hizo que los análisis no brindaran mayor información sobre el proceso de restauración. De hecho, la especie *Uroxys coarctatus* es considerada rara para el lugar y representó un nuevo registro para el este sector del páramo. De esta manera, la evaluación del proceso de restauración debería de enfocarse en medir otros atributos de estas especies, tales como el tamaño poblacional y el uso del espacio.

## **Desafíos en la restauración del DRMI Rabanal**

El escaso conocimiento científico preexistente para adelantar la propagación de especies nativas, la importancia de trabajar conjuntamente con la comunidad local y el efecto sobre la restauración, causan las condiciones bioclimáticas propias de la región, y se consideraron factores críticos para el desarrollo del proyecto.

Pese a la escasa información que sobre propagación existe para las especies de interés para la restauración, fue a través del conocimiento local que se logró trabajar en vivero al final con 33 especies entre árboles y arbustos. Aquí, el reconocimiento a los líderes ambientales que participaron en el proyecto.

Está en la gestión de CORPOCHIVOR, como autoridad ambiental regional, continuar con el proceso y en la comunidad local mantener vivo el ánimo y la voluntad de su participación, sin ellos, no hubiera sido posible aprender en estos escasos años, cómo avanzar, a paso de buen caminante. Es necesario complementar las acciones

realizadas mediante la incorporación de estrategias de control y erradicación de las gramíneas exóticas, iniciar un proceso de recambio de las plantaciones forestales de exóticas por especies nativas, antes de que se logren consolidar sus poblaciones en nuevas áreas alrededor de la Laguna Verde. Es fundamental profundizar en la relación existente entre el agua y el conjunto de creencias de la comunidad, que pueden beneficiar la conservación.

## Proceso de restauración ecológica en Sabanalarga, Casanare

### ¿Por qué hacer restauración ecológica en las áreas identificadas en Sabanalarga?

**La regulación hídrica.** Las montañas del municipio de Sabanalarga dan origen a una red de drenaje con aproximadamente 14 microcuencas, una de las cuales es afluente de la quebrada La Nuya, afluente del Río Túa y las demás, son afluentes del Río Upía. El panorama del territorio fue considerado como muy preocupante por la comunidad local, quien considera el sector como clave en la oferta hídrica hacia los acueductos veredales y concluyeron que, las actividades productivas que se han desarrollado históricamente no han sido compatibles con el mantenimiento de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, lo que reflejó la necesidad de la restauración ecológica y la gestión social participativa para conservar las rondas de las quebradas que nacen en las áreas intervenidas.

**El régimen de disturbio.** El uso histórico de las áreas involucró principalmente la ganadería. En gran parte de las 25 ha intervenidas, dominaban gramíneas exóticas, principalmente *Brachiaria* sp. Como resultado de la deforestación para la ampliación de la frontera agropecuaria, la pérdida de cobertura forestal y sus implicaciones en la reducción o desplazamiento de la fauna, fueron evidentes. Igual la compactación de los suelos. Existen, además, plantaciones forestales abandonadas de especies exóticas como *Acacia mangium*.

De otra parte, se observaron procesos erosivos y una dinámica activa de derrumbes que no fue identificada inicialmente por la comunidad entrevistada. La actividad tectónica y la falta de coberturas forestales favorece la degradación, razón para que la restauración se pudiera visualizar como un aporte a la gestión del riesgo.

**El potencial de restauración.** En el sector se dio un contexto paisajístico favorable debido a la existencia de fragmentos de bosque andino (> 10 ha) que permitieron conocer parcialmente las características de este ecosistema, y de la existencia de otras coberturas transitorias (arbustales) que ofertaban permanentemente semillas a la matriz dominante de pastos. Desde lo social, el interés creciente de la Alcaldía de Sabanalarga y la Institución Educativa Jorge Eliécer Gaitán para participar en el proceso de restauración y en las capacitaciones programadas, fueron importantes para incentivar la participación social en general.

En general, el potencial de restauración (*sensu* MADS, 2015) fue considerado como aceptable para este tipo de estrategias: son áreas bajo la administración pública, lo que debe garantizar en el tiempo el control y la vigilancia sobre los mismos. Existen en ellos y su entorno fragmentos de bosque andino que favorecen la restauración.

Lo que facilita la sostenibilidad del proceso. En estos términos, es una conjugación entre un manejo adaptable de la restauración y el mantenimiento de los procesos de concientización local sobre la conservación de áreas estratégicas para garantizar el agua, la biodiversidad y la mitigación de riesgos naturales, así como, la presencia permanente de la Autoridad Ambiental Regional, CORPORINOQUÍA y la Alcaldía de Sabanalarga.

### **¿Por qué hacer ecología de la restauración en Sabanalarga?**

La información de carácter biofísico y socioeconómico para la vereda Monserrate, fue escasa. Así, el conocimiento era muy limitado para plantear procesos de restauración ecológica. Por tanto, se desarrollaron algunos estudios, principalmente en historia de uso del territorio, propagación de especies nativas y biodiversidad local, que facilitaron una mayor aproximación al entorno para sustentar los diseños de la restauración.

### **¿Cómo se propuso abordar la restauración ecológica en Sabanalarga?**

De forma semejante a como se realizó en Rabanal. Se construyó un modelo de trayectoria ecológica con información primaria, se formularon metas de restauración con enfoque hacia establecimiento de coberturas del tipo matorral nativo y la reducción de la dominancia de la cobertura del tipo pastizal, y se establecieron plantaciones en núcleos con diversos grupos funcionales de plantas. Todo ello, validado a través de un programa de monitoreo que incluyó un sistema de indicadores para los atributos de la biodiversidad y desde los componentes: suelo, fauna, flora y una aproximación a la percepción de la comunidad local.

### **¿Cómo participó la comunidad local?**

De forma semejante a como se realizó en Rabanal. La estrategia de participación tenía tres ejes: a) sensibilización; b) integración del conocimiento local; y c) desarrollo de capacidades locales, a través de capacitaciones a jóvenes y formación al nivel de diplomado avalado por la Universidad para líderes ambientales, con enfoque en gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.

### **En función de las metas de restauración ¿qué se logró?**

En Sabanalarga, las metas de restauración a corto plazo (6 años), presentaron avances muy significativos al segundo año de establecimiento de las técnicas de restauración. A continuación, algunos de los resultados logrados.

Para la meta "*incrementado en un 40% del área de colonización de especies nativas dentro herbazales no arbolados*", se logró avanzar hasta en un 30% de cobertura vegetal nativa en núcleos de plantación. Y, en la meta "*incrementado en más de 400 individuos el banco de plántulas establecido de dos especies de Arecaceae (Attalea sp. y Oenocarpus sp.)*", en el segundo año de registro de datos, ya se había logrado establecer más del 75% de las plántulas propuestas, con un desarrollo y estado fitosanitario aceptables. Se hizo énfasis en estas especies, por su importancia ecológica como alimento de mamíferos, y debido al estado crítico de

sus bancos de plántulas, resultado del pisoteo y ramoneo del ganado en su paso por acceder a las quebradas.

Al revisar otros indicadores, en general, la tasa de supervivencia de las especies plantadas superó el 75%; sin que se establezca un mantenimiento de las plantaciones con fertilización, riego y replante frecuentes.

Al evaluar el porcentaje de área en matorrales arbolados en el área directa de intervención, se observaron cambios superiores al 30%, con una diversidad nativa que superaba el 50% de las especies observadas, y donde, más del 50% de los individuos plantados pasaron a la edad juvenil en menos de 24 meses.

A diferencia de lo hallado en Rabanal, en Sabanalarga, los grupos de fauna estudiados como indicadores del proceso de restauración, para el caso de las hormigas y los escarabajos coprófagos presentaron cambios en su diversidad y abundancia significativos, en la medida que avanzó el proceso de restauración.

En el caso de las hormigas, se hallaron 50 morfoespecies en 28 géneros. 11 gremios fueron identificados (*sensu* Arenas et al., 2015) a pesar de la amplitud de los atributos ecológicos, fue posible observar, por ejemplo, que *Brachymyrmex*, siendo este un género vinculado con actividad especializada, así mismo, son bioindicadoras de zonas en proceso de recuperación (Palacio & Fernández, 2003; Arenas et al., 2015), apareció en los últimos muestreos realizados sobre los pastizales. En otro ejemplo, al menos, ocho géneros fueron observados conforme avanzaba el proceso de sucesión ecológica en los núcleos establecidos.

Para los escarabajos coprófagos, se observó una comunidad diversa y solidificada, debido probablemente a que esta es una zona de intersección de dos ecorregiones, la andina y la orinocense. Así también, se observó el incremento de la diversidad de coleópteros coprófagos en la medida que aumenta la complejidad de la estructura y composición de la vegetación. Siendo este grupo de insectos especializado en el uso de recurso y, por ende, la cobertura vegetal oferta un mejor hábitat a los mamíferos reflejará una mayor presencia de los coleópteros coprófagos asociados.

### **Desafíos en la restauración en Sabanalarga**

El escaso conocimiento científico preexistente para adelantar la propagación de especies nativas fue una constante en los dos sitios: Rabanal y Sabanalarga. Nuevamente, fue la comunidad local y su conocimiento un elemento crítico para el desarrollo del proyecto. Más de 30 especies propagadas, son prueba del esfuerzo realizado.

Está en la gestión de CORPORINOQUÍA, como autoridad ambiental regional, mantener una mayor presencia en el territorio y trabajar con la comunidad para garantizar el proceso de restauración. La actividad productiva del entorno y un aislamiento deficiente de las áreas a restaurar pueden generar retrocesos. Es necesario complementar las acciones realizadas mediante la incorporación de estrategias de control y erradicación de las gramíneas exóticas, iniciar un proceso de recambio de las plantaciones forestales de exóticas por especies nativas, antes de que se logren consolidar sus poblaciones.

# MENSAJE FINAL

Las áreas en proceso de restauración ecológica dependen de la gente para cumplir su cometido; su conocimiento sobre la ecología local y su grado de concienciación sobre su importancia, son fundamentales. Es necesaria la articulación con las autoridades ambientales regionales quienes tienen en su deber-ser promover, gestionar y garantizar las acciones en el tiempo. Y, también con la comunidad científica, que debe resolver los vacíos de conocimiento y optimizar el costo en recursos, tiempo y esfuerzo que suponen este tipo de iniciativas.

La presente y la próxima generación deberán hallar en la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad las medidas más acertadas para garantizar la sostenibilidad en los territorios. La restauración es una medida "correctiva", no preventiva. Es necesario evitar los impactos, no intentar revertirlos. La tasa de incertidumbre en su éxito y su costo-beneficio en Colombia aún están lejos de ser cuantificados. La restauración no se puede convertir en una herramienta para justificar la generación de impactos ambientales. En el país, cada vez más proyectos suman como restauración, pero desde un manejo ambiguo del concepto y bajo el desconocimiento de la complejidad de los ecosistemas.

Sin embargo, dada la tasa de destrucción de ecosistemas en Colombia, se debe continuar en este camino de acercamiento al conocimiento de las bases y principios ecológicos que subyacen a la restauración de ecosistemas, a la valoración del conocimiento local, y de la sabiduría ancestral. Es necesario alimentar la creatividad, cuestionar lo preestablecido como fundamentos aparentemente inequívocos para desarrollar procesos de restauración, y contemplar y dialogar más con la naturaleza misma.

Allí están las respuestas a nuestras preguntas no formuladas de cómo modificar nuestros comportamientos destructivos y egoístas. También, las respuestas a cómo reconectarnos con ella. Así, la restauración se convierte en una oportunidad, en un canal de comunicación, en la renaturalización del ser humano y el entorno, no en una herramienta técnica que instrumentaliza la esperanza en beneficio de la indiferencia.

# BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar M. & Vásquez, A. 2017. Viveros: una experiencia comunitaria en el Páramo de Rabanal. Instituto Alexander von Humboldt. Proyecto Páramos de Colombia. 40 p.
- Andino, P.P. 2008. Diagnóstico sociocultural del Páramo de Rabanal. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Arenas, A., Corredor, G. & Armbrrecht, I. 2015. Hormigas y carábidos en cuatro ambientes del piedemonte del Parque Nacional Natural Farallones de Cali, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1): 120-125.
- Barboza, J. 1995. Rol del ganado en el control de incendios y restauración de bosque tropical seco, en el Parque Nacional Palo Verde. In 3. *Taller Nacional de Investigación Forestal y Agroforestal 14-16 Nov. 1995 Cañas (Costa Rica)* (No. 634.9097286063 T147 1995). Comisión Regional de Investigación Forestal Región Occidente, San Ramón CATIE, Turrialba (Costa Rica). Proyecto Diseminación del Cultivo de Árboles de Uso Múltiple.
- Cárdenas B., C.A. 2018. Sistema reproductivo, análisis citogenético y micropropagación de *Bucquetia glutinosa* y *Monochaetum myrtoideum* con fines de restauración y conservación, replantación y conservación del Páramo de Rabanal, Boyacá-Colombia.
- Casasbuenas P., L.H., Prieto, P., J., & Estupiñán, L.H. 2006. Efecto de la quema sobre algunas propiedades físico-químicas del suelo en el Páramo Rabanal, Samacá-Boyacá.
- Díaz-Piedrahita, S. & Rodríguez-Cabeza, B.V. 2008. Novedades en los géneros *Espeletia* Mutis ex Humb. & Bonpl. y *Espeletiopsis* Cuatrec. (Asteraceae, Heliantheae, Espeletiinae). *Revista Acad Colomb Ci Exact.*, 32: 455-464.
- Dotor, C., B.A., Riaño, G., & Dorelly, N. 2011. Implementación técnica y participativa del plan de restauración de las áreas afectadas por incendios forestales en el Páramo de Rabanal municipio de Samacá. Fundación Servir. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/934>.
- Espitia, M.A. 2008. Caracterización de Actores sociales en el Páramo de Rabanal. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Disponible en: <http://biblioteca.humboldt.org.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=6429>.

- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Plan nacional de restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá.
- Martínez, J.Á., Abad, M.E., Gómez-Villar, A., & Lasanta, T. 2015. Restauración del paisaje de la montaña española con ganadería: Un ensayo en la cordillera Cantábrica combinando pastoreo de caprino y poda de matorrales. *Pirineos*, 170, 008.
- Medina, W., García, D.M. & Sánchez, F. 2015. Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el Páramo de Rabanal [Boyacá-Colombia]. *Ciencia en Desarrollo*, 6(2): 185-198.
- Orrego, C.T. 2017. Pobladores de páramo. *Nexos. Gaceta de Divulgación Científica*, 3: 10-12.
- Palacio, E. & Fernández, F. 2003. Clave para las subfamilias y géneros. En: Fernández, F (ed.). *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*, pp. 233-260. Bogotá, Colombia Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Recuperado de: <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32961/978-958-8151-23-6.pdf?sequence=1>
- Ríos, O.V. 2013. Disturbios en los páramos andinos. *Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana*, 39-57.
- SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Robineau, O., Châtelet, M., Soulard, C.T., Michel-Dounias, I. & Posner, J. 2010. Integrating farming and páramo conservation: A case study from Colombia. *Mountain research and development*, 30(3): 212-222.
- Useche de Vega, D.S. 2015. Diagnóstico socio-ambiental de la producción agrícola en El Páramo de Rabanal, Boyacá, Colombia, como base para su reconversión agroecológica. En: V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA, La Plata.
- Valderrama, N.T. & Morales-Puentes., M.E. 2016. Frutos y semillas en remanentes de bosque altoandino del Páramo de Rabanal (Boyacá, Colombia). *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 14(2): 141-168.
- Vergara-Buitrago, P.A., Morales-Puentes, M.E., Useche de V., D. & Gil-Legui-zamón, 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): 398-411.

# GLOSARIO

Las definiciones que se enuncian a continuación, han sido adaptadas a partir de: Acosta & Vargas-Ríos (2007), Beyl & Trigiano (2008), Brown & Lugo (1994), Campbell & Reece (2005), Connell & Slatyer (1977), Chuvieco (2007), Díaz (2007), Donoso (1993), Etter (1998), FISWRG (2001), Hartmann et al. (1997), Hierro (2003), IDEAM (2007), Lamb & Gilmour (2003), Llanos-Hernández (2010), Lavorel et al. (1997), Reis et al. (2003), Röver (2000), Saura (2013), SER (2004), Storch (2003), Velasco & Vargas (2007), Walker et al. (2007).

**Atributo de vida:** característica biológica que un ser vivo debe cumplir para ser considerado como tal.

**Barrera:** son todos aquellos factores bióticos o abióticos que pueden afectar la dispersión o sobrevivencia de una población determinada de fauna o flora.

**Biodiversidad:** cantidad de poblaciones de organismos y diferentes especies vivas, que tienen interacciones duraderas entre ellas y el ambiente donde se desarrollan.

**Bosque altoandino:** en esta franja que oscila entre 2900 a 3800 m, se encuentran árboles y arbustos entre 3 y 8 m de alto; allí existen los robledales y los bosques de niebla.

**Comunidad:** conjunto de poblaciones u organismos de diversas especies bióticas que habitan y se relacionan entre sí en un ambiente determinado.

**Conectividad:** capacidad que tienen los organismos vivos de relacionarse, mezclarse y adaptarse con individuos de otra población en uno o varios territorios fragmentados.

**Corredor biológico:** áreas geográficas cuya función es la de conectar una o más regiones donde es viable el desarrollo de poblaciones bióticas, evitando de esta manera el aislamiento de las especies.

**Cobertura vegetal:** diferentes capas vegetales que componen la superficie terrestre.

**Corine land cover:** es una base de datos que permite describir, caracterizar, clasificar y comparar los atributos de las coberturas de la Tierra, explicadas mediante el uso de imágenes satelitales de resolución media, a partir de las cuales se pueden generar mapas de coberturas a diversas escalas.

**Curaduría:** cuyo origen es del inglés curator, este término se acuña, a la persona que conserva o responsable de cuidar, de desarrollar el procesos de mantener y preservar la colección de especímenes.

**Diseño de restauración:** son todas aquellas acciones que el hombre realiza con el objetivo fundamental de devolver a un ecosistema definido su estructura y funcionalidad, tratando de lograr o mejorar los procesos que ocurrirían en condiciones naturales.

**Disturbio:** se describe como cualquier evento o suceso, discreto o de alto impacto que tiene como consecuencia la alteración de la estructura ecológica de una especie, población o comunidad, debido a la pérdida de algún recurso vital.

**DRMI:** Distrito Regional de Manejo Integrado.

**Ecología de la restauración:** según la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica, consiste en "asistir a la recuperación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos" (Lamb & Gilmour, 2003).

**Ecosistema de referencia:** el ecosistema de referencia sería la base o el modelo que apoya la planeación de un proyecto de restauración y su posterior evaluación. Al encontrar un ecosistema muy afectado y ya difícilmente poder establecer una referencia del original, se sugiere escoger como ecosistema de referencia, una trayectoria sucesional, a partir del paisaje que se observa en el área de estudio. Tal trayectoria permite relacionar especies tempranas y tardías en la sucesión.

**Especie exótica:** corresponde a una especie que, aunque sea nativa de un mismo país o región, ha sido introducida de manera natural o antrópica a una zona donde no tiene distribución natural.

**Especie invasora:** corresponde a una especie que crece fuera de su área de origen natural, en ambientes que no son propios o con una abundancia inusual, y produce alteraciones en la riqueza y diversidad de los ecosistemas.

**Ex situ:** expresión referida a las actividades de restauración ecológica realizadas fuera del lugar.

**Facilitación:** relación ecológica entre especies bióticas, que benefician al menos a una especie sin causar daño en la otra. Se pueden considerar como ejemplos de facilitación las relaciones de comensalismo y mutualismo.

**Fauna silvestre:** animales que viven en libertad y no han sido domesticados.

**Fenología:** estudio de las fases de los ciclos de vida de los seres vivos y cómo las variaciones climáticas pueden afectar positiva o negativamente su reproducción.

**Flora:** conjunto de plantas de un área determinada.

**Fragmentación:** consecuencia de la conjugación de varios factores ecológicos, antrópicos o naturales que ocasionan grandes cambios en la distribución de las

poblaciones y comunidades de plantas y animales, incluso en el ambiente físico, afectando a su buen funcionamiento. A veces, dichos fragmentos pueden quedar aislados formando pequeñas islas en una zona alterada.

**Inhibición:** antónimo de activación, acciones que impiden o dificultan los procesos normales en la naturaleza de los procesos ecológicos.

**In situ:** expresión referida a las actividades de restauración ecológica realizadas en el lugar, en el sitio, sobre el terreno.

**Hábitat:** espacio que tiene las condiciones y atributos bióticos y abióticos vitales para la supervivencia, reproducción y perpetuidad de las especies.

**Limitante:** cualquier factor ambiental o grupos de factores relacionados que se aproxime o exceda los límites de tolerancia de una especie; especies estenoicas son aquellas con estrecho grado de tolerancia al factor, eurioicas aquellas con amplio grado de tolerancia.

**Monitoreo:** estrategia que mide en el tiempo (a través de indicadores, cuantificadores y metas), el éxito de la restauración ecológica, no necesita ser complejo y costoso para ser efectivo.

**Multitemporalidad:** proceso que facilita el monitoreo espacial y temporalmente de extensas zonas geográficas a través de la detección de cambios ocurridos en el paisaje. El cambio es definido como el efecto temporal identificado a partir de variaciones de una respuesta espectral en una imagen de satélite.

**Nucleación:** técnica de restauración donde ciertas especies de plantas podrían formar micro-hábitats y mejorar las condiciones ambientales de un sistema deteriorado llevándolo al aumento de probabilidades de que otras especies puedan arribar y ocupar este espacio.

**Paisaje:** territorio relativamente extenso formado de un mosaico de parches (también conocidos como fragmentos, manchas, polígonos o teselas) con diferentes tipos y cubierta (hábitats) que interactúan entre sí.

**Páramo:** son ecosistemas de alta montaña y considerados ecosistemas estratégicos proveedores de recursos ecosistémicos como son el agua, alimento, zonas de humedad entre otras, que son vitales para el equilibrio del clima. Cuatro países en el mundo tienen este ecosistema, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, que, en el sentido estricto, Guhl (1982), indica que los páramos no son iguales pese a que tienen características biofísicas similares como suelos ácidos, baja presión atmosférica, sequedad y humedad del aire, bajas temperaturas con fuertes oscilaciones diurnas.

**Piedemonte:** se considera una subregión del país que confluye a los llanos orientales, en los límites entre la cordillera Oriental y los Llanos Orientales, comprende los departamentos de Arauca, Boyacá, Casanare, Meta y Caquetá; oscila entre los 300 y 700 m altitudinales; siendo un área diversa en fauna y flora.

**Población:** grupo individuos de la misma especie que se reproducen entre sí y que ocupan un espacio geográfico particular en un tiempo determinado. Los individuos dependen de recursos, como alimento y refugio, y están influenciados por condiciones ambientales similares.

**Propagación vegetal:** multiplicación de plantas, con el fin de preservar la información genética; existen dos alternativas de propagación: sexual, mediante semillas y asexual, a través de tejidos vegetales. Este último conserva la potencialidad de multiplicación con diferenciación celular y con la generación de nuevos individuos con estructuras vegetativas.

**Propágulo:** cualquier parte de la planta a utilizar con el fin de producir un nuevo individuo; como estructuras pueden ser usadas, las semillas, segmentos de tejido, yemas, explantes, esquejes o estacas, bulbos, cormos o tubérculos.

**Regeneración natural:** proceso por el cual, en un espacio dado aparecen plántulas de diferentes especies de forma natural sin acción directa o indirecta del hombre.

**Regeneración natural asistida:** se asocia con las acciones y medidas asumidas por acción del hombre, a fin de aumentar la capacidad de regeneración de las especies en zona con disturbio.

**Restauración ecológica:** proceso de cooperar con la recuperación de un ecosistema que se ha afectado, degradado o destruido. Y se proyecta a recuperar sus atributos en estructura, productividad y diversidad.

**Rodal:** corresponde a un conjunto de plantas de la misma especie o diferentes, y se diferencia de las adyacentes, puede ser natural o artificial y asociado a objetivos de manejo.

**Sucesión:** cambio en la composición de especies y el sustrato asociado a través del tiempo. De acuerdo a las características iniciales del sitio. La sucesión puede clasificarse como primaria o secundaria.

**Sustrato:** es la tierra para las plantas, como las combinaciones a base de turbas y otros insumos, que sirven de alimento para las raíces.

**Tensionante:** diferentes tipos de estímulos externos que pueden afectar o no los sistemas naturales.

**Territorio:** extensión de tierra que hace parte de una región dada que puede tener o no una división política; puede estar asociada a una organización, institución o estado y validado por una comunidad.

**Tipos funcionales de plantas:** conjuntos de especies que tiene reacciones similares a las condiciones ambientales y tienen efectos análogos en procesos ecosistémicos dominantes.

**Tolerancia:** corresponde a un mecanismo de facilitación que postula que las especies tardías logran establecerse junto a las pioneras debido a que requieren pocos recursos para sobrevivir, por lo tanto, especies pioneras y tardías coexisten durante un cierto tiempo, sin afectarse unas a otras.

**Trayectoria ecológica:** describe el curso natural del desarrollo de un ecosistema en el tiempo. Comprende todas las características ecológicas (bióticas y abióticas) de un ecosistema, se monitorea mediante la medición secuencial de parámetros ecológicos previamente establecidos en tiempo y espacio.

# BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. & Vargas-Ríos, O. 2007. Ampliación de fragmentos de bosque altoandino. En: Vargas-Ríos, O. & Grupo de Restauración Ecológica (Eds.). Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la Reserva Forestal de Cogua, Cundinamarca. Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Beyl, A., & Trigiano, N. 2008. Introduction to plant propagation, En: Beyl, A. & Trigiano, N. (ed.). Plant propagation concepts and laboratory exercises, CRC Press, EUA.
- Brown, S. & Lugo, A.E. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. *Restoration Ecology*, 2(2): 97-111.
- Campbell, N. & Reece, J. 2005. *Biology*. Benjamín Cummings Publication, San Francisco.
- Chuvieco, E. 2007. Mirar desde el espacio o mirar hacia otro lado: Tendencias en teledetección y su situación en la geografía española. En: *Documents d'Análisis Geográfica*, 50: 75-85.
- Connell, J.H. & Slatyer, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, 111(982): 1119-1144.
- Díaz, R. 2007. El monitoreo en la restauración ecológica. En: O. Vargas (ed.). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Donoso, C. 1993.- *Bosques Templados de Chile y Argentina*. Primera Edición. Editorial Universitaria.
- Etter, A. 1998. Bosque húmedo tropical. En: Chávez, M. & Arango, N. (eds.). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad Colombia, 1997. Tomo I. Diversidad Biológica. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Santa Fe de Bogotá, Colombia: 106-133.
- FISWRG. 2001. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, USA.
- Gulh, E. 1982. *Los páramos circundantes de la Sabana de Bogotá*. Bogotá. Segunda edición. Jardín Botánico "José Celestino Mutis".
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T.Jr. & Geneve, R.L. 1997, *Plant propagation: principles and practices*, 6th ed., Prentice Hall, EUA.

- Hierro, R.S. 2003. Regeneración natural: situaciones, concepto, factores y evaluación. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 15: 11-16.
- IDEAM. 2007. Mapa de cobertura de la Tierra cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000, Bogotá.
- Lamb, D., & Gilmour, D. 2003. Rehabilitation and restoration of degraded forests. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and WWF, Gland, Switzerland. x +110 pp.
- Lavorel, S., McIntyre, S., Landsberg, J. & Forbes, T.D.A. 1997. Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology and Evolution*, 12: 474-478.
- Llanos-Hernández, L. 2010. El concepto del territorio y la investigación en las ciencias sociales. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 7(3): 207-220.
- Reis, A., Bechara, F.C., Espindola, M.B., Vieira, N.K. & Souza, L.L. 2003. Restoration of damaged land areas: using nucleation to improve successional processes. *The Brazilian Journal of Nature Conservation*, 1(1): 85-92.
- Gärtnerische, R.R. 2000. Substrate: Möglichkeiten und grenzen ihrer herstellung und verwendung; beispiele aus forschung, industrie und anwendung. En: Kämpf, A.N. & Fermino, M.H. (eds). *Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes*. Porto Alegre: Ge- nesis, 105-138.
- Saura, S. 2013. Métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje y su integración en los planes de conservación. En: De la Cruz Marcelino. & Maestre, Fernando. (eds.) *Avances en el análisis espacial de datos ecológicos: aspectos metodológicos y aplicados*. ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre. Mósteles. pp. 2-46.
- SER. Society for Ecological Restoration International Science. 2004. Grupo de trabajo sobre Ciencia y Política. Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. 2004. Principios de SER Internacional sobre la restauración ecológica. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Storch, I. 2003. Linking a multiscale habitat concept to species conservation. Pp. 303-320. En: Bissonette, J.A. & Storch, I. (eds.). *Landscape ecology and resource management: linking theory with practice*. Island Press, Washington, D.C.
- Vargas, O. 2007. Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Velasco, P. & Vargas, J.O. 2007. Problemática de los bosques altoandinos. En: Vargas-Ríos, O. & Grupo de Restauración Ecológica (Eds.). *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino. El caso de la Reserva Forestal de Cogua, Cundinamarca*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colciencias. Bogotá.
- Walker, L., Walker, J. & del Moral, R. 2007. Forging a new alliance between succession and restoration. En: Walker, L, Walker, J. & Hobbs, R. (Eds.). *Linking restoration and ecological succession*. New York, USA: Springer. p. 1-18.





Con el objetivo de articular estudios que permitan cubrir vacíos de información; este libro es una contribución a una variada y compleja estructuración de temáticas que van a ser un aporte significativo al conocimiento de ecosistemas de páramo, bosque altoandino y bosque de pie de monte, en torno a procesos de restauración ecológica. El libro *"restauración de ecosistemas de montaña: cultura y ecología desde el páramo y el pie de monte llanero"*, es una publicación pensada como una herramienta académica para las comunidades directamente implicadas, instituciones educativas, afines a ciencias ambientales, expertos en el tema, profesionales y público en general; este libro ofrece una gama de temáticas en torno al conocimiento de la restauración ecológica en tres ecosistemas colombianos frágiles, el páramo, el bosque altoandino y el bosque de pie de monte llanero, los dos primeros en el departamento de Boyacá y el tercero en el departamento de Casanare; esta obra es una muestra que sorprenderá gratamente al lector.



**Uptc**  
Universidad Pedagógica y  
Tecnológica de Colombia



**SisBio**  
Grupo de Investigación  
Sistemática Biológica



Herbario  
UPTC

