

# **Estructura Agroecológica Principal, actividad funcional de escarabajos coprófagos y fertilidad de suelos en agroecosistemas ganaderos de los Andes de Colombia**

**Ingrid Quintero**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Desarrollo Rural  
Bogotá, Colombia  
2022



# **Estructura Agroecológica Principal, actividad funcional de escarabajos coprófagos y fertilidad de suelos en agroecosistemas ganaderos de los Andes de Colombia**

**Ingrid Quintero**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Doctor en Agroecología**

Director

**Dr. Agrólogo Tomás E. León Sicard**

Grupo de Estudios Ambientales Agrarios  
Instituto de Estudios Ambientales/IDEA

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Desarrollo Rural  
Bogotá, Colombia

2022



*A Tito y Anahí, los frutos amados de mi vientre  
fértil*

*A todos los hombres y mujeres que labran la  
tierra con el sudor en su frente y hacer surgir de ella  
lo que nutre*

*Esto sabemos.  
Todo está conectado  
como la sangre  
que une a una familia...  
Lo que le acaece a la tierra,  
acaece a los hijos e hijas de la tierra.  
El hombre no tejó la trama de la vida;  
es una mera hebra de la misma.  
Lo que le haga a la trama,  
se lo hace a sí mismo.*

**Ted Perry** (*inspirada en el Jefe Seattle*)

---

## Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

**Ingrid Quintero**  
Bogotá, 20/01/2022

---

## Agradecimientos

A los colombianos, que hacen posible la existencia de la universidad pública.

A mi madre, por nuestro fuerte y profundo vínculo.

A Andrés, por allanar el camino, aliviar cargas, compartir logros y alegrías de cada día.

A mi padre, por compartirme su visión sistémica de vida. Su espíritu vive en este documento.

A mi hermana, por ser mi “avatar” durante las incontables ausencias de casa para alcanzar el objetivo. También a los abuelitos, tíos y primos que son lo que todo niño desea.

A mi director, el profe Tomás, por su consejo constante, entusiasmo, gran sensibilidad y por confiar a mi cuidado la EAP.

A Yesica Xiomara Daza, por acompañarme a buscar escarabajos y drones perdidos, aún en días ardientes y noches frías y lluviosas. Gracias a sus habilidades fue posible complementar apartados importantes de esta investigación.

A Claudia Alejandra Medina, por acompañar mis reflexiones y compartir sus conocimientos sobre los escarabajos coprófagos de los Andes de Colombia.

A los profesores e investigadores Tomas Roslin, Alejandro Lopera, Irene Piccini, Ramón Verdú, Álvaro Acevedo, Patrick Lavelle, Carmen Rosa Bonilla, Juliana Sabogal, Elisabeth Jiménez y Juan Evangelista Carulla, por mostrarme perspectivas nuevas para abordar dificultades metodológicas surgidas durante la investigación.

A los miembros de mi comité doctoral y/o jurados evaluadores, los profesores Álvaro Acevedo, Luis Pardo-Locarno y Patrick Lavelle, por la revisión detallada de la primera versión del documento y sus invaluable aportes para su presentación final.

A Eva Youkhana, Christian Petersein, Emilia Schmidt y Antonio Rogmann, del ZEF/Universidad de Bonn y a Juliet, Juli, Carolina, Mauricio y David, por ser benefactores y compañeros de experiencias en Bonn.

A la familia Santamaría Gómez, por abrirme las puertas de su segundo hogar en La Vega, como centro de operaciones y “La Disculpa” para descansar después de las duras jornadas de campo.

Estructura Agroecológica Principal, actividad funcional de escarabajos y  
fertilidad de suelos en agroecosistemas ganaderos de los Andes de Colombia

---

A José Orlando Niño, por ser mi y “relacionista público”, resultado del profundo conocimiento del territorio de estudio y vocación al servicio de la comunidad.

A Mauro, Yesica, Cristian, Sebastian, Jhon Freddy, Luisa, Nelsy, Anahí y Tito, por asistirme con compromiso y asertividad en campo y laboratorio; sin su ayuda no habría sido posible realizar esta tesis.

A don Héctor, Angélica y don Abelardo, por su apoyo en campo, especialmente en momentos en que el Covid 19 nos mantuvo en aislamiento total y era fundamental tomar datos. También a don Héctor por su comprensión sobre la importancia de los escarabajos coprófagos en el sistema productivo.

A Luis Miguel Cifuentes, por brindarme herramientas prácticas en el manejo básico del lenguaje R, lo que me permitió ser autónoma para manipular e interpretar mis propios datos.

A Astrid Milena Roa, por su apoyo en la caracterización florística y estructural de las coberturas vegetales.

A Diego Martínez, por su apoyo en la identificación de ciertos escarabajos coprófagos.

A Rafa, por asegurar mi salud física y mental durante la escritura de la tesis.

A Marce, Eli, Claudia, Juliet, Angélica, Ángela y Nohora por su amistad de siempre, cariño y el *estar* sin estarlo siempre.

A los propietarios y/o administradores de los agroecosistemas de estudio, por abrir sus puertas y corazones al escrutio científico y público.

Al Programa de Apoyo a la Formación Doctoral (PAFD) entre el Instituto de Investigación para el Desarrollo de la Universidad de Bonn - Alemania (ZEF) y el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia (IDEA), creado con fondos del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), en cabeza de sus ejecutoras y administrativas las profesoras Eva Youkhana y Rosario Rojas, Mónica, Laura, María Fernanda, Gladys, Norma y Emilia, por financiar y soportar logísticamente parte importante de esta investigación.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, representada por los funcionarios de CIER y profesor Juan Carlos Barrientos, por el aporte financiero para la contratación de la profesional en Botánica.

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología y Colciencias, por la beca doctoral otorgada mediante Convocatoria Nacional 647.

Otras personas e instituciones formaron parte de la red que hizo posible que esta tesis llegara a feliz término. No pudieron ser nombradas por cuestión de espacio pero... ¡Muchas gracias!

---

## Resumen

Esta tesis intenta comprender cómo la interacción entre factores ecostémicos y culturales, presentes en agroecosistemas ganaderos, localizados en La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia), estructuran su agrobiodiversidad y cuáles modelan la función ecosistémica de incorporación de estiércol bovino en el suelo, realizada por los escarabajos coprófagos, como subrogados de la agrobiodiversidad funcional, en los sistemas productivos. Así como, traducir la cantidad de función en beneficios directos para el productor. Para ello se reestructuró el índice ambiental de la Estructura Agroecológica Principal (EAP), recogiendo 24 indicadores que avalúan la distancia, presencia y calidad de coberturas y conectores biológicos, prácticas de manejo y conservación, percepciones y diversas capacidades del propietario para potenciar la agrobiodiversidad, usando acercamientos multidisciplinarios propios de la geomática, biología, ecología funcional y sociología rural. Los indicadores estructurantes de la EAP fueron relacionados con la diversidad de escarabajos coprófagos en las coberturas y cantidad de función ecosistémica realizada en los sistemas productivos. En una de la fincas (Loma Larga) se cuantificó la proporción de boñigas colonizadas y estiércol incorporado por la población de *Dichotomius belus* Har. y, a partir de los cambios positivos en el pH, concentración de materia orgánica, nitrógeno total y unidades formadoras de colonias microbianas, observados en el suelo expuesto a la actividad funcional de estos insectos, estimar el abonado natural que la especie realizaría en la finca. La agrobiodiversidad de los agroecosistemas resultó, en general, *moderada* según la EAP; la cantidad de agrobiodiversidad, evauada mediante la EAP, estuvo positivamente relacionada con la cantidad de función (gr de materia seca incorporada en el suelo); la distancia de los fragmentos a la finca, presencia de conectores internos, prácticas de manejo y sanidad del hato, percepción-conciencia sobre la importancia de la agrobiodiversidad funcional y capacidad de gestión para beneficiar coberturas dentro del agropaisaje, fueron las variables que predijeron la función ecosistémica; el efecto de la actividad funcional de *D. belus* en la finca Loma Larga sería equivalente a la fertiización anual de 32,61 kg/ha-1 de compuesto nitrogenado y 141 kg/ha-1 de materia orgánica seca, además de la incorporación de 17.607 L de agua, bioturbación del suelo, aumento de poblaciones microbianas y desestructuración de parte de la boñiga que no es incorporada en el suelo.

**Palabras clave:** Main Agroecological Structure, fertilización natural, agrobiodiversidad, agroecosistemas andinos, funciones ecosistémicas, agroecología, geomática.

## Main Agroecological Structure, dung beetles functional activity and soil fertility in cattle agroecosystems, Andes of Colombia

### Abstract

This Thesis is aimed to understand how the interaction between the ecosystemic and cultural factors in livestock agroecosystems, located at La Vega and Nocaima, Cundinamarca, Colombia, structure its agrobiodiversity and which of these factors model the ecosystem function of incorporating the bovine manure into the soil, done by dung beetles, as surrogates of functional agrobiodiversity, in the productive systems. At the same time, it is intended to estimate the benefit produced by the quantity of ecosystemic function. To achieve it, the environmental index of Main Agroecological Structure (EAP in Spanish) was adjusted and evaluated in nine (9) farms, by using geomatical, biological, functional ecology and rural sociology multidisciplinary approaches, to collect 24 indicators that evaluate the distance, presence and quality of coverages and biological connectors, the management and conservation practices, and the perceptions and capacities of the land owners to potentiate the agrobiodiversity. Additionally, the proportion of colonized dung, as well as dung incorporated by *Dichotomius belus* Har. was quantified in one the farms (Loma Larga) and, from the positive changes observed in the soil in terms of pH, the organic matter and nitrogen concentration and microbial colony forming units, natural fertilization that specie could perform at the farm was calculated. As relevant results, the agroecosystems agrobiodiversity was, in general, moderated; the relationship between agrobiodiversity and ecosystemic function was directly proportional; the distance between fragments and farm, the presence of internal connectors, the management practices, the herd health, the perception-awareness about the importance of functional agrobiodiversity and the management capacity to benefit coverages between the agro-landscape were the main variables that predicted the ecosystemic function. The effect of functional activity of *D. belus* in Loma Larga farm would be equivalent to 32,61 kg/ha<sup>-1</sup> of nitrogenized fertilized (urea) and 141 dry kg/ha<sup>-1</sup> of organic matter, besides to the incorporation of 17.607 L of water, the soil bioturbation, the increase of microbial populations and the disintegration of a portion of dropping that is not incorporated to the soil.

**Keywords:** Estructura Agroecológica Principal, agrobiodiversity, ecosystemic functions, edaphic organisms, natural fertilization, geomatic, Andean agroecosystems.

---

# Contenido

	Pág.
<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Marco general de investigación .....</b>	<b>7</b>
1.1 Problemática de Investigación: la ganadería extensiva en Colombia y región andina.....	7
1.2 Justificación de la Investigación .....	9
1.3 Marco Téorico .....	11
1.3.1 La importancia de la biodiversidad para el funcionamiento de los ecosistemas y agroecosistemas.....	11
1.3.2 Importancia ecológica de los escarabajos coprófagos en sistemas y agroecosistemas ganaderos .....	12
1.3.3 La visión ambiental de la agroecología .....	16
1.3.4 La agrobiodiversidad de los agroecosistemas: su visión desde la agroecología .....	18
1.3.5 Propuestas metodológicas para evaluar la agrobiodiversidad .....	18
1.4 Planteamientos metodológicos de la investigación .....	21
1.4.1 Caracterización del agropaisaje de estudio .....	21
1.4.2 Criterios para la selección de las fincas de estudio.....	24
1.4.3 Metodología general de la investigación.....	26
1.4.4 Limitaciones del estudio .....	28
1.5 Bibliografía.....	29
<b>2. La Estructura Agroecológica Principal: un índice para evaluar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas .....</b>	<b>41</b>
2.1 Introducción.....	42
2.2 Metodología de investigación .....	43
2.3 Nueva propuesta para el índice de la EAP .....	43
2.4 Discusión .....	69
2.5 Conclusiones.....	73
2.6 Bibliografía .....	74

<b>3. Caracterización de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas ganaderos en La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia)....</b>	<b>85</b>
3.1 Introducción .....	86
3.2 Materiales y métodos .....	86
3.3 Resultados y discusión .....	88
3.4 Emergencia de relaciones entre los indicadores ecológicos y culturales de la EAP	104
3.5 Conclusiones.....	107
3.6 Bibliografía.....	107
3.5 Anexos.....	113
<b>4. Relaciones entre escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y conectores biológicos en agroecosistemas ganaderos andinos de Colombia .....</b>	<b>119</b>
4.1 Introducción .....	120
4.2 Materiales y métodos.....	121
4.2.1 Delimitación del agropaisaje de estudio y densidad de cobertura en bosque.....	121
4.2.2 Caracterización florística y estructural de las coberturas presentes en las fincas	122
4.2.3 Caracterización de escarabajos coprófagos .....	123
4.2.4 Métodos de análisis de la información .....	125
4.3 Resultados y discusión .....	127
4.3.1 Delimitación del agropasaje y su densidad de cobertura en bosque.....	127
4.3.2 Caracterización florística y estructural de las coberturas vegetales presentes en las fincas.....	128
4.3.3 Diversidad de escarabajos coprófagos .....	130
4.4 Conclusiones .....	139
4.5 Bibliografía.....	140
4.6 Anexos.....	146
<b>5. ¿La agrobiodiversidad de los agroecosistemas se relaciona con la cantidad de función ecosistémica? El caso de la EAP y la incorporación de estiércol bovino en el suelo en fincas ganaderas de los Andes colombianos .....</b>	<b>148</b>
5.1 Introducción .....	149
5.2 Materiales y métodos.....	150
5.2.1 Estimación de la agrobiodiversidad los agroecosistemas .....	150
5.2.2 Diseño de muestreo para la evaluación de la función de incorporación de estiércol bovino en el suelo.....	150
5.2.3 Análisis estadísticos .....	153
5.3 Resultados y discusión .....	154
5.3.1 Relación entre función ecosistémica y agrobiodiversidad de los agroecosistemas.....	154
5.3.2 Variables estructurantes de la agrobiodiversidad en los agroecosistemas de estudio .....	155
5.3.3 Variables predictoras de la incorporación de estiércol bovino en las fincas de estudio .....	157
5.4 Conclusiones .....	166
5.5 Bibliografía.....	167

---

<b>6. Importancia funcional del escarabajo coprófago <i>Dichotomius belus</i> (Harold, 1880) sobre la fertilidad del suelo en agroecosistemas ganaderos de los Andes de Colombia.....</b>	<b>173</b>
6.1 Introducción.....	174
6.2 Materiales y métodos .....	175
6.2.1 Área de estudio.....	175
6.2.2 Caracterización de suelo .....	175
6.2.3 Fenología de <i>D. belus</i> .....	176
6.2.4 Estudios semi-experimentales de evaluación de la actividad funcional de <i>D. belus</i>	176
6.3 Resultados y discusión.....	181
6.3.1 Caracterización de suelos.....	181
6.3.2 Fenología de <i>D. belus</i> .....	182
6.3.3 Estudios semi-experimentales de evaluación de la actividad funcional de <i>D. belus</i>	183
6.4 Conclusiones.....	195
6.5 Bibliografía .....	196
<b>7. Conclusiones generales y consideraciones finales .....</b>	<b>201</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Importancia ecológica de los escarabajos coprófagos en los sistemas productivos ganaderos .....	15
<b>Figura 1-2:</b> Localización de los agroecosistemas de estudio.....	21
<b>Figura 1-3:</b> Vista geomorfológica de la Región de La Vega y Nocaíma.....	22
<b>Figura 1-4:</b> Modelo preliminar de la Cuenca de los ríos Tobia-Tabacal.....	22
<b>Figura 1-5:</b> Procedimiento general de la investigación.....	27
<b>Figura 2-1:</b> Metodología de selección del área de influencia (AI) del agroecosistema.....	45
<b>Figura 3-1:</b> Valoración del promedio de los nueve indicadores ecológicos.....	89
<b>Figura 3-2:</b> Extensión de conectores externos.....	91
<b>Figura 3-3:</b> Extensión de conectores internos.....	91
<b>Figura 3-4:</b> Conexión con la estructura ecológica del paisaje.....	95
<b>Figura 3-5:</b> Valoración del promedio de los 15 indicadores culturales.....	96
<b>Figura 3-6:</b> Distribución de los usos del suelo.....	98
<b>Figura 3-7:</b> Sistemas de conducción y ciclaje del agua.....	100
<b>Figura 3-8:</b> Evidencia de fenómenos de erosión moderada.....	104
<b>Figura 3-9:</b> Matriz de Estructura de Diseño aplicada a la EAP de los agroecosistemas de estudio.....	106
<b>Figura 4-1:</b> Localización del agropaisaje de estudio.....	122
<b>Figura 4-2:</b> Distribución de plantas leñosas de acuerdo con su altura en las coberturas muestreadas.....	129
<b>Figura 4-3:</b> Distribución de plantas leñosas de acuerdo con el grosor del tallo en las coberturas muestreadas.....	129

---

	Pág.
<b>Figura 4-4:</b> Curvas de acumulación de especies de escarabajos coprófagos y representatividad del muestreo.....	132
<b>Figura 4-5:</b> Análisis de correspondencia (DCA) de las comunidades de escarabajos coprófagos en las coberturas y fincas de estudio.....	136
<b>Figura 4-6:</b> Registro periódico de temperatura y humedad en tres coberturas de estudio .....	137
<b>Figura 5-1:</b> Distribución espacial de las unidades experimentales aplicada en cada sitios de muestreo.....	152
<b>Figura 5-2:</b> Diagramas de caja con estadística descriptiva de la incorporación de estiércol bovino en función de factores edafoclimáticos.....	159
<b>Figura 5-3:</b> Diagramas de caja con estadística descriptiva de la incorporación de estiércol bovino en función de factores ecológicos y comportamentales.....	160
<b>Figura 6-1:</b> Metodología para la evaluación del efecto de la incorporación de estiércol bovino en las propiedades químicas y biológicas del suelo.....	179
<b>Figura 6-2:</b> Comportamiento de la abundancia de <i>D. belus</i> en relación con la precipitación mensual en La Finca Loma Larga.....	183
<b>Figura 6-3:</b> Características de las boñigas según criterios de clasificación.....	184
<b>Figura 6-4:</b> Apariencia de las boñigas según consistencia.....	185
<b>Figura 6-5:</b> Diagramas de caja con análisis descriptivo de las variables de suelo analizadas.....	189
<b>Figura 6-6:</b> Características físicas del sustrato en el interior de las galerías después de su exposición a condiciones del suelo y evidencia de ocupación de galerías por lombrices.....	192

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Funciones esenciales de los ecosistemas, grupos funcionales y servicios	12
<b>Tabla 1-2:</b> Características de las fincas de estudio.....	25
<b>Tabla 2-1:</b> Ponderación de los niveles de riqueza de conectores.....	48
<b>Tabla 2-2:</b> Ponderación de los estratos vegetales de conectores.....	54
<b>Tabla 2-3:</b> Descriptores, evaluación y valores de los indicadores del criterio de prácticas de manejo agrícola.....	57
<b>Tabla 2-4:</b> Descriptores, evaluación y valores de los indicadores del criterio de prácticas de manejo ganadero.....	61
<b>Tabla 2-5:</b> Descriptores, evaluación y valores de los indicadores del criterio de prácticas de conservación.....	64
<b>Tabla 2-6:</b> Descriptores, evaluación y valores de los indicadores del criterio de prácticas de percepción-conciencia y conocimiento.....	66
<b>Tabla 2-7:</b> Descriptores, evaluación y valores de los indicadores del criterio de capacidades para la acción.....	69
<b>Tabla 2-8:</b> Escala de interpretación de la EAP de la finca.....	75
<b>Tabla 3-1:</b> Criterios e indicadores de evaluación de la EAP.....	89
<b>Tabla 3-2:</b> Valoración de las fincas de acuerdo a los criterios de la EAP.....	90
<b>Tabla 3-3:</b> Longitud total de conectores con presencia de vegetación.....	93
<b>Tabla 3-4:</b> Composición florística y estructural de las coberturas.....	97
<b>Tabla 3-5:</b> Área y porcentajes de usos del suelo en las fincas de estudio.....	96
<b>Tabla 3-6:</b> Perfil educativo y origen de propietarios y administradores de fincas.....	103
<b>Tabla 4-1:</b> Tamaño de las parcelas para el muestreo de plantas.....	123

---

	Pág.
<b>Tabla 4-2:</b> Características del muestreo de escarabajos coprófagos en las diferentes coberturas.....	125
<b>Tabla 4-3:</b> Composición florística y estructural de la coberturas vegetales presentes en las fincas de estudio.....	128
<b>Tabla 4-4:</b> Riqueza y abundancia total de escarabajos coprófagos colectados en el estudio.....	134
<b>Tabla 4-5:</b> Riqueza, abundancia y biomasa media de escarabajos coprófagos en las coberturas.....	135
<b>Tabla 5-1:</b> Valores totales y porcentaje de estiércol bovino incorporado y valores de EAP en los agroecosistemas de estudio.....	155
<b>Tabla 5-2:</b> Indicadores de la EAP que estructuraron los primeros dos componentes principales en los cinco modelos NLPCA.....	156
<b>Tabla 5-3:</b> MLGs en función de las variables predictoras de la incorporación de estiércol bovino en las fincas de estudio.....	158
<b>Tabla 6-1:</b> Categorías de clasificación de masas fecales.....	176
<b>Tabla 6-2:</b> Análisis de suelos en el lote Brujas II de la finca Loma Larga.....	179
<b>Tabla 6-3:</b> Total de masas evaluadas y colonizadas por <i>D. belus</i> .....	184
<b>Tabla 6-4:</b> Parámetros químicos y biológicos del suelo en los tratamientos experimentales en la finca Loma Larga.....	186
<b>Tabla 6-5:</b> Estadísticos descriptivos de las variables químicas y biológicas del suelo evaluadas.....	192



# Listado de publicaciones asociadas al proyecto

## Capítulo y artículo publicados

Medina, C.A. & **Quintero, I.** Nesting and life cycle dung beetle *Dichotomius belus* (Harold 1880). Sometido a *The Coleopterists Bulletin*.

**Quintero, I.**, Medina C.A. & León-Sicard, T. (2022). Dung beetles functional activity on soil fertility in an Andean livestock agroecosystem. Sometido a *Applied Soil Ecology*.

**Quintero, I.**; Daza-Cruz, Y.X. & León-Sicard, T. (2022). Main Agroecological Structure: an index for evaluating agro-biodiversity in agro-ecosystems. Aceptado por *Sustainability*. Disponible en: <https://www.preprints.org/manuscript/202207.0212/v1>.

**Quintero, I.**; Daza-Cruz, Y.X. & León-Sicard, T. (2022). Connecting farms and landscapes through agrobiodiversity: the use of drones in mapping the Main Agroecological Structure. En: De Marchi, M.; Pappalardo, S. & Diantini, A. (Eds). Drones and geographical information technologies agroecology and organic farming. (pp. 247-275). CRC Press, Padua. Disponible en: <https://www.scilit.net/article/81a8a89fd4e5318d9b6bd2d190192af3>.

**Quintero, I.** (2020). Estructura Agroecológica Principal, actividad funcional de escarabajos coprófagos y fertilidad de suelos en agroecosistemas ganaderos andinos: resultados preliminares. (pp. 22-23). En: Pardo-Locarno, L.C.; Gallego-Ropero, M.C. & Montoya-Lerma, J. (Eds.). Escarabajos de Colombia (Coleoptera: Scarabaeoidea): taxonomía, biología y ecología. VII Curso, Popayán. ISBN: 978-958-49-1590-0.

## Artículos en preparación

**Quintero, I.** Caro-Roa, A.M.; Medina, C.A. & León-Sicard, T. Dung beetles in Andean livestock agroecosystems: the importance of coverages, conservation and management practices to guarantee its remain in the agricultural landscape.

**Quintero, I.** et al., Do agroecosystem agrobiodiversity predict ecosystem functions? The case of Main Agroecological Structure index and the bovine manure incorporation in the soil in Andean livestock farms.

**Quintero, I.**, Daza-Cruz, Y.X. & León-Sicard, T. La Estructura Agroecológica Principal de agroecosistemas de manejo ecológico y convencional en La Vega y Nociama, Cundinamarca, Colombia.

# Introducción

La ganadería extensiva o convencional es considerada como uno de los mayores conductores de pérdida de biodiversidad y de los beneficios que de ella deriva la sociedad. De acuerdo con el estado del conocimiento, la mayoría de las funciones ecosistémicas que realiza la agrobiodiversidad<sup>1</sup> se minimizan o desaparecen en sistemas extensivos de producción ganadera. El suelo como un “organismo vivo” al ser altamente disturbado, en su composición y estructura, por la pérdida de cobertura arbórea, el monocultivo de gramíneas y el constante pisoteo del ganado, disminuye rápidamente su fertilidad<sup>2</sup>. Entonces estos sistemas pecuarios se vuelven cada vez más dependientes de agricultura tecnificada (pastos y razas mejoradas, suplementos nutricionales, inseminación artificial, fertilizantes nitrogenados y medicamentos antiparasitarios en dosis altas y aplicaciones regulares) para mantenerlos productivos. Los miles de pequeños productores que dependen de la ganadería para su subsistencia no pueden asumir estos costos (<http://www.fao.org/americas/perspectivas/ganaderia-sostenible/es/>). En el caso de los medianos a grandes productores no es un negocio lucrativo, lo que disminuye la posibilidad de que estas tecnologías “penetren” masivamente en el sector. Esta situación perpetúa la baja productividad del sector, estimada en alrededor de 0,6 UG/ha en el país.

Existe preocupación y necesidad urgente de promover y adoptar tecnologías apropiadas, en regiones tropicales, diversas natural y culturalmente, que integren prácticas agroecológicas para el manejo de los sistemas productivos ganaderos y de conservación de los frágiles ecosistemas (que están presentes en muchas de sus fincas), considerando a la agrobiodiversidad como eje fundamental y articulando a productores y comunidades locales, como dinamizadores del proceso.

---

<sup>1</sup>La agrobiodiversidad es oficialmente definida, según el Convenio de Diversidad Biológica, como: “La variabilidad y variedad de los animales, plantas y microorganismos, las especies genéticas y los niveles del ecosistema, necesarios para mantener las funciones clave de los de los agroecosistemas, su estructura y procesos” (Anexo 1 de la decisión V/5 de la Conferencia de las Partes de La Convención sobre Diversidad Biológica de 1992). Para la convención, la agrobiodiversidad es el resultado de las interacciones entre los recursos genéticos y los sistemas de manejo y las prácticas usadas por los agricultores, que se originan de la selección natural y la innovación humana desarrollada por milenios. Sus dimensiones abarcan: 1) los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura, 2) los componentes de la biodiversidad que realizan o participan en las funciones ecológicas en la agricultura, 3) los componentes abióticos que modulan el funcionamiento del agro-ecosistema y a su biodiversidad y 4) la dimensión socioeconómica y cultural, que incluye el conocimiento local y tradicional de la biodiversidad agrícola, los factores culturales que la modulan y los procesos participativos, también como el turismo asociado a paisajes agrícolas (<https://www.cbd.int/agro/whatis.shtml>).

<sup>2</sup> La “fertilidad” de un suelo (de la raíz latina '-fer' - que lleva) se entiende como su capacidad para sostener el crecimiento de cultivos o ganado, debido a conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas que posee. En general suelos más fértiles presentan texturas firmes, uniformes y gruesas, para el movimiento de agua e intercambio gaseoso, mayor contenido de materia orgánica, nitrógeno en formas solubles o nitrificables, ácidos poliurónicos, potasa y derivados del ácido fosfórico, elevada concentración de bacterias amonizantes y nitrificantes, entre otras (Tomado del “Estudio científico del suelo. Una introducción al estudio del crecimiento de las cosechas” de A.D. Hall, publicado por la Editorial Aguilar en Madrid, en 1953).

Actualmente, el Centro Brasileiro de Pecuária Sustentável (<http://www.cbps.org.br>), en Brasil, el Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (<http://www.gamma.catie.ac.cr>), en Costa Rica, la Fundación Produce Michoacán A.C. (<http://www.producemich.org.mx>), en México y el Centro de la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) ([www.cipav.org.co](http://www.cipav.org.co)), en Colombia, lideran proyectos que buscan promover la reconversión de sistemas ganaderos extensivos a sistemas silvipastoriles, amigables con la conservación de la biodiversidad y mejorar los indicadores productivos y de rentabilidad del sector.

Debido a los compromisos vinculantes de país frente al cambio climático, adquiridos durante la firma del Acuerdo de París-2015 y su ratificación en el 2016 y por ser el sector ganadero uno de los principales emisores de GEI<sup>3</sup>, el gobierno colombiano y sus financiadores-colaboradores crearon un plan regional amazónico para la reconversión zonas de pastoreo extensivas y/o degradadas en sistemas agro y silvipastoriles<sup>4,5</sup> (<https://www.cancilleria.gov.co>; <https://visionamazonia.minambiente.gov.co>; <https://www.nature.org>).

A partir del 2018, se ha puesto en marcha la Mesa Nacional de Ganadería Sostenible, que concerta acciones para potenciar la sustentabilidad del sector, desde una visión integral y multidimensional de producción en cadenas de valor, buscando mejorar su calidad, productividad y rentabilidad, contribuyendo a la conservación de ecosistemas, generación de servicios ecosistémicos y seguridad alimentaria de productores y sociedad.

Estas iniciativas han dado paso al comienzo de la formulación de los primeros lineamientos de la política pública 2022-2050 para la ganadería bovina sostenible, mediante la Resolución 0126 de 2022 del Ministerio de Agricultura.

Para seguir estableciendo propuestas viables y sustentables, que pongan en práctica la política pública, es necesario aumentar el conocimiento sobre los componentes de la biodiversidad presentes en agroecosistemas ganaderos, reconocer su participación en los procesos ecológicos que facilitan la producción de leche y carne, cuantificar funciones ecosistémicas y determinar los factores ecológicos y/o culturales que afectan dichas funciones. Lo más importante, comprender que los agroecosistemas ganaderos son

---

<sup>3</sup> Estimativos del IDEAM apuntan que las emisiones de GEI nacionales en la producción ganadera son del orden de 236,97 toneladas (MtCO<sub>2</sub>eq) al año (www.[http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM\\_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54))

<sup>4</sup> El marco de la Estrategia Nacional REDD+ es una iniciativa financiera establecida por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático para apoyar de países en desarrollo y a sus comunidades para proteger sus bosques, como los principales secuestradores de carbono (<https://visionamazonia.minambiente.gov.co>).

<sup>5</sup> Según Molina et al., (2015) los sistemas silvipastoriles contribuyen a disminuir los GEI en un 23,4% menos que la ganadería extensiva.

sistemas complejos, cuyos factores culturales, de tipo simbólico, organizacional y tecnológico del productor, como las prácticas de manejo del sistema productivo, de planificación y conservación de los diferentes elementos biológicos y coberturas vegetales presentes en el agroecosistema, motivaciones y percepciones y capacidades de accionar del propietario en el pedio y en su entorno socio-económico para favorecer o no la agrobiodiversidad, inciden directamente sobre sus atributos ecosistémicos y su capacidad para permanecer en el territorio.

Como sistemas complejos, los agroecosistemas no pueden ser desglosados para entender sus componentes, pues “el todo es más que la suma de sus partes” y encontrar las relaciones entre sus componentes es lo que permite comprenderlos mejor. Es por ello necesario un cambio de pensamiento, una mirada holística y contextual a los agroecosistemas para estudiar sus propiedades emergentes<sup>6</sup>. La agroecología, como la ciencia ambiental que estudia la estructura y función de los agroecosistemas, tanto desde el punto de vista de las relaciones ecosistémicas como culturales<sup>7</sup>, es la llamada a encontrarlas y generar explicaciones.

Esta tesis doctoral plantea dos preguntas generales de investigación, que apuntan en esta dirección:

A partir de la adaptación del Índice de la Estructura Agroecológica Principal (EAP), planteada inicialmente por el profesor Tomás León Sicard, del Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, como una herramienta para clasificar taxonómicamente los agroecosistemas, se replantearon un conjunto de criterios e indicadores, tanto ecológicos como culturales, para evaluar diferentes aspectos de la agrobiodiversidad natural (tangible) y cultural (intangibile) presente en los agroecosistemas y así generar una medida ambiental de este atributo (la agrobiodiversidad), se plantea la **Primera pregunta general de investigación:**

¿Cuáles son los factores ecosistémicos y/o culturales que estructuran la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos, localizados en la región oriental de los Andes colombianos, en los municipios de La Vega y Nocaima, evaluados mediante la EAP, con particular interés en la diversidad de escarabajos coprófagos (Insecta: Coleoptera: Scarabaeinae)?

Una vez que se establezcan los factores ecológicos y/o culturales que determinan la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos de estudio y en particular a los escarabajos coprófagos, como componentes funcionalmente importantes en los potreros o sistemas productivos, por su actividad de remover y/o incorporar estiércol bovino en el suelo, con importantes consecuencias para la fertilidad del suelo y productividad de la pastura, se plantea la **Segunda pregunta general de investigación:**

¿Cómo afecta la relación entre factores ecosistémicos y/o culturales, estructurantes de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas de estudio, la función ecosistémica

---

<sup>6</sup> Capra, F. (1998). La trama de la vida. Anagrama Editorial, Barcelona.

<sup>7</sup> León-Sicard, T. (2009). Agroecología: Desafíos de una ciencia en construcción. Agroecología 4, 7-17.

de incorporación de estiércol bovino fresco realizada por los escarabajos coprófagos en los potreros y su traslado en cambios positivos en ciertas propiedades químicas y biológicas del suelo, expuesto a la actividad funcional de los escarabajos coprófagos, estimando beneficios para el productor?

Estas dos preguntas generales y varias específicas, están enmarcadas dentro del **Objetivo general de investigación**, que es el siguiente:

Comprender en un conjunto de agroecosistemas ganaderos, localizados en la vertiente occidental de la cordillera oriental de los Andes colombianos, la relación de ciertos factores ecológicos y/o culturales que estructuran su agrobiodiversidad, afectan la diversidad y composición de la fauna de escarabajos coprófagos (Insecta: Scarabaeinae) y su función ecosistémica de incorporar estiércol bovino en el suelo en los potreros, modificando positivamente su fertilidad y generando beneficios al productor.

Los cinco (5) objetivos específicos de investigación serán alcanzados en cinco (5) capítulos de investigación, que se plantean a continuación.

El **primer objetivo** fue *Describir* la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos de estudio, localizados en la vertiente occidental de la cordillera oriental de los Andes orientales de Colombia, mediante los criterios e indicadores propuestos en el índice de la Estructura Agroecológica Principal. Los resultados obtenidos a partir del desarrollo de este objetivo se presentan en los capítulos dos y tres (2 y 3). En el primero se realiza una re-estructuración de los criterios e indicadores del Índice de la Estructura Agroecológica Principal - EAP, para adaptarlo como un descriptor de la agrobiodiversidad ecológica y cultural de los agroecosistemas, entre ellos los ganaderos. En el segundo capítulo, a partir de la nueva propuesta de la EAP, se caracterizan dichos agroecosistemas, considerando de forma sistemática los 24 indicadores que describen su EAP. Finalizando el capítulo, se realiza un ejercicio de análisis de sistemas complejos, construyendo una red parsimoniosa de relaciones entre los diferentes componentes o indicadores del sistema (la EAP) para determinar su(s) indicador(es) estructurante(s) y generar recomendaciones.

El **segundo objetivo** fue *Relacionar* la diversidad, composición y estructura faunística de escarabajos coprófagos, como subrogados de la agrobiodiversidad funcional de los agroecosistemas de estudio, con la composición y estructura de las coberturas vegetales presentes en las fincas. Los logros alcanzados durante el desarrollo de este objetivo se presentan en el capítulo cuatro (4). Se caracteriza la composición florística, riqueza, diversidad y estratificación vertical y horizontal de las coberturas vegetales o conectores biológicos presentes en los agroecosistemas y sistemas productivos; bosques de galería, vegetación secundaria, cercas vivas y potreros con y sin árboles. De igual forma, se caracteriza la riqueza, abundancia, composición, estructura y biomasa de las comunidades de escarabajos coprófagos en dichas coberturas. Se relacionan los atributos ecológicos de las coberturas vegetales con los de escarabajos coprófagos y se interpretan desde una perspectiva ambiental y de la EAP, pues los conectores biológicos son valorados dentro de los primeros cinco criterios del índice y se consideran *a priori* como estructurantes de la agrobiodiversidad funcional de los agroecosistemas.

El **tercer objetivo** fue *Determinar* la relación entre los niveles de agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos de estudio, evaluados mediante la EAP y la función ecosistémica; en este caso la incorporación de estiércol bovino en el suelo, realizada por

los escarabajos coprófagos en los sistemas productivos de los agroecosistemas de estudio.

El **cuarto objetivo** fue *Definir* cuáles indicadores que conforman la EAP son variables predictoras de dicha función.

Estos dos objetivos se desarrollaron en el capítulo cinco (5). A partir de la valoración de los indicadores de la EAP de los agroecosistemas ganaderos de estudio y los resultados de los experimentos de evaluación de la función ecosistémica mencionada, se realizaron correlaciones, análisis multivariados y modelaciones lineales entre variables predictoras y cantidad de función, evaluada en gr de materia seca de estiércol bovino incorporada en el suelo por los escarabajos coprófagos, a nivel de sitio y finca.

El **quinto objetivo** fue *Estimar* la importancia funcional de *Dichotomius belus* Har., al incorporar estiércol bovino en el suelo de los potreros de la Finca Loma Larga y modificar sus propiedades químicas y biológicas, en suelo, aumentando su fertilidad. Este propósito fue alcanzado y desarrollado en el capítulo seis (6). Para ello se estableció la proporción y las características de boñigas colonizadas por esta especie, la relación de su abundancia con la precipitación anual (fenología) y los mecanismos que permiten que el estiércol incorporado en el suelo mejore de sus propiedades químicas y biológicas, estimando el servicio de fertilización que la especie realiza anualmente en la finca, medida en  $\text{kg/ha}^{-1}$  de materia orgánica seca y nitrógeno incorporado.

Además de los (5) capítulos citados anteriormente, la tesis está estructurada con un capítulo inicial o marco general, en el que se presenta la problemática y justificación de la investigación, el marco teórico, que respalda la discusión de los resultados y los planteamientos metodológicos generales y un capítulo final, que recoge las conclusiones y consideraciones finales.

Para finalizar, dentro de esta propuesta doctoral y en lo que atañe principalmente al primer objetivo, se relacionaron dos proyectos de investigación de maestría, adscritos a la Línea de Investigación en Estudios Ambientales Agrarios del Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia.

El primero de ellos, realizado por Yesica X. Daza-Cruz en agroecosistemas ecológicos y convencionales, relaciona el Índice de Apropiación Humana de la Productividad Primaria Neta (AHPPN) con la EAP, para comprender cómo la estructuración de esta última, más el proceso histórico de tenencia de la tierra en la región de La Vega y Nocaima, han afectado las coberturas boscosas. El proyecto que desarrolla Jhon Freddy Rodríguez, analiza los usos y manejos del agua por la comunidad de la cuenca del río Tabio-Tabacal, especialmente en agroecosistemas ganaderos y ofrece información para respaldar las prácticas de conservación de este recurso, dentro de los indicadores de la EAP.

# 1. Marco general de investigación

## 1.1 Problemática de Investigación: la ganadería extensiva en Colombia y región andina

La ganadería en Colombia es considerada el renglón productivo más extendido del país con 35.000.000 ha en pastos permanentes, que aporta el 80% de la producción agropecuaria (DANE, 2016) y en el 2020 contribuyó con el 1,4% al Producto Interno Bruto nacional (PIB) (<https://sioc.minagricultura.gov.co/Bovina/Documentos/2020-12-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>). Sin embargo, debido a las particularidades ecológicas y las características históricas, políticas, sociales y tecnológicas que han marcado el desarrollo del sector, la productividad de los agroecosistemas ganaderos es muy baja (Mahecha et al., 2002; Flórez-Malagón, 2008; Murgueitio et al., 2009; Kalmonovitz, 2015).

La “ganaderización” del país, ligada al pastoreo extensivo y extractivo, ha sido acrecentada, principalmente durante la segunda mitad del siglo XX, por la violencia política y desplazamiento forzado de la población rural hacia zonas de frontera agrícola. Esto ha permitido la concentración de la propiedad agraria<sup>8</sup> y una fuerte presión hacia los recursos naturales<sup>9</sup>, disminuyendo la posibilidad de innovaciones tecnológicas apropiadas y generalizadas al sector, mediada por *la lógica de la influencia* de los gremios ganaderos (Mahecha et al., 2002; Borrás et al., 2011; Zuluaga & Cobo, 2021). Actualmente las políticas neoliberales, bajo el modelo de *Revolución Verde*, han auspiciado el arribo de tecnologías no acordes a las realidades económicas, sociales y ecológicas de la región,

---

<sup>8</sup> En Colombia, según el último censo agropecuario del 2014, el 73,8% del territorio rural censado se encuentra representado por 5.548 unidades productivas agropecuarias (UPA) de más de 1.000 ha, frente al 0,2% del territorio ocupado con 1.669.297 UPA de menos de 5 ha. Muchos de estos latifundios han sido producto histórico del despojo de tierras a campesinos por grupos armados al margen de la ley, auspiciada por medidas proteccionistas y coercitivas del estado y políticas macroeconómicas, las cuales se encuentran en manos de gamonales, narcotraficantes, comerciantes y/u oligopolios internacionales (Rojas, 2009; Kalmonovitz, 2015; Hurtado, 2018; <http://www.dane.gov.co>).

<sup>9</sup> De las tierras ocupadas para la producción ganadera en el país, la mayoría se ubican en suelos con poca vocación, superando un 229% con respecto a su área de aptitud. Este crecimiento va en detrimento de la conservación de bosques, lo que se traduce en una tasa de deforestación de 300.000 ha por año (<http://www.dane.gov.co>; <http://www.ica.gov.co/Areas/Pecuaría>).

sembrando el discurso del alto rendimiento como la bandera para aumentar la productividad y competitividad del sector (MEA, 2005; Jackson et al., 2007).

Es así como los paisajes ganaderos andinos son resultado de una transformación histórica de extensiones de bosques premontanos, montanos y alto andinos, en monocultivos de gramíneas, como única fuente de alimento y forraje para los animales en pastoreo (Corrales, 2002; Flórez-Malagón, 2008; Delgado-Rozo, 2015). En particular para la región de estudio, La Vega y Nocaima, inició con la conquista española (González-Ordóñez, 1989; Ramírez, 2017).

Estas circunstancias han llevado a una pérdida importante de los frágiles ecosistemas de la región andina y simplificación de los agroecosistemas, con importantes consecuencias para la pérdida de su integridad ecológica<sup>10</sup> y capacidad de realizar funciones ecosistémicas, que benefician a la sociedad, a través de servicios como la regulación hídrica, biológica y climática, entre otros (ver Tabla 1-1) (Armenteras et al., 2003; Murgueitio & Ibrahim, 2004; Etter, 2015).

El suelo, como el “recurso natural” por excelencia para obtener alimento y garantizar “buenas cosechas”, es el ecosistema más afectado por la transformación de coberturas boscosas a pasturas para la cría de ganado. Con la remoción de los árboles, desaparece la hojarasca, esencial para el reabastecimiento constante de materia orgánica (M.O.)<sup>11</sup>, quedando expuesto a la acción directa de la lluvia y el sol. Por un lado, se lixivian y arrastran los nutrientes y partículas de suelo de los horizontes superficiales hacia quebradas, afluentes y cuencas y por otro, modifica las condiciones microclimáticas de la biota, adaptada a la penumbra y al suelo húmedo y grumoso, bajo condiciones naturales (Primavesi, 1980; Zapata-Cadavid & Silva-Tapasco, 2016; Li et al., 2020).

Con el monocultivo de forrajeras se uniforma la microvida del suelo y disminuye su biodiversidad, como los organismos que realizan funciones ecosistémicas dentro del suelo (p.e.: escarabajos coprófagos, colémbolos, hongos, bacterias descomponedoras), lo que reduce las posibilidades de alimentación para las plantas (Primavesi, 1980; Lavelle & Spain, 2001; Zapata-Cadavid & Silva-Tapasco, 2016).

---

<sup>10</sup> La integridad ecológica es definida como la configuración mínima de la estructura ecológica (componentes bióticos o no) y funcionamiento, que caracterizan un dominio estable de un ecosistema (Karr, 1993).

<sup>11</sup> La materia orgánica (M.O.) es toda sustancia muerta en el suelo, ya sea que provenga de plantas, microorganismos, excreciones de animales, entre otros. Existe en parte como hojas y raíces muertas, micro y mesofauna muerta, productos intermedios de descomposición, ácidos poliurónicos, y a veces, en parte como sustancias húmicas. La presencia de M.O. en el suelo contribuye a formación de agregados (estructura grumosa), en formas estables y ricas en agua y fuentes de carbono para organismos fijadores de nitrógeno y otros organismos, que producen sustancias de crecimiento vegetal y antibióticos para la protección y salud vegetal y la provisión de sustancias intermedias producidas en su descomposición y que pueden ser absorbidas por las plantas. Adicionalmente si se forma humus, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CTC), la capacidad de amortiguación (buffer) frente a variaciones bruscas de pH y la presencia de fenoles, importantes en la respiración y sanidad vegetal (Primavesi, 1980).

---

El pisoteo regular del ganado aumenta la compactación del suelo, aumentando su densidad aparente, lo que se opone a la penetración radicular y disminuye el espacio efectivo de exploración de la raíz de las plantas, así como su porosidad para conservar agua, gases y microorganismos (Primavesi, 1980). Bajo condiciones de ladera y debido al arrastre de los suelos hacia la pendiente, la erosión se exagera (Murgueitio, 2003).

El uso masivo y descontrolado de Ivermectinas, para el control de parásitos del ganado, cuyos trazos son evacuados vía excretas, ha impactado fuertemente las especies que consumen el estiércol bovino, como los escarabajos coprófagos, afectando el reciclaje de nutrientes y disminuyendo la calidad del suelo (Adler et al., 2015; Verdú et al., 2018).

Estos procesos son desencadenantes de otros procesos, que actúan de manera compleja y retroalimentativa, lo que finalmente destruye la bioestructura del suelo y su facultad de producir (Primavesi, 1980; Lavelle & Spain, 2001).

En departamentos como Cundinamarca, por ejemplo en la cuenca del río Tobia, las malas prácticas ganaderas son las mayores responsables de la pérdida y degradación de suelos (<https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/16/PGAR%202012%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).

Bajo este escenario poco alentador, es necesario revisar las relaciones que emergen de la producción ganadera en manejo convencional, diferentes a los derivados cárnicos y lácteos, para generar otros beneficios, resultado de agroecosistemas y paisajes agropecuarios más complejos y biodiversos (Herrero et al., 2008; Bustamante-Zamudio & Rojas-Salazar, 2018).

## **1.2 Justificación de la Investigación**

Según Primavesi (1980) y Feller et al., (2012) , la restitución de la materia orgánica que se pierde durante las malas prácticas agropecuarias o aún en los procesos naturales de descomposición del humus, es una cuestión vital para la agricultura tropical, pues es indispensable para mantener la micro y mesofauna y toda la productividad del suelo. Debido a la excesiva humedad y temperatura que presenta la mayor parte de la región, la M.O. es descompuesta rápidamente, lo que hace que los suelos cultivados presenten casi siempre deficiencia de este compuesto. En escenarios ganaderos, es necesario la fertilización constante para permitir que la especie forrajera se recupere en los periodos de descanso del potrero.

No obstante, la fertilización química, como una forma fácil de adicionar carbono y otros elementos minerales al suelo, crea otras problemáticas. Además de ofrecer únicamente elementos para la nutrición de las plantas, sin todos los beneficios que ofrece la adición de

materia orgánica, el suelo aumenta su acidez, salinización y contaminación, cuyos trazos pueden dirigirse a hacia aguas subterráneas. Los niveles de uso actual del nitrógeno y fósforo han superado el umbral del equilibrio planetario (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015).

El conocimiento e implementación de prácticas que contribuyan a mantener la materia orgánica y productividad del suelo, la evaluación y medición de funciones ecosistémicas en agroecosistemas y la determinación de los factores ecológicos y culturales que modulan dichas funciones, se tornan campos de investigación de gran interés en las ciencias agrarias, especialmente en la agroecología. Abordando estos temas, desde una perspectiva compleja, integrando metodologías de diversas disciplinas naturales y sociales, sería posible la generación de herramientas prácticas para el diseño de agroecosistemas (ganaderos) más sustentables, considerando la agrobiodiversidad como eje fundamental.

Los objetivos propuestos en la tesis doctoral, una vez alcanzados, contribuirían a:

- . Reconfigurar la Estructura Agroecológica Principal-EAP, como un índice ambiental que evalúa la agrobiodiversidad de los agroecosistemas, entendiendo las variables recogidas en indicadores como diferentes dimensiones de su agrobiodiversidad ecológica y cultural. Una vez reconfigurada la EAP, constituirse en un índice con aplicaciones teóricas y prácticas en el campo de la agroecología.
- . Mejorar la línea base de conocimiento sobre la flora nativa de bosques subandinos del flanco occidental de la cordillera oriental, como conectores biológicos al interior de muchos agroecosistemas ganaderos de la región.
- . Ampliar el conocimiento base sobre la diversidad, composición y estructura de las comunidades de escarabajos coprófagos en la región de estudio, tanto en los conectores biológicos como en los sistemas productivos de los agroecosistemas ganaderos.
- . Construir, a partir de un estudio puntual, una propuesta metodológica para la medición de funciones ecosistémicas y valoración de beneficios (servicios) derivados de la actividad funcional de los escarabajos coprófagos de incorporar el estiércol bovino en el suelo.
- . Evidenciar factores agrobiodiversos, evaluados mediante la EAP, que efectan la incorporación de estiércol bovino en el suelo, como función ecosistémica fundamental en los agroecosistemas ganaderos.
- . Generar información que contribuya al diseño de herramientas prácticas de manejo y conservación de agrobiodiversidad en los agroecosistemas ganaderos de la región, para garantizar otros atributos asociados, como resiliencia, integridad ecológica y productividad.

---

## 1.3 Marco Téorico

### 1.3.1 La importancia de la biodiversidad para el funcionamiento de los ecosistemas y agroecosistemas

Una función ecosistémica es definida por Bellwood et al. (2018) como “el movimiento o almacenamiento de energía o materiales” dentro de un ecosistema. En esta amplia definición, todas las funciones forman parte de un continuo de procesos (bioquímicos, biofísicos y biológicos) que aseguran su productividad biológica, integridad organizacional o ecológica y perpetuación (Swift et al., 2004).

En últimas décadas, el estudio de la relación biodiversidad-funcionamiento de ecosistemas ha sido foco principal de atención y debate en ecología. Con modelos manipulados experimentalmente, desde microcosmos hasta agroecosistemas simplificados, los investigadores concluyeron, inicialmente, que el funcionamiento está relacionado con altas tasas de saturación de especies<sup>12</sup> (Tilman et al., 1997; Díaz & Cabido, 2001; Swift et al., 2004). Es decir, que la simplificación de los agroecosistemas (causada por la intensificación de prácticas agrícolas) puede afectar importantes funciones ecosistémicas, vía pérdida de agro-biodiversidad (Naem et al., 1999; Loreau et al., 2001; Schwartz et al., 2000; Tschamtkke et al., 2005; Laliberte et al., 2010).

Estudios complementarios han sugerido que en funciones esenciales del ecosistema, como la producción primaria (ver Tabla 1-1), se requiere un nivel mínimo de saturación de especies. Una vez alcanzada, la adición de nuevas especies no aumenta la función, por lo que una curva asintótica describiría la relación función-biodiversidad (Vitousek & Hooper, 1993; citado por Swift et al., 2004). Otros estudios sugieren que importa más la composición de comunidades y las relaciones entre distintos “grupos funcionales” y especies “clave”, de acuerdo con sus atributos ecológicos o comportamentales. Se ha observado que la presencia de una sola “especie clave” dentro del grupo funcional puede mantener la función (Naem et al., 1999; Tilman et al., 1997; Díaz & Cabido, 2001; Swift et al., 2004).

Según Naem et al. (1999), tener más de una especie por grupo funcional puede no alterar los niveles generales de funcionamiento ecosistémico; sin embargo si puede amortiguar la pérdida de la función, durante la perturbación, si las especies dentro de los grupos funcionales son capaces de remplazarse y compensarse mutuamente. Petchey & Gaston (2002) sostienen que la diversidad que realiza funciones es más susceptible a transformaciones y/o conductores de cambio global que la misma pérdida de especies.

---

<sup>12</sup> Una comunidad está saturada cuando es rica en especies o cuando un número significativo de especies ha ocupado todos los nichos ecológicos disponibles y no hay “vacantes”. Desde esta perspectiva se asume que todas las especies contribuyen de igual forma al funcionamiento del (os) ecosistema(s) (Tilman et al., 1997).

**Tabla 1-1:** Funciones esenciales de los ecosistemas, grupos funcionales clave en la función y los servicios generados a la sociedad (Fuente: Swift et al., 2014).

Funciones ecosistémicas	Grupos funcionales clave	Bienes y servicios de los ecosistemas
Producción primaria y secundaria (herbivoría)	Plantas y herbívoros vertebrados	Alimento
Producción primaria y metabolismo secundario	Plantas	Fibras y latex
Metabolismo secundario	Plantas, bacterias y hongos	Agroquímicos y farmacéuticos
Descomposición	Descomponedores	Ciclaje de nutrientes
Mineralización y otras transformaciones elementales	Transformadores elementales	
Síntesis de la M.O. del suelo	Descomponedores	Almacenamiento y regulación del flujo de agua
Regulación de estructura del suelo/formación de poros y agregados	Ingenieros del ecosistema	
Protección del suelo	Plantas	Regulación del suelo y movimiento de sedimentos
Síntesis de M.O. del suelo	Descomponedores	
Mantenimiento de la estructura del suelo	Ingenieros del ecosistema	
Metabolismo secundario de plantas	Plantas	Regulación de poblaciones biológicas (incluyendo plagas y enfermedades)
Polinización	Polinizadores	
Herbivoría	Herbívoros	
Parasitismo	Parásitos	
Microsimbiosis	Simbiontes	
Predación	Predadores	
Descomposición	Descomponedores	Limpieza de poluentes biológicos o químicos (incluyendo purificación de agua)
Transformación elemental	Transformadores elementales	
Emisión de GEI	Descomponedores, transformadores elementales, plantas, herbívoros	Regulación de la composición atmosférica y clima

### 1.3.2 Importancia ecológica de los escarabajos coprófagos en sistemas y agroecosistemas ganaderos

Debido a características comportamentales<sup>13</sup>, los escarabajos coprófagos *sensu stricto* (Insecta: Coleoptera: Scarabaeinae) contribuyen a descomponer el excremento de

<sup>13</sup> Los escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae, Aphodinae y Geotrupinae) han sido clasificados en tres gremios funcionales, de acuerdo a las estrategias de relocalización del recurso alimenticio. *Residentes (Re)*: cuyas especies se alimentan y depositan sus huevos en la boñiga; *Tuneleros (T)*: construyen galerías bajo el estiércol donde movilizan materia fecal para su consumo o postura de huevos en estructuras de nidificación llamadas peras nido; *Rodadores (R)*: ruedan una bola de estiércol y la entierran a poca profundidad y a una distancia determinada de la masa fecal, donde depositan su huevo en bolas nido (Bornemisza, 1976; Halfpeter & Edmonds, 1982) (ver Figura 1-1).

mamíferos y pequeños vertebrados (algunas especies se alimentan de carroña y/o frutos en descomposición) y la síntesis de materia orgánica en el suelo, en los ecosistemas y agroecosistemas donde habitan (Halffter & Matthews, 1966; Halffter & Edmonds, 1982; Hanski & Cambefort, 1991).

Al incorporar excremento o boñiga en el suelo, construyendo galerías a diferentes profundidades para consumirlo o depositar sus huevos, excavan partículas hacia la superficie (o bioturbación, siendo importantes ingenieros del ecosistema), incrementando la permeabilidad del suelo al aire y agua y creando hábitats para otras especies detritívoras, asociadas a este recurso alimenticio.

Los compuestos orgánicos incorporados modifican las comunidades microbiológicas, que los descomponen y transforman en formas asimilables por las plantas y/o humifican esta materia orgánica, para constituirse en parte de la bioestructura del suelo. Este conjunto de procesos, a diferentes niveles espaciales y temporales, resultan en un suelo más fértil y con mayor biomasa vegetal. Las semillas consumidas por especies frugívoras, enterradas en las galerías, pueden germinar posteriormente, contribuyendo a su dispersión secundaria y a dinámicas sucesionales de bosques y praderas (Bornemissza & Williams, 1970; Holter, 1979; Primavesi, 1980; Herrick & Lal, 1996; Andresen & Feer, 2005; Lavelle & Spain, 2001; Slade & Roslin, 2016).

Estas funciones ecosistémicas son especialmente importantes en agroecosistemas ganaderos, donde el estiércol bovino se constituye en el principal producto secundario durante la producción (Figura 1-1). Los productores ganaderos pueden recibir otros beneficios de la actividad funcional de los escarabajos coprófagos al remover las boñigas de las pasturas e incorporarlas en el suelo:

**Control biológico de plagas del ganado:** disminuyen el medio reproductivo de moscas hematófagas (Díptera: Muscidae) (p. e.: *Haematobia irritans* (L.), *Stomoxys calcitrans* (L.) y *Musca vestustissima* Walker) que atacan al ganado, generando estrés o muerte debido a las constantes picaduras (Jonsson & Meyer, 1999; Campbell et al., 1991).

**Aumento del área efectiva de los pastos para el consumo del ganado:** las boñigas excretadas pueden cubrir individualmente un área de forrajeo de 0,92 m<sup>2</sup>, pero la pastura dentro de cierto radio de influencia pierde palatabilidad para los animales en pastoreo. La rápida introducción del estiércol al suelo aumenta la disponibilidad de pasto en los siguientes periodos de ocupación del potrero (Bornemissza, 1976; [http://www.dungbeetle.com.au/csiro\\_dungbeetle\\_project.html](http://www.dungbeetle.com.au/csiro_dungbeetle_project.html)).

**Reducción en la liberación de gases efecto invernadero – GEI<sup>14</sup>:** el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, subproductos de la descomposición de las boñigas, pueden ser reducidos si estas son rápidamente removidas de las pasturas, lo que contribuye a mitigar el cambio climático. Penttilä et al., (2013), observaron en Finlandia que el flujo acumulativo

---

<sup>14</sup> Se calcula que el 14% de las emisiones mundiales de GEI producidas por el hombre se originan de la ganadería, correspondiendo a 580 millones de toneladas al año (Jhonson & Jhonson, 1995; FAO, 2016).

de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O fue inferior en masas expuestas a la actividad de los escarabajos coprófagos, comparado con el tratamiento donde fueron excluidos.

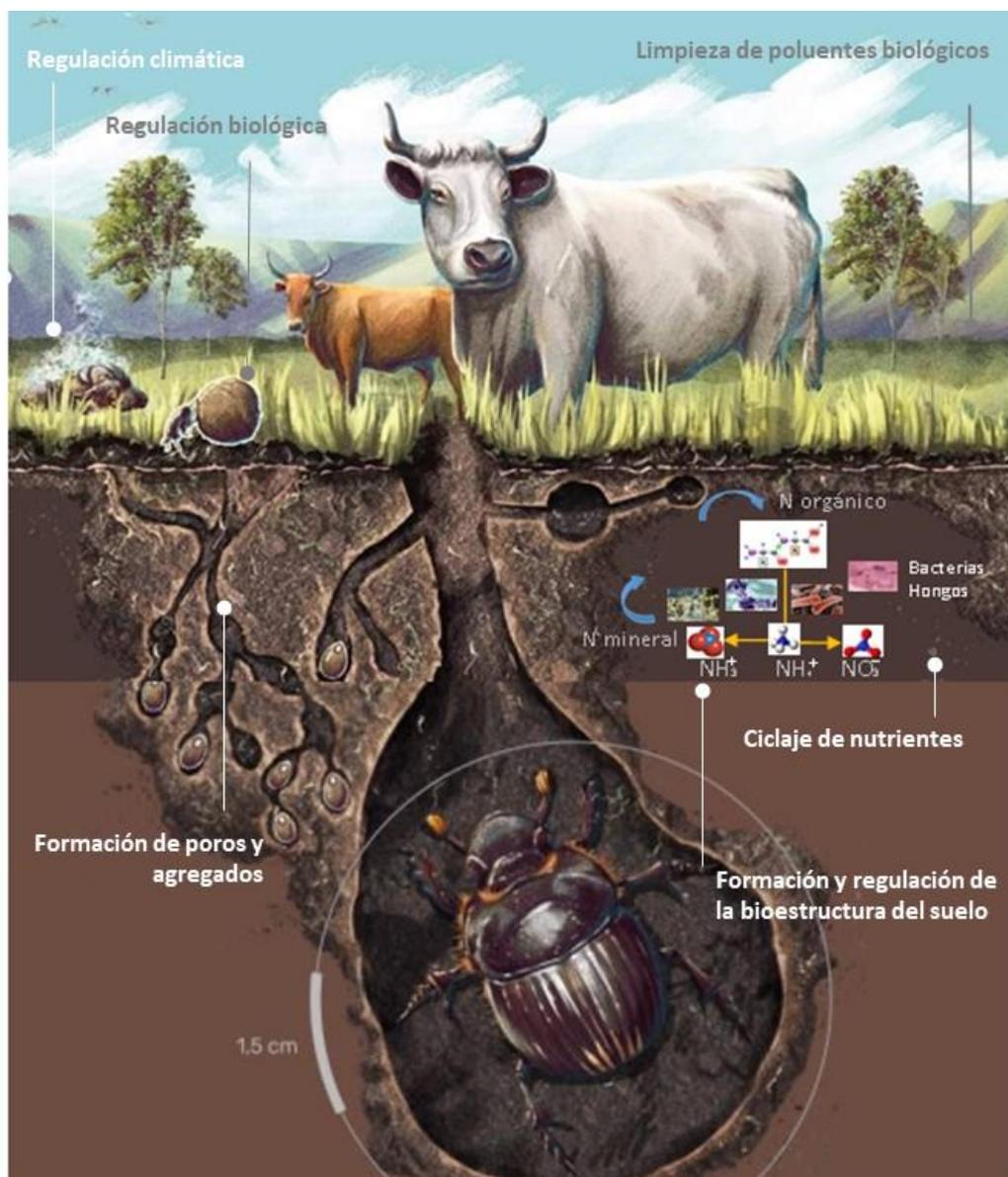
**Disminución de la fertilización química:** al incorporar las boñigas, se evita la pérdida por evaporación de compuestos orgánicos nitrogenados y amonio (NH<sub>3</sub>) y se incorporan elementos en el suelo (Mucks & Richards, 1983).

Traduciendo estas funciones en beneficios económicos para los productores (dentro del marco conceptual de la Valoración de Servicios Ecosistémicos-SE), se estima que equivalen a más de 380 millones de dólares anuales en Estados Unidos: 31,6% equivaldría a la eliminación de estiércol de los pastizales, 52,6% al control biológico de moscas y parásitos y 15,8% a la fertilización nitrogenada (Losey & Vaughan, 2006). En el Reino Unido, los escarabajos coprófagos disminuirían los costos de la industria en 367 millones de dólares anuales (Beynon et al., 2015).

Desafortunadamente, los sistemas de manejo extensivo (en Latinoamérica, Asia y África), donde se rempazan coberturas arbóreas por pastizales mejorados y se usan agroquímicos para controlar plagas y fertilizar (Murgueitio, 2003) disminuye el potencial de estas especies para realizar funciones ecosistémicas y derivar servicios para el productor (Davis et al., 2004).

Los escarabajos coprófagos, especialmente en el Neotrópico y debido a su historia evolutiva, son dependientes de las coberturas arbóreas. La mayoría de estudios sobre diversidad y biogeografía indican que ciertos linajes taxonómicos presentan mayor diversidad en zonas boscosas que en áreas abiertas (p.e. las tribus Dichotomiini, Eurysternini, Onthopaghini y Phanaeini) (Cambefort, 1991; Gill, 1991; Halffter, 1991).

La fragmentación de bosques y la pérdida de hábitat reducen la riqueza y modifican la composición de comunidades, siendo más comunes las especies “generalistas” y menos las “raras”. La estructura de grupos funcionales también cambia (Klein, 1989; Quintero & Halffter, 2009; Shanabuddin et al., 2010; Barragán et al., 2011), con efectos en la funcionalidad de los ecosistemas (Klein, 1989; Andresen, 2003; Slade et al., 2011). Algunas comunidades, dependiendo del grado perturbación y características del hábitat, pueden recuperarse y alcanzar niveles cercanos a su estado pre-disturbio (Quintero & Roslin, 2005; Audino et al., et al., 2014; Sullivan et al, 2018; DeMoura et al., 2021).



**Figura 1-1:** Importancia ecológica (funciones ecosistémicas y servicios) de los escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) en los agroecosistemas ganaderos (Fuente: modificado de IAvH, 2019).

El uso masivo de Ivermectina, medicamento veterinario frecuentemente usado para tratar ecto y endoparásitos, cuyos residuos son excretados vía fecal, ha inhibido la capacidad reproductiva de muchas especies, disminuido su atractividad hacia las masas fecales tratadas y retardado en la degradación de las boñigas (Madsen et al., 1990; Iglesias et al., 2006; Cruz et al., 2011; Adler et al., 2015; Verdú et al., 2018).

Por lo anterior, los escarabajos han sido propuestos como excelente grupo indicador del estado de biodiversidad, perturbación, restauración, conservación de otros taxa y

funcionalidad de los ecosistemas, agroecosistemas y zonas perturbadas (Favila & Halffter, 1993; Davis et al., 2001; 2004; Villareal et al., 2005; Spector 2006; Audino et al., 2014; Piccini et al., 2018; Raine & Slade, 2019).

En Colombia, la mayoría de estudios han evaluado la diversidad, composición y estructura de comunidades de escarabajos coprófagos en diferentes ecosistemas de importancia para la conservación, hábitats naturales y antrópicos (Amat et al., 1997; Escobar & Chacón-de-Ulloa, 2002; Medina et al., 2002; Quintero et al., 2008; Neita & Escobar, 2011; Cultid-Medina & Escobar, 2016; Villada-Bedoya *et al.*, 2017, Noriega et al., 2021; Duque-Vélez et al., 2022, entre otros). A excepción del estudio de Giraldo et al., (2011), en Quindío y Valle del Cauca, que ha sido el primer intento de evaluar el efecto de los escarabajos sobre la remoción de estiércol bovino de las pasturas, dispersión de semillas y control parcial de moscas parasíticas, en sistemas silvipastoriles<sup>15</sup>, se carece de información sobre su importancia funcional.

### 1.3.3 La visión ambiental de la agroecología

La dimensión o condición ambiental ha sido planteada por diversos autores, como las relaciones complejas<sup>16</sup>, constantes, de diferente sentido, magnitud e intensidad, que se establecen entre los ecosistemas y las culturas o, en otras palabras, entre las sociedades humanas y el resto de la naturaleza (Ángel, 1993; 1995; 1996; 2000; Noguera, 2006; León-Sicard, 2014; 2021).

La cultura es un término que ha sido vulgarizado en muchos espacios, pero en este contexto se refiere a todas las posturas teóricas y acciones emprendidas por la humanidad para adaptarse o transformar sus entornos ecosistémicos. La cultura incluye tanto los símbolos originados en el pensamiento humano, como a todas las formas de organización (social, económica, política y militar) de las sociedades, que se expresan en diferentes plataformas tecnológicas (Kuper, 2001; Ángel, 1995; León-Sicard, 2014).

Los símbolos no son solamente o necesariamente de índole mítica. Los símbolos son la base del pensamiento científico, de la reflexión filosófica, del análisis sociológico, del arte, del derecho o de la religión. Le dan dirección, justificación, contenido y sustancia a la acción instrumental (Ángel, 2000). A partir de los significados y de los avances teóricos

---

<sup>15</sup> Los sistemas silvipastoriles (o silvopastoriles) comprenden un conjunto de prácticas que combinan o integran el uso de plantas forrajeras (pastos y leguminosas rastreras) con arbustos o árboles para complementar la alimentación de los animales o para usos complementarios. Estas prácticas aumentan la agrobiodiversidad, mejoran la productividad y producción bienes y servicios de los ecosistemas (Murgueitio et al., 2010).

<sup>16</sup> El pensamiento complejo es una nueva manera de pensar en términos de *conectividad*, *relaciones* y *contexto*, en oposición al pensamiento cartesiano, como *análisis*, *reducción* y *generalización*. Según la visión sistémica, las propiedades esenciales de un organismo o sistema viviente son propiedades del todo que ninguna de las partes posee, que emergen de las interacciones y relaciones entre sus partes. A diferencia, la visión cartesiana se fundamenta en la idea que el comportamiento del todo puede entenderse completamente desde las propiedades de sus partes y que las partes mismas no pueden ser analizadas más allá; a no ser que se reduzcan a partes aún más pequeñas (Capra, 1998; Morin, 2003).

---

realizados por la humanidad en función del conocimiento y apropiación de sus entornos inmediatos, las sociedades fueron construyendo relaciones sociales, balances del poder, jerarquías y autoridades que influyeron en sus modos y formas de producción, comercio y acumulación que, igualmente, generaron relaciones específicas con sus entornos biofísicos (León-Sicard, 2014; 2021).

Una parte fundamental de la acción humana, basada en estos procesos simbólicos y fuertemente arraigada en relaciones socioeconómicas, políticas y militares, es la agricultura, que constituye, sin lugar a dudas, la mayor intervención de los seres humanos en los ecosistemas (Ángel, 1995; León-Sicard, 2014).

En los años 60's, en reacción a las primeras evidencias del impacto negativo del uso de agroquímicos y fertilizantes sintéticos (banderas tecnológicas del modelo de agricultura de *Revolución Verde*) en la salud humana y de los ecosistemas, surge un movimiento ecologista, también llamado ambientalismo, que critica dichas prácticas sobre la naturaleza, de la que dependen los seres humanos para su existencia y bienestar (Carson, 1962; Ehrlich & Ehrlich, 1987; Daily et al., 1997).

Lo más importante, aporta nuevas formas filosóficas y argumentativas a la naciente ciencia agroecológica, que se fundamentó, inicialmente, con los aportes de la agronomía y ecología, cuyos principios eran aplicados a los cultivos comerciales. En los años 70's se expande la agroecología, alimentada por disciplinas sociales como la economía, etnografía, sociología rural y economía agraria, analizando los sistemas campesinos, estudiando modelos de desarrollo rural y rescatando el conocimiento y formas tradicionales de agricultura (Wenzel & Soldat, 2009; Sevilla-Guzmán & Soler, 2009; Gliessman, 2013).

La agroecología es pues una ciencia multidisciplinaria e integrativa que trata de comprender y resolver problemas ambientales en un espacio natural y cultural donde se desarrolla el quehacer agrario y se proyecta como un paradigma para alcanzar la sustentabilidad<sup>17</sup> de la agricultura, desde lo ecológicamente correcto, lo económicamente viable y lo socialmente justo (Altieri, 1989; Yunlong & Smith, 1994; León-Sicard, 2010; 2014; Kumaraswamy, 2012; Acevedo-Osorio & Chohan, 2019). Además de ciencia, la agroecología ha sido propuesta como una práctica, un movimiento social y recientemente, una estructura de símbolos<sup>18</sup> (Wezel & Soldat, 2009; León-Sicard, 2019).

---

<sup>17</sup> Desde la perspectiva sistémica, las únicas soluciones viables son aquellas que resultan sustentables ante la crisis planetaria, originada por una percepción inadecuada del mundo (Capra, 1998).

<sup>18</sup> La agroecología como **una práctica**; cobija prácticas como la agricultura ecológica, biológica, biodinámica y tiene como objetivo armonizar la existencia ética y estética de todas las formas de vida planteando diferentes enfoques, principios filosóficos y metodologías para la producción de alimentos (Wezel & Soldat, 2009; León-Sicard, 2010). Como **un movimiento social**; surge, principalmente, como reacción a las políticas de desarrollo rural impuestas a los países de Latinoamérica, insostenibles en las condiciones biogeográficas, sociales, simbólicas y económicas de la región. Se proyecta como una herramienta política para la resistencia al modelo agrario dominante (Sevilla-Guzmán & Soler, 2009; Calle-Collado et al., 2013; Gliessman, 2013). Como **una estructura de símbolos**; menos conocida y revelada, incluye las percepciones, valores y significados de la

### **1.3.4 La agrobiodiversidad de los agroecosistemas: su visión desde la agroecología**

El agroecosistema, la unidad básica de estudio de la agroecología<sup>19</sup> y la que es considerada en este enfoque de investigación, es valorada de formas diferentes bajo las visiones contrastantes de la agricultura convencional y la agroecología.

La agricultura convencional o de Revolución Verde los concibe como espacios naturales propicios para obtener beneficios (en forma de alimentos, fibras y energía) bajo las premisas de alto rendimiento y productividad. Desde la agroecología, el productor (el agricultor tecnificado, el campesino o el indígena) hace parte integral del agroecosistema, que a su vez moldea mediante los sellos sociales, económicos, políticos o tecnológicos impresos desde su cultura (León-Sicard, 2014).

Desde la primera visión, la agrobiodiversidad (ver nota 2) es simplificada para favorecer el monocultivo de variedades y/o razas mejoradas. El productor mantiene “el control” de la producción y por lo tanto sus estructuras, relaciones y procesos funcionales, sustituyéndolos por un conjunto de inputs en forma de fertilizantes y agroquímicos, subsidiada por energías fósiles.

Desde la agroecología, la agrobiodiversidad juega una función esencial para garantizar las interacciones y procesos que ocurren naturalmente en los agroecosistemas y benefician al productor. Entendiendo su importancia, aplica prácticas de manejo y conservación, fundamentadas en principios agroecológicos como de base social, en las que convergen la producción de saberes locales, innovación, adaptación de tecnologías, construcción de tejido social y las formas organizativas para la acción colectiva (Calle-Collado et al., 2013; Sevilla-Guzmán & Soler, 2009; Wezel et al., 2014).

### **1.3.5 Propuestas metodológicas para evaluar la agrobiodiversidad**

A pesar de la importancia de la agrobiodiversidad para la agricultura, existen muy pocos esfuerzos para evaluarla. En general, ellos se remiten a aspectos de riqueza y composición de la biota en coberturas antrópicas, en muchos casos comparadas con coberturas naturales. En este acercamiento, es frecuente el uso de índices de diversidad (Shannon,

---

agricultura y al mismo tiempo un medio para preservar la vida a través del alimento. Se entiende el carácter sagrado de cultivar y tejer relaciones armónicas con los seres no humanos y espirituales o cósmicos que participan e intermedian la producción de cosechas sanas y vitales, llenar de plenitud al agricultor y llevar el gozo a la mesa de todos (Franco-Valencia & Sánchez, 2018; León-Sicard, 2019).

<sup>19</sup> Otro acercamiento en la agroecología, recientemente propuesto por Francis et al., (2003) y compartido por otros autores como Gleissman (2013) y Wezel et al., (2020), entre otros, es la de estudiar los sistemas alimentarios como su nuevo objeto de estudio, desde las dimensiones ecológicas, sociales y económicas.

---

Simpson, Margalef, partición de la diversidad  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ ) y técnicas de ordenación, clasificación o simulación, fundamentadas, principalmente, en los acercamientos teóricos de la Biogeografía de Islas, Metapoblaciones y Fuente-Sumidero (Simberloff & Abele, 1976; Hanski, 1991; Magurran, 2004).

En los métodos expuestos, el paisaje es considerado como un espacio binario de hábitats apropiados, embebidos en una matriz que no lo es, representada por configuraciones antrópicas (cultivos, infraestructura vial y urbana) que impiden o limitan el movimiento, colonización o dispersión de organismos. En realidad, el paisaje es un mosaico de diferentes tipos de hábitat con diferentes capacidades para albergar especies (Cummins & Vessey, 1994; Wiegand et al., 1999).

En la última década y desde visiones interdisciplinarias, se ha comenzado a argumentar que la matriz de agroecosistemas, donde, en muchos casos, se concentra la mayor parte de la diversidad que aún existe, no necesariamente tiene una naturaleza inhóspita para el movimiento y/o permanencia de ciertos organismos asociados al bosque (Perfecto et al., 2009). La calidad de la matriz y su capacidad de permitir procesos ecológicos va a depender de las prácticas agroecológicas, o no, con las que los agricultores contemplan el manejo de los agroecosistemas y su biodiversidad intrínseca (Perfecto et al., 2009; Wezel et al., 2014).

Los paisajes rurales complejos, representados por agroecosistemas en los que se implementen arreglos agrícolas en policultivos, sistemas agroforestales y/o silvipastoriles, alternando con pequeños parches de vegetación natural y seminatural o en barbecho dentro de las fincas, podrían permitir la continuidad de procesos ecológicos que benefician a los agricultores. También se constituyen en estrategias de conservación de la agrobiodiversidad, en las que se incluyen las manifestaciones culturales y tradicionales de manejo agrícola (Harvey et al., 2008).

Esta nueva visión de agroecosistemas ecológica y culturalmente complejos, ha abierto la posibilidad de describir la agrobiodiversidad desde una visión más holística, incorporando metodologías provenientes de las ciencias sociales, con análisis multidisciplinarios y multiescalares. Recientemente, Shapit et al., (2017) propusieron *el Índice de agrobiodiversidad* (ABD por sus siglas en inglés) para evaluar la agrobiodiversidad a escala de país, planteando indicadores que evalúan la diversidad de alimentos, especies y variedades; la diversidad funcional como la polinización, del suelo, plantas cultivadas y animales de cría; y la diversidad genética de plantas y animales con el apoyo del conocimiento etnobotánico de las comunidades (Bioversity International, 2019; de Boef et al., 2012; Sthapit et al., 2017).

A una escala de finca, Leyva & Lores (2012, 2018) proponen cuatro indicadores relacionados con la biodiversidad de especies para la alimentación humana y animal, de microorganismos y complementaria no relacionadas con la nutrición. Los cuales se integran en 14 indicadores para conformar el *Índice de diversidad del agroecosistema* (IDA).

Vázquez et al., (2014), desde una perspectiva funcional, clasifican los distintos niveles de biodiversidad en el agroecosistema (productiva, asociada, introducida y auxiliar), usando indicadores que valoran los elementos, diseños y manejos del sistema productivo y determinan el *Coficiente de manejo de la biodiversidad* (CMB). Los autores valoran la complejidad de interacciones entre estos componentes, generando un indicador que expresa el número posible de interacciones, llamado *Densidad de interacciones de la biodiversidad de la finca* (DIBF). Finalmente, la suma de estos indicadores expresa el grado de complejidad del sistema de producción a escala de finca, que es comparado con una tabla interpretativa.

Iermanó et al., (2015), también desde lo funcional, elaboraron el *Índice de potencial de regulación biótica* (IRB), que estima indirectamente el potencial de un sistema productivo para autoregularse, a través de distintos indicadores que evalúan prácticas agrícolas que favorecen el control de plagas y enfermedades; incorporando el componente sociocultural de la agrobiodiversidad en su medición.

## La Estructura Agroecológica Principal (EAP)

El análisis de estas propuestas revela que tanto a escala nacional como de finca, se valoran diferentes elementos de la agrobiodiversidad y sus interacciones. No se incluyen aspectos relacionados con la estructura espacial de la agrobiodiversidad en la finca, prácticas de conservación o cómo los diferentes componentes de la agrobiodiversidad son afectados por las características culturales de sus propietarios. Estos cobran mayor importancia, considerando que los procesos funcionales al interior de los agroecosistemas y su capacidad para generar beneficios al productor y la sociedad dependen de las relaciones entre la matriz de paisaje y la finca, cuya estructuración y planificación dependen de las decisiones del productor.

Respondiendo a este vacío de información, se encuentra el Índice de la Estructura Agroecológica Principal (EAP), formulado por León-Sicard (2010; 2014), León-Sicard et al., (2018) y redefinido por León-Sicard (2021), como un descriptor ambiental de la configuración espacial, estructural y cultural de la agrobiodiversidad en las fincas o agroecosistemas mayores<sup>20</sup>.

La EAP incluye cinco criterios de orden ecológico en su valoración, expresados a través de métricas de distancia y densidad de conectores biológicos en proximidades y al interior de la finca, así como su riqueza y estructura florística. Incluye otros cinco criterios de tipo cultural, que evalúan las prácticas agrobiodiversas o no del sistema productivo y de conservación, para expresar cómo la agrobiodiversidad se articula con distintos factores

---

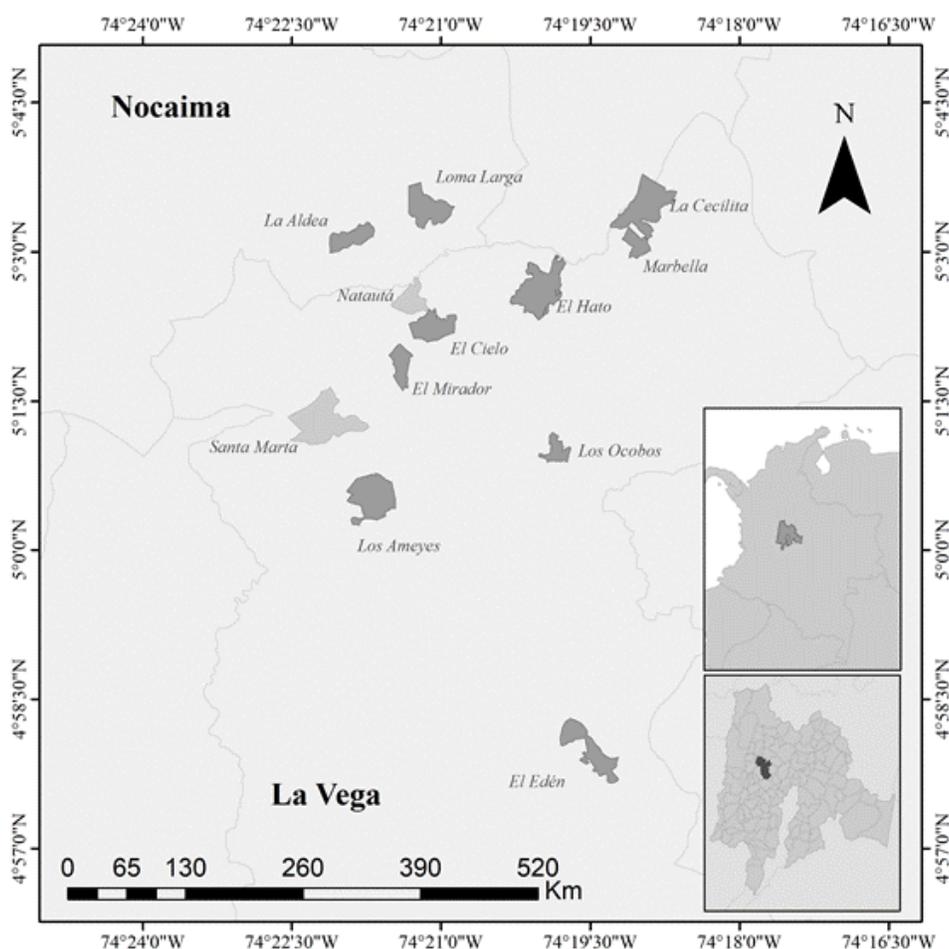
<sup>20</sup> *Agroecosistema mayor* es un término empleado por León-Sicard (2021) para diferenciar las fincas de producción agraria (caracterizadas por derechos de propiedad definidos en cada país y que permiten las decisiones de particulares) de aquellas áreas de cultivos, sitios forestales o praderas para ganadería, dentro de las fincas, que constituyen los *agroecosistemas menores*.

sociales, económicos y tecnológicos, que pueden ser considerados como sus dimensiones culturales (ver nota 2).

## 1.4 Planteamientos metodológicos de la investigación

### 1.4.1 Caracterización del agropaisaje de estudio

Los agroecosistemas de estudio se encuentran en zona veredal de los municipios de La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia), vertiente occidental de la cordillera oriental de los Andes ( $4^{\circ}57'$  y  $5^{\circ}37'$  N -  $74^{\circ}16'$ - $18'$  W), a 54 km de Bogotá (Figura 1-2). La región posee una temperatura media anual de  $22$ - $24^{\circ}\text{C}$  y precipitación media anual de  $1.200$ - $1.400$  mm, siendo octubre, noviembre y diciembre los meses más lluviosos del año (Municipio de La Vega, 2020).



**Figura 1-2:** Localización de agroecosistemas de estudio (Elaborada por Xiomara Daza-Cruz).

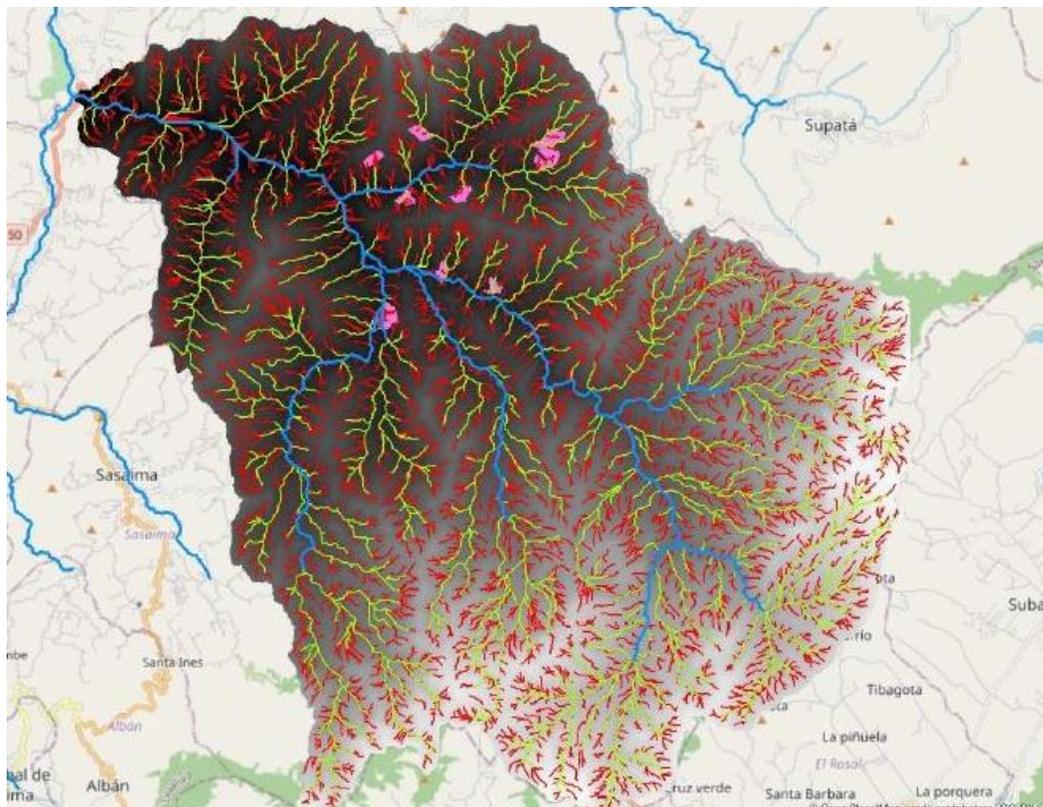
La región se clasifica como paisaje de montaña, formado por crestones, espinazos y laderas, enmarcados, geológicamente, entre el Anticlinorio de Villeta y el Sinclinorio de la Sabana de Bogotá, bajo rocas sedimentarios del Cretáceo Superior, siendo los Grupos Villeta y Guadalupe y la Formación Guaduas los más representativos (IGAC, 1985a,b; CAR, 2014) (Figura 1-3).



**Figura 1-3:** Vista geomorfológica de la región de estudio, entre el Anticlinorio de Villeta (en primer y segundo plano) y el Sinclinorio de la Sabana de Bogotá (en tercer plano). Se muestra en la imagen el municipio de La Vega (Archivo propio).

Territorialmente pertenece a la Provincia Hídrica del Gualivá, en la Cuenca de los ríos Tobia-Tabacal, la cual recibe 30 tributarios principales, a su vez alimentados por centenas de nacimientos, para tributar aguas abajo a la cuenca de primer orden del río Magdalena (CAR, 2009; Moya, 2017) (Figura 1-4). Desde el punto de vista biogeográfico, la provincia se constituye en un corredor biológico, en sentido norte-sur, que conecta relictos de bosques de alta montaña, presentes en la sabana de Bogotá, hacia el valle del río Magdalena, clasificados como bosques tropicales húmedos y muy húmedos (bh-PM y bmh-PM) según Holdridge (IGAC, 1985b; Drews et al., 2019).

La constitución parental del suelo (areniscas, arcillolitas, lutitas, sobre suelos inseptisoles) y las fuertes pendientes del terreno, que oscilan entre el 25 y 95%, generan frecuentes procesos de desprendimiento en masa, lo que le imprime a la región una vocación de uso del suelo para la conservación, armonizada con producción agropecuaria tradicional.



**Figura 1-4:** Modelo preliminar de la Cuenca de los ríos Tobia-Tabacal, representando la ubicación de las fincas de estudio (Fuente: Rodríguez, 2021).

Se producen alimentos de clima templado (arriba de 1.600 m) como café, hortalizas y verduras y de clima cálido (abajo de 1.600 m) como plátano, yuca, caña de azúcar, mango, mandarina y naranja, entre otros (CAR, 1985; Municipio de La Vega, 2020). Sin embargo, como un proceso histórico, se desarrolla la ganadería de ladera en pequeña y mediana escala<sup>21</sup>, tanto en levante como de leche. Según cifras locales, existen 7.500 UG en La Vega y 2.080 en Nocaima (Gobernación de Cundinamarca, 2016; Municipio de La Vega, 2020).

La mayoría de la población rural descende de las primeras familias de colonos que arribaron durante la bonanza del café, pero en épocas recientes, ante la ausencia de mano de obra local, han llegado muchos jornaleros de otros municipios del departamento y Boyacá. Adicionalmente, se han establecido neorrurales y turistas de segunda vivienda, provenientes, principalmente, de la capital del país (Daza-Cruz, 2020; Orlando Niño, com. pers.).

---

<sup>21</sup> Para la región, una ganadería a pequeña escala equivale a un hato de 1-10 UG y de mediana escala entre 10-100 UG (Orlando Niño, Secretaria de Productividad y competitividad de la Alcaldía de La Vega).

Estas características hacen del agropaisaje una matriz relativamente compleja de fincas ganaderas, medianamente arborizadas, minifundios campesinos y predios de esparcimiento, que combinan varios usos agrícolas y coberturas, en una compleja diversidad cultural.

### 1.4.2 Criterios para la selección de las fincas de estudio

Para construir el sistema de estudio fue necesario establecer un conjunto de criterios para responder las preguntas de investigación, a partir de un conocimiento general sobre los escarabajos coprófagos y aspectos de manejo del sistema productivo (Tabla 1-2).

**Altitud:** ubicadas entre 1.000-1.500 m, para evitar comparar comunidades con asociaciones geográficas diferentes (Tabla 1-2). Según Escobar et al., (2005; 2006) la fauna de escarabajos coprófagos presente en la cordillera oriental de los Andes colombianos experimenta la mayor riqueza en altitudes intermedias, entre 1.000- 1.600 m, la composición de los ensamblajes cambia a lo largo de un eje altitudinal de pocos km y entre los 1.500 y 1.750 m existe un recambio en su composición faunística.

**Suelos:** seleccionadas dentro de la unidad de mapeo Asociación MPVf con suelos *Humic Dystrudept* y *Typic Hapludand* (IGAC, 1985b). Son suelos profundos a ligeros, bien a excesivamente drenados, con texturas finas a medias, reacción ácida y fertilidad baja (Tabla 1-2). Según Lumaret & Kirk (1991) y Osberg et al., (1994), las características físicas del suelo son un factor clave en su distribución local y regional. Un buen drenaje es fundamental para los procesos de nidificación de especies tuneleras, cuyas crías pueden sufrir alta mortalidad en suelos encharcados periódicamente. La relación arcillas/arenas/limos determina el patrón de nidificación en ciertas especies.

**Unidades de Producción Agrícola-UPA:** son unidades de planificación productiva o territorial, a escala local, donde sus propietarios toman las decisiones y se realizan acciones concretas para el manejo, uso y conservación de la agrobiodiversidad, que tienen, en conjunto, una incidencia a escala del paisaje (Hart, 1985; Lozano-Zambrano, 2009; León-Sicard, 2021). Se rechazaron “pastos en arrendamiento” o coberturas vegetales sin un propietario reconocido.

**Área de las fincas:** con áreas entre 15-68 ha dedicadas a uso productivo ganadero, evitando incluir sistemas porcinos que fertilizaran con porquinaza, por la posibilidad de interferencia del olor del cebo durante el muestreo.

**Número de unidades ganaderas:** con 25-100 UG, cobijando las fincas de mediana escala, para observar suficiente actividad funcional y las respuestas observadas de acuerdo a las hipótesis planteadas.

Para ello, se contactaron funcionarios de las Secretarías de Productividad y Competitividad o Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATAs) de los municipios de La Vega, Nocaima, Sasaima, Villeta, Útica y Quebranegra (dentro de la Provincia de Gualivá) para establecer el enlace con los propietarios de los agroecosistemas preseleccionados. Se realizaron 26 visitas de inspección, seleccionando 10 agroecosistemas localizados en La Vega y Nocaima.

**Tabla 1-2:** Características de las fincas seleccionadas (Fuente: elaboración propia con el apoyo técnico del agrólogo Tomás León-Sicard).

Finca	Municipio	Localización geográfica	Área (ha)	Altitud (m)	Características del suelo (Horizonte Ap)	Especies forrajeras	UG	Raza	Propósito
Loma Larga	Nocalima	5°03'19,4" N 74°21'09,9" W	39,8	1.100-1.300	Color en húmedo: 10 YR 3/3 (pardo a pardo oscuro) Grasor: 20 cm Estructura: moderada a débilmente desarrollada, bloques subangulares medios a gruesos Porosidad: regulares poros medios Textura: franco arcillosa arenosa Consistencia: ligeramente pegajoso y plástico Reacción al NAF: negativa	Brachiaria ( <i>Urochloa decumbens</i> ) Pasto estrella ( <i>Cynodon plectostachyus</i> ) Leucaena ( <i>Leucaena leucocephala</i> ) Maní forrajero ( <i>Arachis pintoi</i> ) King grass ( <i>Pennisetum purpureum</i> )	90-100	Brangus	Cría y levante
La Aldea	Nocalima	5°03'10,55" N 74°21'5,85" W	23,76	1.100-1.300	—	Brachiaria Pasto estrella	40-50	Cebú	Levante
El Cielo	La Vega	5°02'15,8" N 74°21'53,3" W	32,77	1.150-1.350	—	Brachiaria	25-30	Cebú	Levante
El Mirador	La Vega	5°1'46,2" N 74°21'23" W	19,84	1.100-1.250	Color en húmedo: 10 YR 2/3 Grasor: 68 cm Estructura: medianamente desarrollada Porosidad: poros finos Textura: franco limosa Consistencia: ligeramente pegajoso y plástico Reacción al NAF: negativa	Brachiaria	25-30		Levante
Los Ameyes	La Vega	5°00'43,0" N 74°21'37,9" W	68,02	1.000-1.100	Color en húmedo: 10 YR 3/2 - 3/3 Grasor: 60 cm Estructura: moderada a fuerte desarrollada, bloques subangulares medios a gruesos Porosidad: regulares poros medios Textura: franco arcillo limoso Consistencia: ligeramente pegajoso y plástico Reacción al NAF: negativa	Brachiaria Nacedero ( <i>Trichantera gigantea</i> )	50-70	Brahman	Levante
Los Ocobos	La Vega	5°01'00,8" N 74°19'40,8" W	14,92	1.250-1.350	Color en húmedo: 10 YR 4/3 Grasor: 20 cm Estructura: desarrollada, bloques subangulares gruesos Textura: franco limosa Consistencia: moderadamente pegajoso, ligeramente plástico Reacción al NAF: negativa	Brachiaria King grass	25-30	Cebú	Cría y levante
El Hato	La Vega	5°2'32,00" N 74°20'1,8" W	59,95	1.200-1300	—	Brachiaria King grass	70-80	Brahman Angus	Levante
El Eden	La Vega	4°58'14,6" N 74°19'38,6" W	42,4	1.400-1.500	—	Brachiaria	30-40		Levante
Marbella	La Vega	5°3'04,4" N 74°19'03,5" W	15,02	1.100-1.230	Color en húmedo: 10 YR 3/3 Grasor: 26 cm (previo mantillo de 15 cm) Estructura: Débil a desarrollada, estructura migajosa Textura: franco limosa Consistencia: Poco plástico, poco pegajoso Reacción al NAF: negativa	Brachiaria King grass Caña de azúcar	30-40	Cruces entre Brahman, Cebú, Blanco Orejinegro Normando	Cría y levante
La Cecilita	La Vega	5°0'3'22,4" N 74°18'52,4" W	59,42	1.100-1.250	—	Brachiaria	40-50	Cebú Brahman	Levante

### 1.4.3 Metodología general de la investigación

En cada uno de los capítulos de investigación en que se divide esta tesis doctoral, se describe con detalle la metodología específica para responder las preguntas de investigación, planteadas dentro de los objetivos 1 a 5 (Figura 1-5).

Para el desarrollo de esta investigación se usaron métodos tanto cuantitativos como cualitativos.

Los métodos y herramientas de investigación cuantitativas para la colecta de los datos, fueron los siguientes:

- . Fotogrametría y fotointerpretación, con el uso drones y sistemas de información geográfica (SIG); para valorar coberturas y su configuración espacial (métricas del paisaje) dentro y alrededor de los agroecosistemas (presentados en el Capítulo 3).
- . Caracterizaciones florísticas y estructurales de la vegetación y faunísticas presentes en los conectores biológicos y los sistemas productivos de los agroecosistemas (escarabajos coprófagos), usando parcelas de vegetación y trampas de caída con cebo; para evaluar los diferentes atributos de las comunidades biológicas (Capítulos 3 y 4).
- . Evaluaciones climáticas locales, usando sensores (data loggers); para observar el comportamiento de la temperatura y humedad a lo largo del día (Capítulo 4).
- . Experimentos semicontrolados con masas fecales bovinas de peso conocido, conteo y caracterización de boñigas y análisis químicos y biológicos de suelos (Capítulos 5 y 6).

Los métodos de investigación cualitativos fueron los siguientes:

- . Grupos de discusión, consulta a especialistas, entrevistas semi-estructuradas, observación directa, anotación en cuaderno de campo y cartografía participativa (todos los capítulos).
- . Análisis de Sistemas Complejos (Matriz de Estructura de Diseño) (Capítulo 3).

Los métodos y herramientas de investigación cuantitativos para el análisis de datos y obtención de la información, fueron los siguientes:

- . Índices de diversidad, representatividad del muestreo, estadística descriptiva (análisis de tendencia central y dispersión absoluta), análisis de contraste de hipótesis (ANOVAs y MANOVA), correlaciones lineales, análisis multivariados y modelación lineal, usando diferentes software estadísticos (Capítulos 4, 5 y 6).



#### 1.4.4 Limitaciones del estudio

**Realización parcial de los sobrevuelos aéreos en el total de las áreas de estudio;** debido de las dificultades topográficas, de acceso y clima de la zona y restricciones técnicas del equipo, se perdieron dos drones, lo que dificultó sobrevolar ciertas áreas de influencia de las fincas El Hato, La Cecilita, El Edén y Loma Larga y obtener las fotografías aéreas para interpretar sus coberturas y realizar las métricas del paisaje, necesarias para la descripción de la EAP. Para estos casos, fue necesario usar imágenes satelitales de menor resolución, lo que pudo haber limitado la precisión para interpretar correctamente los límites físicos de las coberturas boscosas alrededor de las fincas.

**Periodo prolongado en la caracterización de la fauna de escarabajos coprófagos:** debido a la ausencia de línea base de conocimiento faunístico de la zona, la perspectiva de agroecosistema del estudio (más que paisaje) y las dificultades logísticas (de acceso y disponibilidad del cebo) fue necesario prolongar el muestreo de escarabajos coprófagos a más de un año, muestreando un par de fincas mensualmente. Aunque se evitó muestrear los meses más secos del año (ver Capítulo 3), el efecto de la precipitación diferencial pudo afectar la abundancia y biomasa de las especies entre y dentro de las coberturas a lo largo del estudio.

**Limitación en el uso de las colecciones de referencias para confirmación de identidad de algunas especies:** debido a la crisis sanitaria mundial, ocasionada por el virus SARS Covid 19, fue imposible acceder recientemente a las colecciones de referencia de escarabajos del Instituto Alexander von Humboldt (Villa de Leyva) y del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Aunque la autora reconoce las especies de la zona, algunos ejemplares requieren identificación con colección y confirmación con especialista para tener el listado definitivo y fotográfico de las especies colectadas.

**Realización no simultánea del experimento de incorporación del estiércol bovino en el suelo en todas fincas:** debido a la necesidad de eliminar a una de las fincas (La Cecilita) de los estudios de evaluación de actividad funcional, realizado en el 2019, fue necesario incluir otra finca (El Edén), que solo pudo ser muestreada en el 2021, por la llegada del COVID-19. Aunque el muestreo fue realizado en el mismo periodo de lluvias que en las otras fincas (noviembre-diciembre) pudo existir algún sesgo, no observado, que pudiera modificar parcialmente los resultados.

**Recursos económicos limitados para un número mayor de muestras de suelo:** la falta de financiación para cubrir los estudios de suelos en el laboratorio limitó el número de muestras. Un número mayor de ellas, tomadas en otros potreros y a diferentes tiempos de acción biológica del sustrato en el suelo, brindaría un panorama más regional y temporal del efecto de los escarabajos coprófagos en la modificación de las propiedades químicas y biológicas del suelo, en la finca Loma Larga o en otras fincas.

---

## 1.5 Bibliografía

Acevedo-Osorio, A. & Chohan, J. (2019). Agroecology as social movement and practice in Cabrera's peasant reserve zone, Colombia. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 4, 331-351.

Adler, N.; Bachmann J.; Blanckerhorn, W.U.; Floate, K.; Jensen, J. & Rombke, J. (2015). Effects of Ivermectin application on the diversity and function of dung and soil fauna: regulatory and scientific background information. *Environmental Toxicology and Chemistry* 9999, 1-10.

Altieri, M. (1989). Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 27, 37-46.

Amat, G.; Lopera, A. & Amézquita, S. (1997). Patrones de distribución de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) en relictos de bosque altoandino, Cordillera Oriental de Colombia. *Caldasia* 19(1-2), 191-204.

Amend, T.; Brown, J.; Khotari, A.; Phillips, A. & Stolton, S. (2008). Protected landscapes and agrobiodiversity values. Vol 1. *Protected Landscapes and Seascapes*. IUCN & GTZ. Kasparkev Verlag, Heidelberg.

Andresen, E. (2003). Effect of forest fragmentation on dung beetles communities and functional consequences for plant regeneration. *Ecography* 26, 87-97.

Andresen, E. & Feer, F. (2002). The role of dung beetle as secondary seed dispersers and their effect on plant regeneration in tropical rainforest. En: Forget, P-M., Labert, J.E.; Hulme, J.E.; van der Wallm S.B. (Eds.) *Seed fate. Predation, dispersal and seedling establishment*. (pp. 331-350). CABI Publishing, Cambridge.

Ángel, A. (1993). *La trama de la vida. Bases ecológicas del pensamiento ambiental*. Serie Ecosistema y Cultura No 1. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. Ministerio de Educación Nacional, Bogotá.

Ángel, A. (1995). *La tierra herida. Las transformaciones tecnológicas del ecosistema*. Serie documentos especiales No 2. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales. Ministerio de Educación Nacional, Bogotá.

Ángel, A. (1996). *El reto de la vida. Ecosistema y cultura. Una introducción al estudio del medio ambiente*. Serie: Construyendo el futuro No. 4. Ecofondo, Bogotá.

Ángel, A. (2000). *La aventura de los símbolos. Una visión ambiental de la historia del pensamiento*. Ecofondo, Bogotá.

Ángel, A. (2003). *La diosa Némesis: desarrollo sostenible y cambio cultural*. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Cartographics S.A., Cali.

Armenteras, D.; Gast, F. & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113, 245-256.

Audino, L.; Luozada, J. & Comita, L. (2014). Dung beetles as indicators of tropical forest restoration success: It is possible to recover species and functional diversity? *Biological Conservation* 169, 248-257.

Barragán, F.; Moreno, C.E.; Escobar, F.; Halffter, G. & Navarrete, D. (2011). Negative impacts of human land use on dung beetle functional diversity. *PLoS ONE* 6(3): e17976. doi:10.1371/journal.pone.0017976

Bellwood, D.R.; Streit, R.P.; Brandl, S. & Tebbet, S.B. (2018). The meaning of the term 'function' in ecology: A coral reef perspective. *Functional Ecology*. doi: 10.1111/1365-2435.13265

Beynon, S.; Wainwright, D.A. & Christie, M. (2015). The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles to the U.K. cattle industry. *Ecological Entomology* 40, 124-135.

Biodiversity International. (2019). *Agrobiodiversity Index Report 2019: Risk and Resilience*. Rome: Biodiversity International. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/100820>

Borras, S.M.; Franco, J.; Kay, C. & Spoor, M. (2011). *El acaparamiento de tierras en América Latina y el Caribe visto desde una perspectiva internacional más amplia*. FAO, Roma.

Bornemissza, G. (1976). *The Australian dung beetle project 1965-1975*. Australian Meat Research Committee Report, Canberra.

Bornemissza, G. & Williams, C.H. (1970). An effect of dung beetle activity on plant yield. *Pedobiologia* 10, 1-7.

Bustamante, C. & Rojas-Salazar, L. (2018). Reflexiones sobre transiciones ganaderas bovinas en Colombia, desafíos y oportunidades. *Biodiversidad en la Práctica* 3(1), 1-29.

Calle-Collado, A.; Gallar, D. & Candón, J. (2013). Agroecología política: La transición social hacia sistemas agroalimentarios sustentables. *Revista Economía Crítica* 16, 244-277.

Campbell, J.B.; Skoda, S.R.; Boxler, D.J. & Thomas, G.D. (2001). Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gains of grazing yearling cattle. *Journal of Economic Entomology* 94(3), 780-783.

Capra, F. (1998). *La trama de la vida*. Anagrama Editorial, Barcelona.

Carson, R. (1962). *Silent spring*. Crest Books, Fawcet World Library, New York.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR (2009). *Estado de los recursos naturales y del ambiente de Cundinamarca*. Contraloría de Cundinamarca, Bogotá.

---

Corrales, E.C. (2002). Transformaciones socioeconómicas y situación de la biodiversidad en los Andes colombianos, desde el período prehispánico. Cuadernos de Desarrollo Rural 49, 85-163.

Córdoba-Vargas, C.; Triviño, C. & Toro-Calderón, J. (2020). Agroecosystem resilience. A conceptual and methodological framework for evaluation. PLoS ONE 15(4): e0220349. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0220349>

Cruz, M.; López-Callado, J.; Vargas-Mendoza, M.; González-Hernández, H. & Perilla, F. (2011). Effect of ivermectin on the survival and fecundity of *Euoniticellus intermedius* (Coleoptera: Scarabaeidae). Revista de Biología Tropical 60(1), 333-345.

Cultid-Medina, C.A. & Escobar, F. (2016). Assessing the ecological response of dung beetles in a agricultural landscape using number of individuals and biomass in diversity measures. Environmental Entomology, 1-10. doi:10.1093/ee/nvv219

Cummings, J. R. & Vessey, S. H. (1994). Agricultural influences on movement patterns of white-footed mice (*Peromyscus leucopus*). The American Midland Naturalist, 132(2), 209–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2426575>

Davis, A.L.; Scholtz, C.H.; Dooley, P.W.; Bham, N. & Kryger, U. (2004). Scarabaeine dung beetles as indicators of biodiversity, habitat transformation and pest control chemicals in agroecosystems. South African Journal of Science 100, 416-423.

Davis, A.J.; Holloway, J.D.; Huibregts, H.; Krikken, J.; Kirk-Spriggs & Sutton, S.L. (2001). Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. Journal of Applied Ecology 38, 593-616.

Daily, G.C.; Alexander, S.; Ehrlich, P.; Goulder, L.; Lubchenco, J.; Matson, P.A.; Mooney, P.A.; Postel, S.; Schneider, S.H.; Tilman, D. & Woodwell, G.M. (1997). Ecosystems services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. Issues in Ecology 4, 1-16.

Daza-Cruz, Y.X. (2020). Apropiación humana de la productividad primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional. Tesis de Maestría en Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

De Boef, W. S.; Thijssen, M. H.; Shrestha, P.; Subedi, A.; Feyissa, R.; Gezu, G.; Canci, A.; da Fonseca, M. A. J.; Dias, T.; Swain, S. & Sthapit, B. R. (2012). Moving beyond the dilemma: Practices that contribute to the on-farm management of agrobiodiversity. Journal of Sustainable Agriculture 36(7), 788-809. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.695329>

Delgado-Rozo, J.D. (2015). Nuestras pobres vacas de otros tiempos. En: Gallini, S. (Ed.) Semillas de historia ambiental. Perspectivas ambientales. (pp. 183-214). Jardín Botánico José Celestino Mutis. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

De Moura, R.; Noriega, J.; Serpa, R.A.; Vaz-de-Mello, F. & Klemann, Jr. L. (2021). Dung

beetles in a tight-spot, but not so much: Quick recovery of dung beetle assemblages after low-impact selective logging in Central Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 494, 119301. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119301>

Departamento Nacional de Estadística -DANE (2016). 3er Censo Nacional Agropecuario. Tomo 2. Resultados. Disponible en: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)

Díaz, S. & Cabido, M. (2001). Vive la différence: plant functional diversity processes. *Trends in Ecology and Evolution* 16(11), 646-655.

Drews, D.; Santamaría, M.; Durana, C. & Hernández, M. (2019). La Laja. Un núcleo de conservación entre las nubes. En: Matallana, C.; Ariza, A.; Silva, A.; Galán, S.; Solano, C. & Rueda, A.M (Eds.). *Voces de la gestión territorial. Estrategias complementarias para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. (pp. 231-237). Instituto Alexander von Humboldt. Fundación Natura, Bogotá.

Duque-Vélez, P.; Oliveira-Rangel, M. & Wolff, M. (2022). Sylvopastoral systems as an alternative for conservation of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a cattle landscape in Caucasia Colombia. *Caldasia* 44(1), <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v44n1.83102>

Escobar, F. & Chacón-de-Ulloa, P. (2000). Distribución espacial y temporal en un gradiente de perturbación de la fauna de coleópteros coprófagos (Scarabaeidae, Aphodiinae) en la Reserva Natural La Planada, Nariño, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 48 (4), 961-975.

Escobar, F.; Lobo, J. & Halffter, G. (2005). Altitudinal variation of dung beetle (Scarabaeidae: Scarabaeinae) assemblages in the Colombian Andes. *Global Ecology and Biogeography* 14, 327-337.

Escobar, F.; Lobo, J. & Halffter, G. (2006). Assessing the origin of Neotropical mountain dung beetle assemblages (Scarabaeidae: Scarabaeinae): The comparative influence of vertical and horizontal colonization. *Global Ecology and Biogeography* 33, 1793-1803.

Ehrlich, P.R. & Ehrlich, A.H. (1987). *Extinción I*. Salvat Editores, Barcelona.

Etter, A. (2015). La transformación del uso de la tierra y los ecosistemas el periodo colonial en Colombia (1500-1800). En: Roca, A.M. & Ramírez, M.T. (Eds.). *La economía colonial de la Nueva Granada*. (pp. 62-99). FCE Banco de la República, Bogotá.

Feller, C.; Blanchart, E.; Bernoux, M.; Lal, R. & Manlay, R. (2012). Soil fertility concepts over past two centuries: the importance attributed to soil matter in developed and developing countries. *Archives of Agronomy and Soil Science* 58(S1), 3-21.

Flórez-Malagón, A. (2008). Ganado, ¿para qué? Usos del ganado en Colombia. En: Flórez-Malagón, A. (Ed.). *El poder de la carne. Historias de ganaderías en la primera mitad del siglo XX*. (pp. 118-163). Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

---

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2016). A review of indicators and methods to assess biodiversity. Application to livestock production at global scale. Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership, Roma.

Francis, C.; Lieblein, G.; Gliessman, S.; Breland, T.A.; Creamer, N.; Harwood, R.; Salomonsson, L.; Helenius, J.; Rickerl, D.; Salvador, R.; Wiedehoeft, M.; Simmons, S.; Allen, P.; Altieri, M.; Flora, C. & Poincelot, R. (2003). Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 22(2), 99-118.

Franco-Valencia, M. & Sánchez, M. (2018). Life plan for the Yaquivá indigenous reservation in the municipality of Inza, Cauca Colombia, from the perspective of Agroecology. *Agronomía Colombiana* 36(2), 143-151.

Gill, B. (1991). Dung beetles in tropical American forest. En: Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds.). *Dung Beetle Ecology*. (pp. 211-229). Princeton University Press, Princeton.

Giraldo, C.; Escobar, F.; Chará, J.D. & Calle, Z. (2011). The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4, 115-122.

Gliessman, S. (2013). Agroecología: Plantando las raíces de la resistencia. *Agroecología* 8(2), 19-26.

González-Ordóñez, H. (1989). Tenencia de la tierra en La Vega - Cundinamarca 1600-1980. Tesis de Maestría en Historia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Gobernación de Cundinamarca (2016). Estadísticas Agropecuarias. Vol. 25. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá.

Halffter, G. & Matthews, E.G. (1966). The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana* 12/14, 1-312.

Halffter, G. & Edmonds, D. (1982). The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecological and evolutive approach. *Man and the Biosphere Program UNESCO*, México D.F.

Halffter, G. & Favila, M. (1993). The Scarabaeinae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analyzing, inventorying and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes, *Biology International* 27, 15-21.

Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds.). *Dung Beetle Ecology*. Princeton University Press, Princeton.

Hart, R. (1985). Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.

Harvey, C.; Komar, O.; Chazdon, R.; Ferguson, B.; Finegan, B.; Griffith, D. M.; Martínez-Ramos, M.; Morales, H.; Nigh, R.; Soto-Pinto, L.; van Breugel, M. & Wichnie, M. (2008).

Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation Biology* 22(1), 8-15.

Herrero, M.; Thornton, P.K.; Gerber, P. & Reid, R.S. (2008). Livestock, livelihoods and environment: understanding the trade-offs. *Environmental Sustainability* 1(2), 111-120.

Herrick, J.E & Lal, R. (1996). Dung decomposition and pedoturbation in a seasonally dry tropical pasture. *Biology and Fertility Soils* 23, 177–181.

Holter, P. (1979). Effect of dung beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. *Oikos* 32(3), 393-402.

Hurtado, C. (2018). Políticas, marcos legales y mecanismos de acaparamiento de tierras en Colombia. Tesis de Doctorado. Departamento de Economía y Ciencias Sociales. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP & Cancillería (2018). Segundo informe bienal de actualización de Colombia a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, Bogotá. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM\\_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54](http://www.ideam.gov.co/documents/24277/77448440/PNUD-IDEAM_2RBA.pdf/ff1af137-2149-4516-9923-6423ee4d4b54)

Iermanó, M.J.; Sarandón, S.J.; Tamagno, L.N. & Maggio, A.D. (2015). Evaluación de la agrobiodiversidad funcional como indicador del "potencial de regulación biótica" en agroecosistemas del sudeste bonaerense. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de La Plata* 114, 1-14.

Iglesias, I.E.; Saumell, C.A.; Fernández, A.S.; Fusé, L.A.; Lifscitz, A.I.; Rodríguez, E.M.; Steffan P.E. & Fiel, C.A. (2006). Environmental impact of ivermectin excreted by cattle treated in autumn on dung fauna and degradation of faeces on pasture. *Parasitological Reserach* 100, 93-102.

Instituto Alexander von Humboldt-IAvH (2019). Escarabajos y sostenibilidad del paisaje ganadero. Reporte del estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Capítulo 4, Ficha técnica 403. Disponible en: <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap4/403/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (1985a). Estudio general de suelos y zonificación de Tierras. Departamento de Cundinamarca. Tomo I, Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (1985b). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Cundinamarca. Tomo II, Bogotá.

Jackson, L.E.; Pascual, U. & Hodgkin, T. (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 121, 196-201.

Johnson, K.A. & Johnson, D.E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73,2483-2492.

Jonsson, N.N. & Mayer, D.G. (1999). Estimation of the effects of buffalo fly (*Haematobia*

*irritans exigua*) on the milk production of dairy cattle based on a meta-analysis of literature data. *Medical and Veterinary Entomology* 13(4), 372-376.

Kalmonovitz, S. (2015). La agricultura del siglo XX. En: Kalmonoviiz, S. (Ed.). Breve historia económica de Colombia. [Recurso electrónico]. Utadeo, Bogotá.

Karr, J. R. (1993). Defining and assesing ecological integrity: beyond water quality. *Environmental Toxicology and Chemistry* 12, 15121-1513.

Klein, B. (1989). Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in central Amazonia. *Ecology* 70, 1715-1725.

Kuper, A. (1999). *Cultura. La versión de los antropólogos*. Editorial Paidós, Barcelona.

Kumaraswamy, S. (2012). Sustainability issues in agroecology: Socio-ecological perspective. *Agricultural Sciences* 3, 153-169.

Laliberte, E.; Wells, J. A.; Declerck, F.; Metcalfe, J. D.; Catterall, C. P.; Queiroz, C.; Aubin, I.; Bonser, S. P.; Ding, Y.; Fraterrigo, J. M.; Mcnamara, S.; Morgan, J. W.; Merlos, D. S.; Vesk, P. A. & Mayfield, M.M. (2010). Land-use intensification reduces functional redundancy and response diversity in plant communities. *Ecology Letters* 13, 76-86.

Lavelle, P. & Spain, A. (2001). *Soil ecology*. Kluwer Academic Publisher, New York.

León-Sicard, T. (2010) Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. En: Altieri, M. & León-Sicard, T. (Ed.). *Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y aplicaciones*. (pp. 45-68). Sociedad Latinoamericana de Agroecología, Medellín.

León-Sicard, T. (2014). Perspectiva ambiental de la agroecología. La ciencia de los agroecosistemas. IDEAS - UNAL, Bogotá.

León-Sicard, T. (2019). La dimensión simbólica de la agroecología. *Rev. FCA Uncuyo*, 51(1), 395-400.

León-Sicard, T. (2021). La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas. Perspectivas teórico-prácticas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

León-Sicard, T. E.; Calderón, J. T.; Martínez-Bernal, L. F. & Cleves-Leguízamo, J. A. (2018). The Main Agroecological Structure (MAS) of the agroecosystems: Concept, methodology and applications. *Sustainability* 10(9). <https://doi.org/10.3390/su10093131>

Li, W.; Lei, Q.; Yen, H.; Wollheim, W.M.; Zhai, L.; Hu, W.; Zhang, L.; Qiu, W.; Luo, J.; Wang, H., Ren, t. & Liu, H. (2020). The overlooked role of diffuse household livestock production in nitrogen polluton at the watershed scale. *Journal of Cleaner Production* 272, 122758. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122758>

Loreau, M.; Naem, S.; Inchausti, P.; Grime, J. P.; Hector, A.; Hooper, D. U.; Huston, M. A.;

Rafaelli, D.; Schimid, B., Tilman, D. & Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science* 294, 804-808.

Losey, J. E. & Vaughan, L. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience* 56(4), 311-323.

Lozano-Zambrano, F. H. (Ed.) (2009). Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Bogotá.

Lumaret, J.P. & Kirk, A.A. (1991). South temperate dung beetles. En: Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds.). *Dung Beetle Ecology*. (pp. 98-115). Princeton University Press, Princeton.

Mahecha, L.; Gallego, L.A. & Peláez, F.J. (2002). Situación de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2), 213-225.

Magurran, A. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Malden.

Madsen, M.; Overgaard-Nielsen, B.; Holter, P.; Pedersen, O. C.; Brochner-Jespersen, J.; Vagn Jensen, K. M.; Nansen, P. & Gronvold, P. (1990). Treating cattle with Ivermectin: effects on the fauna and decomposition of dung pats. *Journal of Applied Ecology* 27(1), 1-15.

Medina, C.A.; Escobar, F. & Kattan, G. (2002). Diversity and habitat use of dung beetles in a restored Andean landscape. *Biotropica* 34(1), 181-187.

Millenium Ecosystem Assesment- MEA (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resource Institute, Washington D.C.

Molina, I. C.; Donney's, G.; Montoya, S.; Rivera, J. E.; Villegas, G.E.; Chará, J. & Barahona, R. (2015). La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano en terneras Lucerna alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*. *Livestock Research and Rural Development* 27, 1-8. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.htm>

Morin, E. (2003). *Introducción al pensamiento complejo*. Editorial Gedisa, Barcelona.

Moya, L.M. (2017). Análisis de las determinantes ambientales en el ordenamiento territorial del Municipio de La Vega, Cundinamarca. Tesis de Especialidad en Ambiente y Desarrollo Local. Facultad de Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

Mucks, R.E. & Richards, B. K. (1983). Losses of manurial nitrogen in free-stall barns. *Agricultural Wastes* 7, 67-79.

Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y

---

alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 15, Article #78. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm>

Murgueitio, E. & Ibrahim, M. (2004). Ganadería y medio ambiente en América Latina. *Memorias del XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal*. pp. 187-292. Universidad Rómulo Gallego, San Juan de los Morros.

Murgueitio, E.; Cuartas, C. & Naranjo, J. (2009). *Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo*. Fundación CIPAV, Cali.

Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F., Calle, A. & Solorio, B. (2010). Native trees for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* doi:10.1016/j.foreco.2010.09.027

Municipio de La Vega. (2018). *Plan municipal para la gestión del riesgo PMGRD*. Informe técnico del Consejo Municipal para la gestión del riesgo de desastres, La Vega.

Municipio de Nocaima. (2012). *Plan municipal de gestión de riesgo de desastres CMGRD*. Informe técnico del Consejo Municipal para la gestión del riesgo de desastres, Nocaima.

Naeem, S.; Chapin, C. F. S. III; Constanza, R.; Ehrlich, P. R.; Golley, F. B.; Hooper, D. U.; Lawton, J. H.; Oneill, R. V.; Mooney, H. A.; Sala, O. E.; Symstad, A. J. & Tilman, D. (1999). La biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas: manteniendo los procesos naturales que sustentan la vida. *Tópicos en Ecología* 4: 1-14.

Neita, J. C. & Escobar, F. (2011). The potential value of agroforestry to dung beetle diversity in the wet tropical forest of the Pacific lowlands of Colombia. *Agroforestry Systems* 85, 121-131.

Noguera, P. (2004). *El reencantamiento del mundo*. Universidad Nacional de Colombia, PNUMA, Manizales.

Noriega, J.; Santos, A. M.; Calatayud, J.; Chozas, S. & Hortal, J. (2021). Short- and long-term temporal changes in the assemblages structure of Amazonian dung beetles. *Oecologia* 195, 719-736.

Osberg, D. C.; Doube, B. M. & Hanrahan, S. A. (1994). Habitat specificity in African dung beetles: The effect of soil type on the survival of dung immatures (Coleoptera: Scarabaeidae). *Tropical Zoology* 7, 1-10.

Penttilä, A.; Slade, E.; Simojoki, A.; Riutta, T.; Minkkinen, K. & Roslin, T. (2013). Quantifying beetle-mediated effects on gas fluxes from dung pats. *PLOS ONE* 8(8): e71454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071454>

Perfecto, I., Vandermeer, J., & Wright, A. (2009). *Nature's matrix: Linking agriculture, conservation and food sovereignty*. Earthscan, London.

Petchey, O. L. & Gaston, L.K. (2006). *Functional diversity: back to basis and looking*

forward. *Ecology Letters* 9, 741-758.

Primavesi, A. (1980). Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. El Ateneo, Buenos Aires.

Pulliam, H. R. (1988). Sources, sinks, and population regulation. *American Society of Naturalists*, 132(5), 652–661. <https://doi.org/10.1126/science.26.678.918>

Quintero, I. & Roslin, T. (2005). Rapid recovery of dung beetle communities following habitat fragmentation in Central Amazonia. *Ecology* 86, 3303-3311.

Quintero, I. & Halffter, G. (2009). Temporal changes in a community of dung beetles (Insecta: Coleoptera: Scarabaeinae) resulting from modification and fragmentation of tropical rain forest. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 25(3), 625-649.

Quintero, I.; Osorio, D.P.; Castillo, R.M. & Higuera, M. (2007). Insectos. En: Villarreal, H. & Maldonado-Ocampo, J.A. (Comp.) Caracterización biológica al sector nor-oriental del Parque Nacional Natural El Tuparro (Vichada, Colombia). (pp. 87-122). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Panamericana Editores, Bogotá.

Raine, E. & Slade, E. (2019). Dung beetle-mammal associations: methods, research trends and future directions. *Proceedings of the Royal Society of London B* 286, 20182002.

Ramírez, G. (2017). Las dinámicas políticas y territoriales de los panches ante la presencia hispana: diálogos entre el registro documental y arqueológico. Tesis de Doctorado en Arqueología. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires.

Rangel-Acosta, J. L.; Martínez-Hernández, N. & Yanoff-Zapata, R. (2020). Respuesta de los escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) a la modificación del hábitat causada por un incendio forestal en la Reserva Bijibana, Atlántico-Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: e912879.

Reyes, A. (2009). Guerreros y campesinos. El despojo de la tierra en Colombia. Editorial Norma, Bogotá.

Rockström, J.; Steffen, W. L.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin, F. S. et al. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14, 2. <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

Sevilla-Guzmán, E. & Soler, M. (2009). Del desarrollo rural a la agroecología. Hacia un cambio de paradigma. *Documentación Social*, 155, 25-41.

Simberloff, D. S., & Abele, L. G. (1976). Island biogeography theory and conservation practice. *Science* 191(4224), 285–286. <https://doi.org/10.1126/science.191.4224.285>

Shanabuddin, Hidayat, P.; Manuwoto, S.; Noerdjito, W.A., Tschardtke, T. & Schulze, C.

(2010). Diversity and body size of dung beetles attracted to different dung types along land-use gradient in Salawesi, Indonesia. *Journal of Tropical Ecology* 26(1), 53-65.

Slade, E. & Roslin, T. (2016). Dung beetle species interactions and multifunctionality are affected by and experimentally warmed climate. *Oikos* doi:10.1111/oik.03207

Spector, S. (2006). Scarabaeinae dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae): An invertebrate focal taxon biodiversity research. *The Coleopterist Bulletin* 5, 71-83.

Steffen, W.L.; Richardson, K.; Rockstrom, J.; Cornell, S.E. et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 6223. <https://dc.doi.org/10.1126/science.1259855>

Sthapit, B.; Gauchan, D.; Joshi, B. K. & Chaudhary, P. (2017). Agrobiodiversity index to measure agricultural biodiversity for effectively managing it. *Proceedings of 2nd National Workshop on CUAPGR, Nepal*.

Sullivan, C.; Slade, E.; Bai, M.; Shi, K. & Riordan, P. (2018). Evidence of forest restoration success and the conservation value of community-owned forest in Southwest China using dung beetles as indicators. *PLoS ONE* 12(11): e0204764.

Swift, M. J.; Izac, A. M. N. & van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 104, 113-134.

Tilman, D. (2001). Functional Diversity. *Encyclopedia of Biodiversity* 3, 109-121.

Tilman, D., Knops, J.; Wedin, D.; Reich, P.; Ritchie, M. & Siemann, E. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystems processes. *Science* 277, 1300-1302.

Tscharntke, T.; Klein, M. A.; Kruess, A.; Steffan-Dewenter, I. & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. *Ecology Letters* 8, 857- 874.

Vázquez, L. L.; Matienzo, Y. & Griffon, D. (2014). Diagnóstico participativo de la biodiversidad en fincas en transición agroecológica. *Fitosanidad* 18(3), 151-162.

Verdú, J.R.; Lobo, J. M.; Sanchez-Piñero, F.; Gallego, B.; Numa, C.; Lumaret, J. P.; Cortez, V.; Ortiz, A. J.; Tonelli, M.; García-Teba, J.; Rey, A.; Rodríguez, A. & Durpan, J. (2018). Ivermectin residues disrupt dung beetles diversity, soil properties and ecosystem functioning. *Science of Total Environment* 618, 219-228.

Villada-Bedoya, S.; Cultid, C. A.; Escobar, F.; Guevara, R. & Zurita, G. (2017). Edge effects on dung beetle assemblages in an Andean mosaic of forest and coffee plantations. *Biotropica* 49(2), 195-205.

Villareal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M. & Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá.

Wenzel, A. & Soldat, V. (2009). A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of Agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7, 3-18.

Wezel, A.; David, C.; Ferrer, A.; Letort, A.; Féret, S.; Peigné, J.; Vian, J. F.; Celette, F. (2014). Agroecological practices supporting the provision of goods and services in agriculture. Examples for France and Europe. ISARA, Lyon.

Wezel, A.; Herren, B.; Bezner, R.; Barrios, E.; Rodrigues, A. L. & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40, 40. doi.org/10.1007/s13593-02000646-z

Wiegand, T.; Moloney, K. A.; Naves, J. & Knauer, F. (1999). Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: A spatially explicit perspective. *American Naturalist*, 154(6), 605–627. <https://doi.org/10.1086/303272>

Wood, S. A.; Karp, D. S.; DeClerck, F.; Kremen, C.; Naem, S. & Palm, C. (2015). Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.013>

Yunlong, C., & Smith, B. (1994). Sustainability in agriculture: A general review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 49, 99–307.

Zapata-Cadavid, A. & Silva-Tapasco, B. E. (2016). *Sistemas silvopastoriles. Aspectos teóricos y prácticos* CARDER-CIPAV. Fundación CIPAV, Cali.

Zuluaga, J. C. & Cobo, V. (2021). Acción colectiva y representación gremial: el caso de la Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca. *América Latina en la Historia Económica* 28(1), 1-3.

## **2. La Estructura Agroecológica Principal: un índice para evaluar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas**

### **Resumen**

La agrobiodiversidad es un atributo fundamental para garantizar la sustentabilidad y resiliencia de los agroecosistemas, por lo que es necesario formular métricas que permitan evaluarla nivel de finca. Durante esta investigación se realizó una revisión y re-estructuración de los criterios propuestos dentro del índice de la Estructura Ecológica y Principal, planteado por León-Sicard (2014; 2021). Se construyeron 29 indicadores, incluidos dentro de 10 criterios para describir la agrobiodiversidad de los agroecosistemas. Se presentan metodologías para su evaluación y discute la flexibilidad de la propuesta para modificar o adaptar ciertos indicadores de acuerdo a los contextos ecológicos y culturales donde se localicen los agroecosistemas o completarse con otras metodologías para visualizar ciertos indicadores con mayor peso en la conformación de la EAP.

### **Abstract**

The agrobiodiversity is a fundamental attribute to guarantee the sustainability and resilience for the agroecosystems. However, there are very few proposals to evaluate it. On this research, a review and re-structuring of the proposed criteria within the Main Agroecological structure index proposed by León-Sicard (2014; 2021) was performed. New indicators were defined, with a total of 10 criteria and 29 indicators that describe the agrobiodiversity of the agroecosystems. Evaluation methodologies are described and the possibility to modify or adapt some indicators according to the ecological and cultural contexts where the agroecosystems are located is also reviewed.

## 2.1 Introducción

Las prácticas convencionales de manejo agrícola y pecuario, basadas en el monocultivo de especies y razas mejoradas, uso intensivo de agroquímicos y mecanización, implementadas en los agroecosistemas, amenazan la agrobiodiversidad (FAO, 2011; SCDB, 2008). No solo a las especies, razas y variedades cultivadas directamente, sino a aquella diversidad que es esencial para los procesos ecológicos que intervienen y benefician la producción: reciclado de nutrientes, fertilización, polinización, control biológico, entre otros (Pimentel et al., 1992; Altieri, 1999; Gliessman, 2004; Power, 2010; Isbell et al., 2017).

A pesar de la importancia de la agrobiodiversidad para los agroecosistemas, estas se remiten a estudios puntuales que valoran ciertos componentes, como aquella cultivada en las huertas y sistemas productivos, para alimentación o medicina, o que brindan algún tipo de beneficio mejorando el suelo, regulando el agua y el microclima o acompañando el cultivo principal, entre otros usos. Estas caracterizaciones están generalmente acompañadas de índices clásicos para evaluar diversidad (ver sección 1.3.5) (Fuentes et al., 2013; Urra & Ibarra, 2018; Lagos-Burbano et al., 2020).

El índice de la Estructura Agroecológica Principal surge como un intento para caracterizar la agrobiodiversidad de las fincas o agroecosistemas, desde un abordaje ambiental complejo, recogiendo tanto aspectos ecosistémicos, relacionados con la configuración espacial y estructural de los conectores biológicos, en el perímetro de la finca y en el agropaisaje circundante, como culturales del productor, que recogen el carácter agrobiodiverso de las prácticas de manejo del sistema productivo, acompañado de los diversos determinantes (económicos, tecnológicos, ideológicos y políticos) que promueven la agrobiodiversidad en sus fincas (León-Sicard, 2021).

El propósito inicial de la EAP fue definir una herramienta generalizada para clasificar taxonómicamente a los agroecosistemas (León-Sicard, 2014; León-Sicard et al., 2018), usando 10 criterios de tipo ambiental. No obstante, para ajustar una propuesta direccionada al evaluar diferentes aspectos de la agrobiodiversidad, fue necesario modificar la naturaleza de ciertos criterios y adicionar nuevos indicadores.

A partir de la propuesta de León-Sicard (2014) y León-Sicard- et al. (2018), el Grupo de Investigación en Estudios Ambientales Agrarios del Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, del que la autora hace parte activa, reestructuró criterios, indicadores y metodologías de valoración del índice para generar una propuesta donde la EAP constituye un descriptor de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas (consignados parcialmente en León-Sicard, 2021).

Este capítulo expone el marco conceptual que subyace en este ejercicio de re-estructuración de criterios e indicadores propuestos dentro de la EAP, como un índice para evaluar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas.

---

## 2.2 Metodología de investigación

En los meses de octubre de 2018 y mayo de 2021, los 10 criterios y 13 indicadores iniciales (León-Sicard et al., 2018) fueron evaluados y reestructurados a partir de discusiones grupales (la autora, Yesica Xiomara Daza-Cruz y/o Maria Mercedes Murgueitio y Tomás León-Sicard), considerando diferentes dimensiones de la agrobiodiversidad, como los atributos ecológicos y espaciales de los conectores biológicos, diversas prácticas de manejo del sistema productivo y conservación, diferentes capacidades y percepciones del propietario para aumentar o no la agrobiodiversidad en sus agroecosistemas.

Después de la primera propuesta de indicadores y escalas de valoración, se sometieron a revisión y consideración por varios especialistas en disciplinas afines (agroecología, psicología, sociología, ecología) y se afinaron con revisión documental. Los 10 criterios y 29 indicadores finales se presentan en la sección 2.3 y tablas 2-1 a 2-7.

La estructura jerárquica en que las dimensiones (cultural y ecosistémica) del índice recogen los criterios y estos a los indicadores, fue planteada a partir de algunas propuestas que evalúan la sustentabilidad a nivel de finca, como el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad -MESMIS, Metodología para la Evaluación de Sustentabilidad a partir de Indicadores Locales para la Planificación y Monitoreo - MESILPA y Manual para el Análisis de la Sostenibilidad de Sistemas de Producción de la Agricultura Familiar (Astier et al., 2008, Acevedo-Osorio & Angarita-Leiton, 2013; Barrantes et al., 2018, respectivamente).

## 2.3 Nueva propuesta para el índice de la EAP

### I. Conexión con la Estructura Ecológica del Paisaje (CEEP)

Este criterio describe las relaciones espaciales del agroecosistema con los elementos naturales del paisaje que le rodea o su estructura ecológica principal<sup>22</sup>, especialmente con fragmentos de vegetación (bosques, arbustos, vegetación secundaria, bosques de galería, herbazales) y cuerpos de agua, sean ecosistemas acuáticos o reservorios artificiales. Bajo este acercamiento, subyace la idea de que los procesos funcionales que realiza la

---

<sup>22</sup>Según van der Hammen & Andrade (2003, pag. 17) la estructura ecológica del paisaje es “el conjunto de ecosistemas naturales y seminaturales que tiene una localización, extensión, conexiones y estado de salud que garanticen la integridad de la biodiversidad, la provisión de servicios ecosistémicos, como media para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de los habitantes y la perpetuación de la vida”.

agrobiodiversidad, al interior de los cultivos, son afectados por la composición y configuración del paisaje (tipos y calidad, cantidad, proporción y distancia entre hábitats) (Forman & Godron, 1986; Dunning et al., 1992; Farhing, 2017).

En mosaicos agrícolas o paisajes complejos y heterogéneos en composición, estructura y arreglo espacial de elementos de vegetación, se presentan dinámicas ecológicas desde las áreas naturales a la matriz de agroecosistemas, o viceversa, respondiendo a la conectividad y permeabilidad de su matriz, así como a la disposición espacial del agua (Tscharntke et al., 2005; Rand et al., 2006; Vasseur et al., 2013; Pérez-García et al., 2014). Este tránsito bidireccional, en matrices de alta calidad, aumenta la posibilidad que las especies móviles, funcionalmente importantes, persistan en el paisaje y que los agroecosistemas mantengan funciones claves para su producción y productividad (Dunning et al., 1992; Tscharntke et al., 2008; Perfecto et al., 2009; Chaplin-Kramer et al., 2011; Vasseur et al., 2013).

En un clásico estudio, C. Thies y colaboradores en Alemania, evaluando el parasitismo de avispas sobre el cucarrón del polen (*Meligethes aeneus*), que ataca la canola (*Brassica napus*), observaron que los barbechos con una edad avanzada (seis años) habían sido colonizados por varias especies de avispas parasitoides, lo que se tradujo en un porcentaje de parasitismo desde los barbechos (49%) hacia las márgenes (33%) y centro del cultivo (27%). El menor daño en las plantas, causado por la herbivoría del cucarrón y una alta mortalidad, debido al parasitismo, fue encontrado en paisajes con alto porcentaje de áreas no agrícolas y estructuralmente complejos. También fue evidente que la escala tuvo un efecto diferencial en los grupos tróficos estudiados, pues los parasitoides (generalistas o especialistas) tuvieron una mayor y más fuerte respuesta a la complejidad del paisaje, que las especies herbívoras o plagas, asociados a los cultivos (Thies & Tscharntke, 1999; Thies et al., 2003).

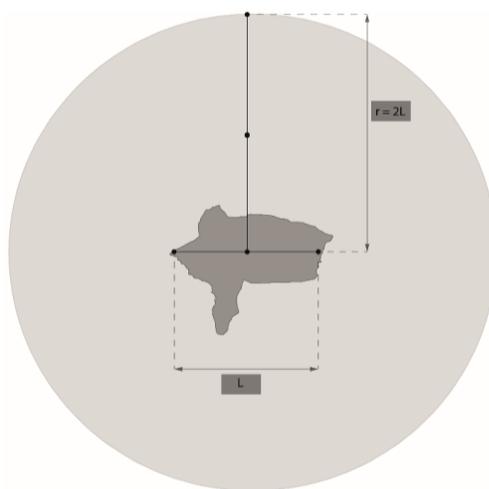
En estos paisajes complejos también se perciben beneficios económicos. El meta-análisis realizado por Burchfield et al. (2019), en Estados Unidos, comparando sistemas agrícolas diversificados en los que se produce maíz, soya y trigo de invierno, con unos simplificados, mostró que los primeros presentaron una mayor productividad (en un 20%) y rendimientos que sus contrapartes.

## **Establecimiento del área de influencia (AI)**

Para determinar las relaciones de los agroecosistemas con los elementos del paisaje, es necesario establecer una zona de influencia de la finca. Wiegand et al., (1991) consideran que una métrica del paisaje apropiada no debe solamente caracterizar la proporción de los diferentes tipos de hábitat, sino que debe considerar las relaciones espaciales entre y dentro de los tipos de hábitat, como una función de la distancia. Para ello desarrollaron un estadístico de anillo con radio ( $r$ ) para caracterizar la estructura espacial del paisaje en

función de la “percepción del organismo” (llamada distancia perceptual) de la calidad de los hábitats allí presentes, a partir del lugar en donde el organismo se encuentra.

Adaptando el concepto a la influencia del paisaje sobre componentes del agroecosistema en términos de productividad, adaptabilidad o resiliencia, entre otras propiedades afectadas por la agrobiodiversidad, es difícil proponer un valor único. Para simplificar, León-Sicard et al., (2018) y León-Sicard (2021) propusieron definir un círculo cuyo radio midiera el doble del lado más largo de la finca. Esto permitiría tener una extensión de tierra proporcional al área de cada finca y acentuar la importancia y la centralidad del agroecosistema en sus relaciones con el paisaje. A su vez, permite definir una zona o área de influencia del entorno sobre la finca y viceversa (Figura 2-1, Ecuaciones 2-3 y 2-4).



**Figura 2-1:** Esquema que refleja la selección del área de influencia de la finca (Fuente: Quintero et al., 2022).

$$r = 2L$$

(2-2)

$$AI = \pi r^2 - AF$$

(2-3)

Donde:

$L$  = Medida del lado más largo de la finca

$r$  = Radio del área de influencia, medido desde el centro de la finca

$AI$  = Área de influencia

$AF$  = Área total de la finca

En la CEEP, León-Sicard (2021) propuso incluir tres indicadores básicos que evalúan: la distancia promedio entre fragmentos de vegetación (DFr) y cuerpos de agua (DCa), teniendo en cuenta el punto más cercano de estas coberturas al centro de la finca, localizados en su área de influencia (AI), lo que permite considerar distancias relativas de estos elementos dentro del agropaisaje definido por el AI; así como el área total ocupada por fragmentos de vegetación y cuerpos de agua (AFrCa) en el AI. Estas relaciones se presentan en las ecuaciones 2-4 a 2-6.

$$Fr = \left( 1 - \left( \frac{\sum_1^m dFr_t}{m} \right) \right) \times 10$$

(2-4)

Donde:

*DFr* = Indicador de la distancia promedio de fragmentos (Fr) en el AI al centro de la finca

*dFr<sub>t</sub>* = Distancia de fragmento tipo t

*m* = Número de fragmentos de vegetación

*r* = Radio que define el área de influencia de la finca

$$Ca = \left( 1 - \left( \frac{\sum_1^n dCa_j}{n} \right) \right) \times 10$$

(2-5)

Donde:

*ACa* = Indicador de la distancia promedio de cuerpos de agua (Ca) en el AI al centro de la finca

*ACa<sub>j</sub>* = Distancia de cuerpo de agua tipo j

*n* = Número de cuerpos de agua

*r* = Radio que define el área de influencia de la finca

$$AFrCa = \frac{\sum_1^m AFr_t + \sum_1^n ACa_j}{AI} \times 10$$

(2-6)

Donde:

*AFrCa* = Indicador de la densidad total de fragmentos y cuerpo de agua en el AI de la finca

*AFr<sub>t</sub>* = Área de fragmentos tipo t

*ACa<sub>j</sub>* = Área de cuerpos de agua tipo j

*AI* = Área de influencia de la finca

Luego de realizar el cálculo de cada indicador, se obtiene el valor del criterio de la conectividad de la finca con la estructura ecológica del paisaje, de acuerdo con la ecuación 2-7.

$$CEEP = \frac{DFr+DCa+AFrCa}{3} \quad (2-7)$$

Los valores obtenidos para los 10 criterios pueden ser interpretados de acuerdo a León-Sicard (2021). Sin embargo, se propone realizar una única interpretación de los valores generados para cada indicador al final del ejercicio de valoración de la EAP (en la tabla 2-7). Esto, debido a que las interpretaciones, especialmente de los datos cuantitativos obtenidos a través de ecuaciones, pueden disminuir su potencia y enmascarar pequeñas diferencias en los valores obtenidos en cada indicador, al evaluar agroecosistemas con características similares. Los valores netos en cada ecuación pueden expresar mejor la calidad del indicador evaluado.

## **II. Extensión de conectores externos (ECE)**

Este criterio se refiere a la presencia y longitud de conectores de vegetación (cercas vivas, vallas, setos, bosques lineales o riparios asociados a cuerpos de agua) que se encuentran en el perímetro de la finca. Se evalúa como el porcentaje de la extensión lineal de estos conectores de vegetación en el total del perímetro de la finca, de acuerdo con la ecuación 2-8 (León-Sicard, 2021).

Nuevamente, este criterio considera la conectividad espacial del paisaje hacia la finca y viceversa, encontrando en el perímetro un elemento espacial que en términos funcionales puede acrecentarla o disminuirla. Sin embargo, los parches de vegetación, dentro de una matriz heterogénea, pueden ser considerados como conectores de biodiversidad desde y hacia los sistemas productivos, por lo que sería un error no considerarlos en la medición de la conectividad a nivel de finca. Los parches que son mantenidos en el perímetro como al interior de las fincas son importantes conectores de la agrobiodiversidad (Fahrig, 2017).

$$ECE = \frac{\sum_1^n(LCV_i)}{PF} \times 10$$

(2-8)

Donde:

$ECE$  = Indicador de la extensión de conectores externos

$LCV_i$  = Longitud de cada conector  $i$  con vegetación

$PF$  = Perímetro de la finca

### **III. Diversidad de Conectores Externos (DCE)**

Este criterio describe la calidad de estos conectores de vegetación, previamente identificados, a partir del análisis de su riqueza (Tabla 2-1) y estructura vertical (Tabla 2-2), propiedades fundamentales de la vegetación y de su diversidad (Whittaker, 1967; Magurran, 2004). Los rangos de valoración de la diversidad, que también aplican a los conectores internos, fueron ajustados según la riqueza promedio de plantas que puede contener un bosque subandino de Colombia, más de 40 especies por localidad, según Cuatrecasas (1958). La clasificación de estratos vegetativos propuesta por Rangel & Lozano (1986), ajustado a los ecosistemas andinos, y que se pueden encontrar en paisajes rurales, considera los siguientes estratos: herbáceo 0,3-1,5 m; arbustivo 1,5-5 m; subarbóreo o de arbolitos 5-12 m; arbóreo superior > 20 m; emergente 20-35 m.

Dada la complejidad y la dificultad metodológica de evaluar los efectos de estos dos atributos independientemente, se considera que, a mayor diversidad, los conectores podrían permitir un mayor movimiento y un hábitat potencial o permanente para ciertas especies funcionalmente importantes dentro de paisajes agrícolas (Fahrig & Merriam, 1985; Garibaldi et al., 2011).

En la mayoría de investigaciones a nivel de paisaje, no se hacen explícitas diferencias entre los conectores externos e internos. Desde lo cultural, hacen parte de los linderos de la finca o separan sistemas productivos o infraestructura (casas, corrales, depósitos, galpones), sin que implique una consideración especial como conectores de biodiversidad.

**Tabla 2-1:** Ponderación de los niveles de riqueza en los conectores externos e internos de los agroecosistemas (Fuente: Modificada de León-Sicard, 2021).

	<b>Clasificación <math>R_r</math></b>	<b>Valor</b>
$R_{ma}$	31 o más especies.	10
$R_a$	Entre seis 21 y 30 especies.	8
$R_m$	Entre 11 y 20 especies.	6
$R_b$	Entre 5 y 10 especies.	3
$R_{mb}$	Con menos de cinco especies.	1

**Tabla 2-2:** Ponderación de los estratos vegetativos de los conectores externos e internos de los agroecosistemas (Fuente: Modificada de León-Sicard, 2021).

	<b>Clasificación <math>E_e</math></b>	<b>Valor</b>
$E_{ma}$	Más de cinco estratos vegetativos.	10
$E_a$	Cuatro estratos vegetativos.	8
$E_m$	Tres estratos vegetativos.	6
$E_b$	Dos estratos vegetativos.	3
$E_{mb}$	Un solo un estrato vegetativo.	1

La descripción de la riqueza y estratificación de los conectores externos se desarrollan a partir de las ecuaciones 2-9 y 2-10 y el criterio se calcula de acuerdo con la ecuación 2-11.

$$RiCE = \frac{\sum_1^n (LCV_r * R_r)}{LCV_{total}} \times 10$$

(2-9)

Donde:

$RiCE$  = Indicador de la riqueza de especies de conectores externos

$LCV_r$  = Longitud del conector de vegetación con clasificación de riqueza tipo r

$R_r$  = Ponderación de la riqueza tipo r (Tabla 2-1)

$n$  = Número de tipo de riquezas encontradas en el perímetro

$LCV_{total}$  = Longitud total de los conectores en el perímetro

$$EsCE = \frac{\sum_1^n (LCV_e * E_e)}{LCV_{total}} \times 10$$

(2-10)

Donde:

$EsCE$  = Indicador de la estratificación vertical de conectores externos

$LCV_e$  = Longitud del conector de vegetación con clasificación de estratificación tipo e

$E_e$  = Ponderación de la estratificación tipo e (Tabla 2-2)

$n$  = Número de tipo de estratificaciones encontradas en el perímetro

$LCV_{total}$  = Longitud total de los conectores en el perímetro

$$DCE = \frac{RiCE + EsCE}{2}$$

(2-11)

#### **IV. Extensión de los conectores internos (ECI)**

Este criterio evalúa la presencia y longitud de los conectores internos que se encuentren dentro de la finca, separando diferentes tipos de sistemas productivos, sean cultivos agrícolas o potreros. Se evalúa como el porcentaje de extensión lineal de conectores de vegetación sobre el total de la longitud de las divisiones internas de la finca, que separan áreas productivas a partir de la ecuación 2-12 (ver tabla 7 en León-Sicard, 2021 para interpretación inicial de este criterio).

Los conectores de vegetación periféricos a los cultivos facilitan el movimiento de la agrobiodiversidad funcional hacia los sistemas productivos (van Gerth et al., 2010), aspectos que también dependen de la calidad del conector (ver criterios III y V) y de los organismos relacionados con dicha función. Adicionalmente, pueden prestar otros beneficios al productor como mitigar la pérdida de nitrógeno y fósforo por escorrentía (Wilken, 1972), disminuir la contaminación de los cauces hídricos y otros agroquímicos (Zhang et al., 2010), actuar como buffer contra las condiciones microclimáticas extremas (Wilken, 1972), evitar la erosión y ofrecer madera, alimento y forraje para el ganado (Murgueitio et al., 2009b).

No obstante, en la mayor parte de las fincas de Colombia, los conectores internos están constituidos por cercas de alambre de púas que no prestan ningún beneficio ecosistémico o cultural, más allá de servir como límite físico al desplazamiento de diferentes organismos (ver León-Sicard 2021 para una revisión detallada de la literatura).

$$ECI = \frac{\sum_1^m (LCVI_j)}{LDI} \times 10$$

(2-12)

Donde:

*ECI* = Indicador de la extensión de conectores internos

*LCVI<sub>j</sub>* = Longitud de cada división interna y que es conector de vegetación

*LDI* = Longitud total de divisiones internas

#### **V. Diversidad de Conectores Internos (DCI)**

Este criterio considera la riqueza de especies y la estructura vertical de la vegetación asociada a los conectores que se encuentran al interior de la finca y separa cultivos y/o potreros. Se evalúan los indicadores a partir de las ecuaciones 2-13 y 2-14 y su interpretación se puede realizar a partir de las tablas 2-1 y 2-2. La definición del valor del criterio se desarrolla en la ecuación 2-15.

$$RiCI = \frac{\sum_1^n (LCVI_r * R_r)}{LCVI_{total}} \times 10 \quad (2-13)$$

Donde:

$RiCI$  = Indicador de la riqueza de especies de conectores internos  
 $LCVI_r$  = Longitud del conector de vegetación con clasificación de riqueza tipo r  
 $R_r$  = Ponderación de la riqueza tipo r (Tabla 2-1)  
 $n$  = número de tipo de riquezas encontradas en los conectores internos  
 $LCVI_{total}$  = Longitud total de los conectores internos

$$EsCI = \frac{\sum_1^n (LCVI_e * E_e)}{LCVI_{total}} \times 10 \quad (2-14)$$

Donde:

$EsCI$  = Indicador de la estratificación vertical de conectores internos  
 $LCVI_e$  = Longitud del conector de vegetación con clasificación de estratificación tipo i  
 $E_i$  = Ponderación de la estratificación tipo i (Tabla 2-2)  
 $LCVI_{total}$  = Longitud total de los conectores internos

$$DCI = \frac{RiCI + EsCI}{2} \quad (2-15)$$

Para evaluar los criterios I, II y IV, León-Sicard (2021) propuso usar imágenes satelitales de alta resolución donde se proyecten las fincas de interés. Cuando no existen, una solución es recurrir al uso de drones y técnicas de fotogrametría. Quintero et al., (2022) detallan una metodología para obtener imágenes con drones sobre agropaisajes de difícil acceso y topografía. Con esta información espacial básica es posible realizar las métricas del paisaje usando varias herramientas SIG, sistemas nacionales catastrales, plataformas espaciales como Google Earth, o software como QGIS o ArcGIS. En los casos en los que

no se posean estos equipos, se puede recurrir a métodos cualitativos de observación y cartografía participativa (Quintero et al., 2022).

Para evaluar los criterios III y V, se requiere la caracterización florística y estructural o fitosociológica de la vegetación por parte de un especialista en botánica, usando parcelas y transectos de diferente tamaño, de acuerdo a las características y la complejidad de los conectores. En caso de no contar con este profesional, la experiencia de los agricultores y propietarios para reconocer especies, usos y otros saberes asociados, puede enriquecer y complementar el estudio (Bonney et al., 2009). Las cualidades de observación que poseen los agricultores, son una herramienta poderosa para separar morfotipos o morfoespecies como unidades taxonómicamente reconocibles (Abadie et al., 2008) y conformar bases de datos estandarizadas que permitan realizar los análisis interpretativos y comparativos.

Si los agroecosistemas tienen áreas extensas con conectores y/o algunas zonas de sus perímetros son poco accesibles para la evaluación florística, el proceso de fotointerpretación de las coberturas a partir de imágenes espaciales de alta resolución, más el apoyo de puntos de control, contribuyen al análisis en la totalidad de la finca.

## **VI. Usos del Suelo (US)**

Los usos del suelo son designaciones humanas a diferentes porciones de tierra con una función de interés y representan formas culturales de apropiación del territorio, originadas a partir de las intenciones, historia y aprendizajes del tomador de decisión (Velázquez & Bocco, 2004; León-Sicard, 2021). Esta transformación afecta los procesos funcionales de los ecosistemas (y su biodiversidad), lo que obliga a la adaptación de las especies o su extinción local. Ello dependerá de la intensidad de la perturbación y sus historias de vida (Fahrig & Merriam, 1994; Turner et al., 2001; Kuussaari et al., 2009).

Teniendo en cuenta las características de los usos del suelo, este criterio otorga representación especial a aquellos que favorecen la agrobiodiversidad dentro de la finca, en forma de policultivos, sistemas agroforestales o silvipastoriles. Los ecosistemas presentes en la finca pueden ser proyectados para el agroturismo y/o conservación, como se expresa con la ecuación 2-16.

$$US = \frac{\sum_1^n A_{Bj}}{AF} \times 10$$

(2-16)

Donde:

$US$  = Indicador de los usos del suelo

$A_{B_j}$  = Área de usos tipo  $j$  que favorecen la biodiversidad

$AF$  = Área total de la finca

La cartografía participativa permite, con el apoyo de las imágenes de percepción remota (imágenes satelitales, fotografías aéreas u ortomosaicos a partir de los vuelos con drones), que los propietarios contribuyan a delimitar las áreas sobre sus versiones físicas (Quintero et al., 2022). Con el apoyo de puntos de control, geoposicionados por los investigadores en diversos sectores de la finca, es posible realizar una metodología de triangulación (Okuda & Gómez-Restrepo, 2005) y clasificación según las categorías de Corine (Coordination of Information System on Environment) Land Cover Methodology.

## **VII. Prácticas de Manejo Agrícola (PMA) y Ganadero (PMg)**

### 1) Prácticas de manejo agrícola (PMA)

Para eliminar insumos químicos y aumentar la eficiencia energética, es necesario restaurar la biodiversidad en el paisaje agrícola y en la finca (Altieri & Trujillo, 1987). Durante las diferentes fases de la producción, selección de la semilla, preparación del suelo, abonamiento y manejo fitosanitario, es posible implementar prácticas que favorezcan y potencien la agrobiodiversidad.

Al utilizar semillas nativas, se reconoce y promueve la diversidad genética, se asegura la soberanía alimentaria, con productos agrícolas adaptados y resilientes y se protege el patrimonio biocultural, asociado a prácticas culturales. Las más importantes incluyen la selección, adaptación, conservación e intercambio de semillas (Wezel et al., 2018; Altieri & Nicholls, 2019; Rosales-González et al., 2019).

Son de particular interés aquellas semillas o razas que han sido adaptadas por comunidades indígenas o campesinas en regiones climáticas extremas (p. e. variedades de maíz en zonas desérticas de Atacama o Kenia). Ellas representan una alternativa para adoptarse en regiones con fuertes fluctuaciones estacionales y contribuir a la seguridad alimentaria en tiempos de cambio climático, estrés ambiental o incidencia de plagas (Amend et al., 2008).

La agricultura de conservación y, por supuesto, la agroecología, entiende al suelo como elemento vivo, esencial para desarrollar plantas fuertes y sanas. Sus prácticas están direccionadas a crear condiciones para minimizar disturbios, proteger y alimentar la edafobiodiversidad. La labranza mínima y la retención de residuos vegetales o coberturas (ver el criterio de PMA) actúan positivamente en la estabilidad de la biota edáfica. Esto afecta los procesos de descomposición, ciclaje de nutrientes, bioturbación, estabilidad de agregados del suelo y densidad aparente, entre otros, lo que mantiene su aptitud agrícola

(Verhulst et al., 2011; 2015; Palm et al., 2014; Plazas & Garcia, 2014; Sosa et al., 2014; Gabriel et al., 2019).

La diversificación vegetal, que promueve la integración y manejo de plantas arvenses, contribuye a la regulación de plagas mediante la restauración del control natural entre las especies; aspecto que no es apreciado por la agricultura convencional (Moreno & Rivera, 2003; León-Sicard, 2010b; Blanco-Valdes, 2016).

Después de la cosecha, el productor obtiene una variedad de productos que hacen parte de su dieta (incluyendo plantas medicinales, fibras y aromáticas), abasteciendo su canasta básica y contribuyendo a la conservación de la agrobiodiversidad *in situ*, no solo de especies sino de variedades producidas localmente (FAO 2018; 2019).

En minifundios de la región andina de Colombia, donde se desarrolla la agricultura familiar, se encuentran entre 25 y 141 (en promedio 80) especies de plantas para el autoconsumo, en muchos casos con más de dos variedades. Esta diversificación de cultivos puede tener beneficios económicos, pues el excedente de la producción puede ser vendido en mercados campesinos para comprar otros alimentos que la finca no produce. Además, ofrece oportunidades para innovar y darle valor agregado a ciertos productos, mediante el procesamiento y comercialización de alimentos poco utilizados pero de alto valor nutricional, ornamental o doméstico y favorece procesos de conservación del acervo genético de plantas cultivadas (Chaves et al., 2007; Clavijo & Sánchez, 2018; Cortés et al., 2018).

A partir de estas consideraciones, en la Tabla 2-3 se establecen las categorías de evaluación de las prácticas de manejo agrícola, propuestas por León (2021) para cinco indicadores: semillas (SEm), preparación del suelo (PSu), abonamiento (ABo), manejo fitosanitario (MFi) y diversificación de cultivos (DCu).

**Tabla 2-3:** Descriptores, evaluación y valores de los indicadores del criterio de Prácticas de Manejo agrícola (PMa) (Fuente: modificada de León-Sicard, 2021).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Semillas (SEm)	Procedencia, producción y conservación	Semilla propia, ecológica/ancestral, diversa y producida localmente. Conservada con prácticas agroecológicas.	10
		Semilla adquirida ecológica/ancestral, diversa y obtenida localmente. Conservada con prácticas agroecológicas.	8
		Semilla adquirida, orgánica, diversa y no obtenida localmente. Conservada con procedimientos químicos.	6
		Semilla convencional, no diversa (híbridos) y no obtenida localmente. Conservada con procedimientos químicos.	3
		Semilla transgénica.	0
Preparación del suelo (PSu)	Tipo de labranza, intensidad, prácticas	Labranza cero. Baja intensidad de laboreo. Prácticas de agricultura de conservación: abonos verdes, coberturas o mulch, manejo residuos de cosechas, rastrojos y/o barbechos.	10

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
de agricultura de conservación		Labranza reducida. Baja intensidad de laboreo. Con o sin prácticas de agricultura de conservación.	8
		Labranza reducida (cincel). Mediana intensidad de laboreo. Sin prácticas de agricultura de conservación.	6
		Labranza convencional (arados, rastrillos, rastras). Alta intensidad de laboreo. Una práctica de agricultura de conservación.	3
		Labranza convencional. Alta intensidad de laboreo. Sin prácticas de agricultura de conservación.	0
Abonamiento (ABo)	Tipos de abonos y fertilización, rotaciones, prácticas complementarias	Abonos orgánicos producidos en finca: compost, estiércol madurado, humus, abono verde, biofertilizantes, preparado microbiano, lombricompuesto). Alta rotación. Con prácticas complementarias (mulch, barbechos).	10
		Abonos orgánicos comprados. Alta rotación. Con prácticas complementarias.	8
		Abonos orgánicos mezclados con fertilizantes químicos. Alta a media rotación. Pocas prácticas complementarias.	6
		Fertilizantes químicos en dosis bajas. Poca rotación. Pocas prácticas complementarias.	3
		Fertilizantes químicos en dosis altas. Sin rotación. Sin prácticas complementarias.	0
Manejo Fitosanitario (MFi)	Manejo de arvenses, prácticas complementarias, control biológico, mecánico o químico de plagas	Manejo ecológico de arvenses. Uso de prácticas complementarias: bioles, purines, hidrolatos, sistemas push-pull, cultivos acompañantes. Se usan controles mecánicos y biológicos. No se usan plaguicidas.	10
		Manejo ecológico de arvenses. Pocas prácticas complementarias. Controles biológicos y mecánicos. No se usan plaguicidas.	8
		Manejo ecológico de arvenses, sin prácticas complementarias, controles mecánicos y biológicos. Aplicación de plaguicidas en dosis debajo de las recomendadas.	6
		Erradicación manual de arvenses, algunas prácticas complementarias, controles mecánicos. Aplicación de plaguicidas en las dosis recomendadas.	3
		Erradicación química de arvenses, eliminación de hábitats, sin prácticas complementarias, controles mecánicos ni biológicos. Aplicación de plaguicidas en dosis superiores a las recomendadas.	0
Diversificación de cultivos (DCu)	Especies y variedades cultivadas para consumo humano	Más de 60 especies, en las que al menos tres especies se cultivan dos o más variedades (nativas y comerciales).	10
		60 especies o más, en las que menos de dos especies se cultivan dos o más variedades (nativas y comercial).	8
		Entre 30 y 60 especies, sin variedades nativas.	6
		Entre 5 y 29 especies, sin variedades nativas.	3
		Menos de 5 especies, sin variedades nativas.	0

Una vez descritos los indicadores presentados anteriormente, se define una calificación final para las prácticas de manejo agrícola de acuerdo con la ecuación 2-17.

$$PMa = \frac{SEm + PSu + ABo + MFi + DCu}{5}$$

(2-17)

## 2) Prácticas de manejo ganadero (PMg)

Este criterio evalúa las etapas de implementación del sistema productivo, cuando se prepara el suelo y camas de siembra (PSu), planea el sistema de forrajeo (ASi), la rotación de potreros (RPO), el manejo sanitario del hato (MSa) y de las aguas (MAG) que han de beber los animales, para garantizar su nutrición y salud (Tabla 2-4).

En los países del trópico y subtropico americano, principalmente, la ganadería convencional, cuya base es el monocultivo de forrajes con mínima cobertura arbórea, ha sido una de los mayores conductores de pérdida de biodiversidad (Stenfield et al., 2006). Es necesario desarrollar prácticas que favorezcan su conservación (FAO, 2015) y reevaluar el uso y dosificación de medicamentos antiparasitarios (p.e. Ivermectina y Avermectina), por sus efectos negativos sobre la fauna que contribuye al reciclado del estiércol bovino en las pasturas (Strong, 1992; Verdú et al., 2018).

Los sistemas silvipastoriles, que incluyen diferentes arreglos de gramíneas, árboles y/o arbustos forrajeros, se han convertido en alternativas viables para ganaderos de la región. Los estudios de Murgueitio & Calle (1999), Murgueitio et al., (2009; 2016), Vallejo et al., (2010) y Giraldo et al., (2011), entre otros, han documentado sus efectos positivos en valores de carbono, nitrógeno, materia orgánica, pH, actividad enzimática, microorganismos del suelo y control biológico de moscas parasíticas del ganado. La presencia de flora amenazada y aves visitando las cercas vivas diversificadas, árboles maderables y alimenticios, generan valor agregado al sistema productivo, como el agro y ecoturismo.

En los últimos años ha surgido la ganadería regenerativa (también en el sector agrícola), cuyo objetivo principal es conservar el suelo incrementando la materia orgánica (ver criterio de prácticas de conservación), ofreciendo un alimento nutritivo y sano al consumidor (Lal, 2020; Miatton & Carne, 2020).

En escenarios no tropicales, la ganadería ecológica ha sido propuesta como una alternativa a la ganadería intensiva. Plantea prácticas (homeopatía, aromaterapia, fitoterapia) que consideran el bienestar animal y la posibilidad de obtener productos cárnicos y lácteos libres de residuos químicos, disminuyendo la contaminación de aguas y suelos (Vaarst et al., 2005; Kijlstra & Eijck, 2006).

**Tabla 2-4:** Descriptores, evaluación y valores de los indicadores de Prácticas de manejo ganadero (PMg) (Fuente: León-Sicard, 2021).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Preparación del suelo (PSu)	Tipo de labranza e intensidad, abonos, fertilizantes o enmiendas, prácticas complementarias	Labranza 0 o muy baja intensidad de laboreo: siembra directa. Uso de enmiendas y abonos orgánicos. Con prácticas complementarias: asociación de forrajeras con cultivo acompañante o precedente (papa, arveja, maíz y/o frijol), aplicación de micorrizas, conservación de árboles grandes y palmas en los potreros.	10
		Labranza mínima o baja intensidad de laboreo: siembra en surcos o vertical (uso de mecanización liviana con ahoyadores, sembradoras de tracción mecánica o animal) Uso de enmiendas y abonos orgánicos. Con o sin prácticas complementarias.	8
		Labranza convencional o media intensidad de laboreo: siembra destrocando, aflojando y picando el suelo (uso de mecanización liviana o manual con azadón). Fertilización química o mineral baja, en dosis menores que las recomendadas. Con o sin prácticas complementarias.	6
		Labranza convencional o alta intensidad de laboreo: siembra mezclando, picando y repicando el suelo (uso de maquinaria pesada o manual con azadón). Fertilización química media o esporádica, según lo recomendado. Sin prácticas complementarias.	3
		Labranza convencional o muy alta intensidad de laboreo: siembra invirtiendo y volteando a profundidad el suelo (uso de maquinaria pesada). Muy alta fertilización química o frecuente, superior a las dosis recomendadas. Sin prácticas complementarias.	0
Arreglo del sistema (ASi)	Sistema silvipastoril, diversidad gramíneas y leguminosas, árboles dispersos, bancos de forraje <sup>23</sup>	Sistema silvipastoril intensivo (SSPi) con varios sistemas silvipastoriles adicionales en más del 50% del área productiva de la finca. Alta diversidad de gramíneas forrajeras (cespitosas o estoloníferas) y leguminosas rastreras. Existen bancos mixtos de forraje.	10
		SSPi y/u otros dos sistemas silvipastoriles adicionales en menos del 50% del área productiva de la finca. Alta diversidad de gramíneas forrajeras (dos o más de crecimiento cespitoso como estolonífero). Árboles o arbustos (para diferentes usos, incluyendo para forraje) dispersos en alta densidad ( $\geq 25$ individuos/ha <sup>-1</sup> ). Existen dos (2) forrajes adicionales.	8
		Sin SSPi u otro sistema silvipastoril. Media diversidad de gramíneas forrajeras. Combinación de dos gramíneas forrajeras sin importar el tipo de crecimiento, árboles y arbustos en baja densidad ( $< 25$ individuos/ha <sup>-1</sup> ) pero en disposición linear. Un forraje adicional (pasto de corte) en combinación con caña de azúcar, melaza u otro energizante.	6

<sup>23</sup> Aunque en la evaluación tradicional de tipo agroforestal se mencionan las cercas vivas y las cortinas rompe vientos, no se incluyen porque su evaluación ya se realizó en términos de conectores internos y externos.

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Rotación de potreros (RPo)	Sistema de pastoreo, tiempo, aforos	Sin SSPi u otros sistemas silvipastoriles. Baja diversidad de gramíneas forrajeras y árboles y arbustos en baja densidad (<25 individuos/ha <sup>-1</sup> ). Una sola especie de gramínea forrajera. No hay forrajes adicionales. Se complementa con sales mineralizadas.	3
		Sin SSPi u otros sistemas silvipastoriles. Muy baja diversidad de gramíneas forrajeras, sin árboles y arbustos. Una sola especie de gramínea en monocultivo. Los árboles han sido removidos de los potreros. Sin bancos de forraje. No se complementa con sales mineralizadas.	0
		Semiestabulado: los animales permanecen la mayor parte del tiempo confinados en comederos bajo techo. Periodos muy cortos de ocupación de potreros (horas al día). Se practican aforos.	10
		Altamente rotativo en franjas o pequeños potreros, aislados con cerca eléctrica. Periodos cortos de ocupación (máximo entre 1 o 2 días). Se practican aforos. La pastura se recupera rápidamente.	8
		Medianamente rotativo en potreros de tamaño medio, aislados por cerca eléctrica o cercas vivas. Periodos medios de ocupación, entre 3 y 7 días. No se practican aforos. La pastura logra recuperarse antes del siguiente ciclo de ocupación.	6
		Poco rotativo en potreros de tamaño grande. Periodos largos de ocupación entre 8-30 días, asilados o no por cercas vivas o cerca eléctrica. No se practican aforos. La pastura no se alcanza a recuperar hasta el siguiente periodo de ocupación.	3
Manejo de aguas (MAg)	Origen, transporte y uso, almacenamiento, control de calidad para consumo animal	No hay rotación de potreros, siendo de gran tamaño. Periodos de ocupación de más de 30 días. No se practican aforos. La pastura no se alcanza a recuperar.	0
		Fuentes naturales (nacimientos, cañadas, jagüeyes). Acueductos ganaderos para circulación de agua tratada y/o potable. Si existe riego se usan tecnologías apropiadas. Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos frecuentes (semestrales). Disponibilidad y potabilidad total.	10
		Fuentes naturales (nacimientos, cañadas, jagüeyes) que surten el sistema fijo de distribución del agua (tubería o mangueras), sin fugas. Si existe riego se usan tecnologías apropiadas. Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos poco frecuentes (anuales). Disponibilidad total y potabilidad parcial.	8
		Reservorios artificiales (pozos, cosechas de agua, estanques, aljibes) que surten el sistema de distribución de agua (mangueras), con fugas. Si existe riego se usan tecnologías apropiadas. Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos poco frecuentes (bianuales) o no se realizan. Disponibilidad parcial y potabilidad parcial.	6
		Reservorios artificiales. Conexión o transporte por mangueras, con fugas. Si existe riego no se usan tecnologías apropiadas. Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos muy poco frecuentes o no se realizan. Disponibilidad parcial y potabilidad aparente.	3
Reservorios artificiales. Transporte manual. No se realizan análisis fisicoquímicos. No existe ni disponibilidad ni potabilidad garantizada.	0		

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Manejo sanitario (MSa)	Métodos de control de parásitos	El control de parásitos (ecto y endo) se basa en el uso de medicina veterinaria alternativa (suplementos alimenticios con plantas desparasitantes o inmunostimulantes, lavados con plantas repelentes o minerales, homeopatía, acupuntura). Otras prácticas complementarias: exámenes (coprológicos) preventivos, control biológico/natural de moscas y parásitos gastrointestinales con escarabajos coprófagos, avispas parasitoides, hongos entomopatógenos/antihelmínticos u otros.	10
		El control de parásitos (ecto y endo) se basa en el uso de medicina veterinaria alternativa. No se realizan prácticas complementarias.	8
		El control de parásitos (ecto y endo) se basa en el uso de medicamentos antihelmínticos de síntesis química en dosis anuales menores que las recomendadas, tratamiento solo en animales que presentan afectaciones importantes.	6
		Se usan sustancias químicas en dosis anuales recomendadas en todos los animales del hato.	3
		El control de parásitos (ecto y endo) se realiza únicamente con antihelmínticos, endectocidas y otras drogas sintéticas, en dosis anuales superiores a las recomendadas.	0

Una vez definida la valoración de los indicadores, se realiza la sumatoria individual para obtener el valor total de agrobiodiversidad de las prácticas de manejo ganadero usando la ecuación 2-18.

$$PMg = \frac{PSu + ASi + RPo + MAg + MSa}{5}$$

(2-18)

En muchas ocasiones, los agroecosistemas presentan usos integrados agrícolas y pecuarios. Para atender esta situación y aplicar el criterio de prácticas de manejo, se propone realizar una calificación ponderada tanto de las prácticas de manejo agrícola como ganadero (ecuación 2-19).

$$PM = \frac{a_{sa}PM_a + a_{sg}PM_g}{a_{sa} + a_{sg}}$$

(2-19)

Donde:

$PM$  = Calificación a las prácticas de manejo

$a_{sa}$  y  $a_{sg}$  = Áreas destinadas a suelos agrícolas y ganaderos respectivamente

$PM_a$  y  $PM_g$  = Calificaciones para prácticas de manejo agrícola y prácticas de manejo ganadero

Al evaluar los indicadores, es posible identificar distintos tipos de sistemas de manejo. Aquellos cuyo promedio de indicadores oscila entre 6,0 – 10,0 estarían ligados a sistemas de *agricultura o ganadería ecológica, sostenible, alternativa o regenerativa*; aquellos cuyo promedio de indicadores oscila entre 4,0 - 6,0 se relacionarían con sistemas de *agricultura o ganadería en transición*; los que poseen promedios entre 0,0 - 4,0 generalmente representan sistemas de *agricultura o ganadería convencional* (León-Sicard, 2021).

Las prácticas de manejo y los demás criterios del orden cultural, pueden ser evaluados a partir de metodologías cualitativas que recojan y compilen las concepciones, intenciones y valores de propietarios y/o administradores de los agroecosistemas. Entre los métodos y herramientas se destacan la observación participante, entrevistas estructuradas y semiestructuradas, encuestas y anotación en diario de campo (Quintana, 2006); apoyados en información secundaria, según el caso. La aplicación de encuestas o entrevistas que permitan la expresión libre del agricultor a través de ejes temáticos definidos por el entrevistador, pueden ser analizados a partir de herramientas como ATLAS ti u otros software para el análisis del discurso (Strauss & Corbin, 2002).

### **VIII. Prácticas de Conservación (PC)**

La conservación de los elementos naturales dentro del agroecosistema también es inherente a las formas tradicionales de agricultura. Estos sistemas de conocimiento, atados a la conservación y manejo de la biodiversidad, han sido fundamentales para su coexistencia a lo largo del tiempo (Nietschmann, 1992; Toledo & Barrera, 2008) (Tabla 2-5).

Las prácticas de conservación del suelo contempladas, contribuyen a contener y revertir físicamente la erosión o desprendimiento de bloques de tierra (FAO, 2018). Su ausencia puede originar o incrementar fenómenos de erosión edáfica, especialmente en coberturas productivas donde existen conflictos de uso. Es común encontrar en la ganadería extensiva de ladera, evidencias de erosión media y severa, con la aparición de surcos, calvas, terracetos y cárcavas, ocasionadas por el continuo pisoteo del ganado (Murgueitio, 2003; Sadeghian et al., 2009).

El agua, atada al componente suelo, es un recurso vital para la producción de alimentos y productividad de los cultivos. Depende, entre otras cosas, de la cantidad de materia orgánica, que incrementa su capacidad de retención (Pimentel et al., 1995; Lavelle & Spain, 2001; Yong-Zhong et al., 2005).

En regiones donde el agua es naturalmente escasa y/o donde los suelos han sufrido fenómenos de erosión o pérdida de su bioestructura, su manejo requiere inversión de capital e infraestructura que permita un uso eficiente. En regiones con agricultura tecnificada es muy frecuente el desarrollo constante de nuevos sistemas de riego inteligentes (trasladados en usos comerciales a través de patentes) para maximizar su uso (Darshna et al., 2015; Megersa & Abdulahi, 2015). Cuando los recursos financieros son escasos, se impone el uso de tecnologías apropiadas como microcaptación, camellones, terrazas, trazados de curvas de nivel, cosechas de agua, acueductos o reservorios domésticos (FAO, 2013; JICA, 2015).

Si las fincas están atravesadas por algún cauce hídrico o cuentan con nacimientos o acuíferos propios, es aconsejable mantener bosques protectores según la normatividad vigente<sup>24</sup>.

**Tabla 2-5:** Descriptores, evaluación y valores de los indicadores de Prácticas de Conservación (PC) (Fuente: modificado de León-Sicard, 2021).

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Prácticas de Conservación de Suelos (PCs)	Métodos de control de erosión, análisis de suelos, conflictos de uso	Uso de por lo menos tres métodos de control de la erosión: control del sobrepastoreo, protección de taludes, construcción de terrazas, trinchos o gaviones. Realiza análisis periódicos de suelos. No existe conflicto en el uso del suelo.	10
		Uso uno o dos métodos de control de erosión. Realiza riego con tecnologías apropiadas. Realiza o no análisis periódicos de suelos. Existe conflicto en el uso del suelo en menos del 25% del área de la finca.	8
		Uso de por lo menos un método de control de erosión. No realiza análisis de suelos. Existe conflicto en el uso del suelo en una parte de la finca (entre el 25 y 50% del área).	6
		No usa métodos de control de la erosión. No realiza análisis de suelos. Realiza riego con tecnologías NO apropiadas. Existe conflicto en el uso del suelo en la mayor parte de la finca (entre el 50 y 75%	3
		No usa métodos de control de la erosión. No se realizan análisis de suelos. Realiza riego con tecnologías NO apropiadas. Existe conflicto en el uso del suelo en más del 75% del área de la finca.	0
Prácticas de Conservación de Aguas (PCa)	Protección de cuerpos de agua, colecta de agua, balances	Posee todos los nacederos, sitios de recarga y rondas de quebradas, ríos y cuerpos de agua protegidos con vegetación natural, siguiendo la normativa ambiental. Realiza prácticas de colecta de agua: cosechas de agua, reciclaje, zanjas de desviación, jagüeyes, pozos, reservorios si los necesita. Utiliza balances hídricos. No realiza vertimientos contaminantes.	10

<sup>24</sup> En el caso de Colombia, el decreto 1449 de 1977, del Ministerio de Agricultura, reglamenta que los nacimientos deben estar aislados por vegetación protectora en al menos 100 m a la redonda desde su perímetro. Los ríos, quebradas y arroyos deben tener más de 30 m de bosque protector a cada lado de su cauce.

Indicador	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
	hídricos, vertimientos	Posee todos los cauces hídricos o nacaderos protegidos con vegetación natural, sin seguir la normativa ambiental. Realiza algunas prácticas de colecta de agua cuando las necesita. No realiza vertimientos contaminantes.	8
		Los cauces(s) hídrico(s) o nacedero(s) están protegidos en el 50% o más con vegetación natural. Realiza pocas prácticas de colecta de agua. No realiza vertimientos contaminantes.	6
		Los cauces(s) hídrico(s) o nacedero(s) están protegidos en menos del 50% su totalidad con vegetación natural o alambre de púas. Realiza alguna práctica complementaria. Realiza vertimientos contaminantes.	3
		Ningún nacedero protegido. No realiza prácticas complementarias. Realiza vertimientos contaminantes.	0
Prácticas de Conservación de la biodiversidad (PCb)	Reforestación, enriquecimiento o de hábitats, integración y protección de animales	Evidencia seis de las siguientes prácticas: reforestación con especies nativas, manejo de otras coberturas para recuperación natural, introducción intencional de especies nativas o útiles (plantas con flores y frutos, plantas – trampa, medicinales y aromáticas), protección de hábitats para diversos animales, bancos de germoplasma.	10
		Evidencias de 4 a 5 de las prácticas mencionadas.	8
		Evidencias de 2 a 3 de las prácticas mencionadas.	6
		Evidencias de por lo menos 1 de las prácticas mencionadas.	3
		No se utiliza ninguna práctica de conservación de la biodiversidad.	0

Una vez obtenida la valoración de las prácticas de conservación, su valoración e interpretación se realizan bajo la ecuación 2-20.

$$PC = \frac{PCs + PCa + PCb}{3}$$

(2-20)

## **IX. Percepción-Conciencia y Conocimiento (PCC)**

La percepción se relaciona con las experiencias sensoriales que el sujeto experimenta cuando reconoce el mundo (Rosenthal & Visetti, 1991). Estas, a su vez, son interpretadas y definidas en el marco de pautas culturales (ideologías, historias de vida, experiencias, contextos políticos), que son ajustadas de acuerdo con las necesidades de supervivencia y convivencia social, a través del pensamiento simbólico (Vargas-Melgarejo, 1994). Según Wilson (1984), muchas de las percepciones, actitudes y comportamientos de las sociedades actuales frente a la biodiversidad, se manifiestan dentro del contexto de la historia evolutiva y ecológica de la especie humana. La valoración y uso de la naturaleza está predeterminada por esa relación adaptativa de los seres humanos con otras especies, ecosistemas y/o fenómenos naturales.

---

Desde de la perspectiva de la EAP, la percepción se asocia con experiencias sensoriales que productores, administradores y/o propietarios interpretan como beneficios, derivados de la agrobiodiversidad, como la provisión de alimentos y agua, mantenimiento de la fertilidad de suelos o generación de microclimas para los cultivos (Altieri & Nicholls, 2013).

La conciencia, por su parte, conecta al sujeto con su mundo interno y externo, dándole sentido a su realidad, sumando a la percepción el sentido de la trascendencia (Rosenthal & Visetti, 1991). Esto en el ámbito de la EAP, significa reconocer la importancia de la biodiversidad en sus diferentes niveles de organización (genes, especies y ecosistemas), escalas temporales (humanas, biológicas, geológicas e incluso cósmicas) y espaciales (desde lo local hasta lo planetario), más allá de su valor de uso o legado (beneficios individuales, motivaciones familiares, patrióticas, de linaje). Además, permite reconocer la conexión e interdependencia que existe entre la humanidad y los otros seres del planeta, apreciar su valor de existencia y su papel dentro de la trama de la vida. Existe, por lo tanto, un sentido de responsabilidad individual (o local) con respecto a lo global, al todo. Es decir, una ética ambiental (Wilson, 1984; Capra, 1996; Lovelock, 1990; Toledo, 2003).

Los conocimientos adquiridos por el productor permiten la aplicación práctica de técnicas que redundan en la conservación, uso y manejo sostenible de la agrobiodiversidad. Las fuentes de conocimiento son variadas y pueden estar asociadas al conocimiento tradicional, originado de la experimentación y adaptación local de prácticas agroecológicas por comunidades de indígenas, raizales, agricultores o campesinos o de la academia e institucionalidad (Zuluaga & Ramírez, 2015; Salazar-Barrientos et al., 2016; Daza-Cruz, 2020).

Dentro de este criterio, también es importante exaltar todo el entramado de relaciones simbólicas (identitarias, ritualísticas, valorativas, actitudinales, interpretativas) que tejen las comunidades y las personas en torno a la agrobiodiversidad, en especial como tributo al alimento y al poder de sanación de las plantas medicinales. Estas relaciones no están solamente asociadas a sus legados bioculturales y tradiciones, aprendidos como conocimiento popular a través de la tradición oral, sino también a sus valores sociales (solidaridad, espiritualidad, generosidad, alegría, amor) (Amend et al., 2008; Toledo & Barrera-Bassols, 2008; León-Sicard, 2019), expresado en sus actitudes y formas de accionar en los agroecosistemas.

En la tabla 2-6 y la ecuación 2-21 se presentan las categorías de evaluación de los dos indicadores para el criterio de PCC. Para su interpretación inicial ver la tabla 27 en León-Sicard (2021).

**Tabla 2-6:** Descriptores, evaluación y valores de los indicadores de Percepción, Conciencia y Conocimiento (PCC) (Fuente: Modificado de León-Sicard 2021).

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Percepción y conciencia (PeCo)	Percepción – conciencia: El nivel de entendimiento de la <i>importancia</i> de la conservación de la <i>agro</i> biodiversidad y de los <i>beneficios</i> que esta le brinda. El nivel de PeCo depende de que se expresen tanto importancia como beneficios (I-B) y que el discurso acompañe o se materialice en acciones concretas en el manejo y conservación en los agroecosistemas	Los propietarios y/o administradores de la finca expresan tanto la importancia como los beneficios que perciben de la agro-biodiversidad en sus agroecosistemas y este doble carácter se materializa en acciones claras de manejo y conservación	10
		Los propietarios y/o administradores de la finca expresan tanto la importancia como los beneficios que perciben de la agro-biodiversidad en sus agroecosistemas, pero solo se materializa en acciones en uno de los dos aspectos	8
		Los propietarios y/o administradores de la finca expresan la importancia o los beneficios de la biodiversidad, pero no una relación I-B. No hay acciones concretas en sus agroecosistemas que evidencien el discurso	6
		Los propietarios y/o administradores de la finca expresan los beneficios pero no la importancia de la agro-biodiversidad. No hay acciones concretas en sus agroecosistemas que evidencien el discurso	3
		Los propietarios y/o administradores de la finca no expresan ni la importancia o beneficios que obtienen de la agro-biodiversidad. No comprenden ni manifiestan ningún interés en el tema.	0
Conocimiento (COñ)	Conocimiento: grado de claridad conceptual sobre componentes de <i>agro</i> biodiversidad y de la noción de los procesos que subyacen en la conectividad estructural de la <i>agro</i> biodiversidad para potenciar sus relaciones y funciones en el sistema productivo, adquirida por formación académica, técnica o aprendizaje vivencial (conocimiento popular)	Los propietarios y/o administradores conocen muchos componentes específicos de la biodiversidad (plantas, animales, hongos y otros microorganismos) presentes en las fincas, así como sus usos, propiedades y otros saberes populares. También conocen el papel de los conectores de vegetación y métodos para potenciar la agro-biodiversidad, con los subsecuentes beneficios al sistema productivo.	10
		Los propietarios y/o administradores conocen ciertos componentes específicos de la biodiversidad (Ej: plantas, animales) pero tienen una noción muy leve de la importancia de los conectores de vegetación o métodos para potenciar los beneficios de la agro-biodiversidad.	8
		Los propietarios y/o administradores conocen pocos componentes de la biodiversidad (Ej: plantas) y algún saber asociado pero no el papel de los conectores de vegetación. Reconocen ciertos métodos para potenciar estos beneficios en su sistema productivo.	6
		Los propietarios y/o administradores conocen pocos componentes específicos de la biodiversidad (Ej: plantas) y algún saber asociado pero no el papel de los conectores de vegetación. No conocen ningún método para potenciar los beneficios de la agro-biodiversidad en su sistema productivo.	3

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
		Los propietarios y/o administrativos no reconocen ningún componente específico de la biodiversidad o saberes asociados al papel de los conectores de vegetación ni métodos para potenciar los beneficios de la agrobiodiversidad a su sistema productivo.	0

$$PCC = \frac{PeCo + Con}{2} \quad (2-21)$$

## **X. Capacidad para la Acción (CA)**

Para aumentar y/o mantener la agrobiodiversidad de las fincas, es de vital importancia generar acciones concretas que garanticen bienestar. Estas acciones dependen de ciertas capacidades que tenga o desarrolle el propietario y la comunidad donde estos agroecosistemas se localizan.

Para que los esfuerzos y procesos tengan éxito se requiere de músculo financiero (capital ahorrado) o, en su defecto, capacidad de endeudamiento (acceso a créditos). También se debe asumir el costo de oportunidad que implica la transformación de áreas, con o sin potencial productivo inmediato, a la conservación del bosque o a la creación de cultivos diversificados o permanentes, que retornan ganancias a largo plazo (Kniivilä & Saastamoinen, 2002; FAO, 2014; Leguía & Moscoso, 2015). En algunos municipios, condados o veredas existen normas que incentivan la conservación del bosque o el agua, mediante la reducción en el impuesto predial o programas de pago por servicios ambientales (PSA). Estas condiciones pueden facilitar prácticas de conservación de coberturas en los predios (Lozano-Zambrano, 2009).

La logística para el acceso a insumos y mercados dedicados a fortalecer coberturas y la agrobiodiversidad en general, infraestructura vial y de transporte y mano de obra, son condiciones que permiten la consolidación de prácticas de producción agroecológica (Guzmán-Casado & Alonso-Mielgo, 2007; Parra, 2013; González-de-Molina et al., 2017).

La capacidad de gestión es un ejercicio que permite movilizar esfuerzos para fortalecer la agrobiodiversidad de las fincas. Estos pueden provenir tanto del sector institucional como de iniciativas comunitarias por un objetivo común. Asimismo, se requiere una planeación consciente de los usos del suelo que considere una perspectiva ecológica (Altieri, 1999). Un aspecto importante es la gestión y acceso a mercados para productos orgánicos o agroecológicos, que garanticen precios justos (Guzmán-Casado & Alonso-Mielgo, 2007; González-de-Molina et al., 2017).

En países como Colombia, es fundamental considerar el fraccionamiento o destrucción del tejido social en zonas donde se presentan conflictos armados, problemas de orden público y/o fenómenos de violencia. Estas situaciones disminuyen la capacidad organizativa y logística del campesinado y pequeño productor para comercializar sus productos y la capacidad de los mercados para garantizar la continuidad de la oferta alimentaria a quienes la compran.

El apoyo al desarrollo local y fortalecimiento de procesos productivos (p. e. la creación de mercados agroecológicos campesinos, sistemas participativos de garantía - SPG) son la forma de contribuir a aumentar la capacidad de acción de los agricultores y el poder de decisión de los consumidores, durante o después del cese de hostilidades (Torremocha, 2012; Álvarez-Riascos, 2016; Ángel et al., 2019).

Finalmente, el acceso a tecnologías apropiadas y adecuadas, acompañamiento técnico y capacitación en el establecimiento y manejo de especies de ciclos largos, producción agroecológica, conservación e incluso, gestión financiera, logística y administrativa son herramientas básicas para fortalecer habilidades en propietarios y/o administradores (Prager et al., 2002; Aguilar, 2017).

En la tabla 2-7 y la ecuación 2-22 se presentan las categorías de evaluación para el criterio CA.

**Tabla 2-7:** Descriptores, evaluación y valores de los indicadores de capacidad para la acción (CA) (Fuente: modificado de León-Sicard, 2021).

Criterio	Descripción	Categorías de evaluación	Valor
Capacidad económica y financiera (CEf)	Destinación de recursos financieros a procesos de conservación de coberturas, recursos naturales y/o producción agroecológica	Se cuenta con RP, AC y AP como fuentes de financiamiento de procesos de mejoramiento de coberturas y la producción agroecológica. Además, se cuenta con la posibilidad de cambiar un uso productivo a un uso de conservación (DA).	10
	RP: Ahorro o recursos propios	Se cuenta con dos de las tres fuentes de financiamiento direccionadas a procesos de mejoramiento de coberturas y la producción agroecológica. Además, se cuenta con la posibilidad de cambiar un uso productivo a un uso de conservación (DA).	8
	AC: Acceso a créditos	Se cuenta con una de las tres fuentes de financiamiento direccionados a procesos de mejoramiento de coberturas y la producción agroecológica. Además, se cuenta con la posibilidad de cambiar un uso productivo a un uso de conservación (DA).	6
	AP: Acceso a programas institucionales de apoyo (PSA, apoyo de ONGs, exención tributaria predial, entre otras)	No cuenta con fuentes externas de financiamiento, pero se cuenta con la posibilidad de cambiar un uso productivo a un uso de conservación (DA).	3
	DA: destinación de áreas con potencial productivo (sistemas agrícolas o pecuarios) a la conservación	No cuenta con fuentes externas de financiamiento ni con la posibilidad de cambiar un uso productivo a un uso de conservación (DA).	0

Capacidad logística (CLO)	Las condiciones de movilidad, disponibilidad de mano de obra calificada para trabajar en procesos de fortalecimiento de coberturas vegetales y/o producción agroecológica VAB: vías de acceso en buen estado AMT: acceso a medios de transporte VC: viveros forestales cercanos MOD: mano de obra disponible	Se cuenta con buenas vías de acceso, facilidades de acceso a medios de transporte, en las cercanías hay viveros y hay mano de obra disponible constantemente para fortalecer coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	10
		Cuenta con tres de las condiciones logísticas necesarias para el fortalecimiento de coberturas.	8
		Cuenta con dos de las condiciones logísticas necesarias para el fortalecimiento de coberturas y/o producción agroecológica.	6
		Solo cuenta con una de las condiciones logísticas necesarias para el fortalecimiento de coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	3
		No cuenta con ninguna condición logística necesaria para el fortalecimiento de coberturas y/o producción agroecológica.	0
Capacidad de gestión (CGe)	Factores de gestión de la finca para mejorar y fortalecer coberturas vegetales, promover producción y comercialización agroecológica RI: relacionamiento con las instituciones AS: asociatividad o capacidad de aliarse PP: evidencia de planificación de usos del suelo MC: mercados de comercialización	Se cuenta con cuatro factores de gestión orientados a propósitos de mantenimiento de las coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	10
		Se cuenta con tres factores de gestión orientados a propósitos de mantenimiento de las coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	8
		Se cuenta con dos factores de gestión orientados a propósitos de mantenimiento de las coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	6
		Se cuentan con un factor de gestión orientados a propósitos de mantenimiento de las coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	3
		No se cuenta con ningún factor de gestión orientado al mantenimiento de las coberturas vegetales y/o producción agroecológica.	0
Capacidad técnica y tecnológica (CTt)	ATc: acceso a tecnología adecuada/apropiada AT: asistencia técnica en temas de agricultura o ganadería ecológica/sostenible y conservación de recursos naturales AC: oferta de capacitación en temas de agricultura o ganadería ecológica/sostenible y conservación de recursos naturales	Existe acceso a tecnologías apropiadas o adecuadas. Existe oferta de asistencia técnica. Existen instituciones de fomento con oferta de programas orientados a la agrobiodiversidad y/o producción agroecológica y son frecuentes.	10
		Existe acceso a tecnologías apropiadas o adecuadas. Existe oferta de asistencia técnica. Existen instituciones de fomento con oferta de programas orientados a la agrobiodiversidad y/o producción agroecológica pero no son frecuentes.	8
		No existe acceso a tecnologías apropiadas o adecuadas. Existe oferta de asistencia técnica. No existen programas orientados a la agrobiodiversidad y/o producción agroecológica.	6
		No existe acceso a tecnologías apropiadas o adecuadas. Existe oferta de asistencia técnica pero no es frecuente o bien dirigida. Existen instituciones de fomento de programas orientados a la agrobiodiversidad y/o producción agroecológica pero no son frecuentes.	3

---



---

No existe acceso a tecnologías apropiadas o adecuadas. No existe oferta de asistencia técnica. No existen instituciones de fomento con oferta de programas orientados a la agrobiodiversidad y/o producción agroecológica.	0
--	---

---

$$CA = \frac{CEf + CLo + CGe + CTt}{4} \quad (2-22)$$

Después de obtener la valoración de los indicadores, se suman a su respectivo criterio, obteniendo una valoración individual máxima de 10 en cada uno de ellos. A su vez, los criterios se agregan, aditiva o ponderadamente, de acuerdo a la decisión e interés del investigador, según las ecuaciones 2-23 y 2-24, respectivamente. Se obtiene un resultado inal que oscila entre 0 a 100 y define cuán desarrollada se encuentra la EAP y se interpreta de acuerdo con la tabla 2-8.

$$EAP_a = CEEP + ECE + DCE + ECI + DCI + US + PM_a, PM_g + PC + PCC + CA \quad (2-23)$$

$$EAP_p = \beta_1 CEEP + \beta_2 ECE + \beta_3 DCE + \beta_4 ECI + \beta_5 DCI + \beta_6 US + \beta_7 PM_a, PM_g + \beta_8 PC + \beta_9 PCC + \beta_{10} CA \quad (2-24)$$

Donde:

$\beta_1$  a  $\beta_{10}$  = Coeficientes de ponderación de los criterios

**Tabla 2-8:** Escala de interpretación de la (EAP) de la finca (Fuente: León-Sicard, 2021).

Valor numérico	Interpretación
91 – 100	Completamente desarrollada.
81 – 90	Muy Fuertemente desarrollada.
71 – 80	Fuertemente desarrollada.
61 – 70	Moderada a fuertemente desarrollada.
51 – 60	Moderadamente desarrollada.
41 – 50	Ligera a moderadamente desarrollada.
31 – 40	Ligeramente desarrollada.
21 – 30	Débilmente desarrollada.
11 – 20	Muy débilmente desarrollada.
< 10	Sin estructura.

Si la interpretación original de la EAP se traslada a una valoración de la agrobiodiversidad, una puntuación de 91-100/100 sería un agroecosistema completamente agrobiodiverso; de 81-90, muy fuertemente agrobiodiverso; 71-80, fuertemente agrobiodiverso; 61-70, moderado a fuertemente agrobiodiverso; 51-60, moderadamente agrobiodiverso; 41-50, ligeramente agrobiodiverso; 31-40, poco agrobiodiverso; 20-31, muy poco agrobiodiverso; 11-20, débilmente agrobiodiverso <10 un agroecosistema sin agrobiodiversidad.

## 2.4 Discusión

La Estructura Agroecológica Principal o EAP refleja cómo se organiza la finca, maneja, conserva y usa su agrobiodiversidad. Desde una visión ambiental, esta propuesta integra variables tanto ecosistémicas como culturales, que representan la agrobiodiversidad tangible de sus conectores biológicos y la agrobiodiversidad intangible, en sus formas de manejo y conservación, dentro de las situaciones, historias, valores y creencias propias de cada agricultor o propietario (León-Sicard, 2021).

La utilidad la EAP en diferentes contextos y agroecosistemas se debe a la flexibilidad del índice para describir indicadores a partir de metodologías sencillas, pero que se pueden complejizar de acuerdo al presupuesto, equipo humano y alcances del proyecto (León-Sicard, 2021).

Los cálculos para su evaluación e interpretación también son sencillos y fáciles de realizar por propietarios, técnicos, estudiantes, académicos y/o tomadores de decisión, lo que puede fortalecer una metodología fundamentada en un diálogo de saberes, lo cual enriquecerá la investigación.

La facilidad para evaluar el índice, permitiría la creación de una aplicación digital descargable en dispositivos móviles, localizados en cualquier zona rural, alimentando una gran base de datos en un servidor institucional y de uso libre (si los propietarios deciden compartir la información). Los datos y meta-análisis podrían ser útiles en campos como la planeación territorial, tipificación de productores, predicciones sobre el comportamiento de la agrobiodiversidad, entre otras. Los factores que limitarían su uso generalizado serían, principalmente, la verificación de la calidad de la información suministrada y la cobertura de señal 3G y 4G.

Es importante resaltar que el objetivo del índice es poder aplicarlo de forma universal. Sin embargo, es necesario considerar algunos aspectos en su medición y adaptar indicadores y rangos de valoración a ciertas particularidades de las zonas de estudio. Por ejemplo, en el presente caso, los rangos de valoración de los criterios de diversidad de conectores (III y V) se ajustaron a la riqueza y estructura vertical típica de los bosques premontanos de la región andina de Colombia, resultado de sus condiciones climáticas y fisiográficas particulares (Cuatrecasas, 1958).

En la región neotropical, la ganadería es uno de los renglones productivos más representativos (Murgueitio et al., 2009) por lo que sus formas de manejar la agrobiodiversidad fueron consideradas en esta propuesta. En otras regiones, el cultivo piscícola, caprino, porcícola y/o avícola pueden ser los ejes más importantes dentro de la producción de la finca, lo que hace necesario generar criterios de evaluación propios. Este argumento puede ser aplicado a ciertas prácticas tradicionales de cultivo como la agricultura migratoria “de tumba, roza y quema”. Aunque criticada por su impacto sobre suelos y bosques, expresa otras realidades y posibilidades de agricultores locales. El índice podría adaptarse y recoger estas particularidades.

Otros indicadores culturales se podrían adaptar o modificar, de acuerdo a los contextos locales, dadas las diversas de formas de pensar y decidir individual o colectivamente sobre los territorios. Algunas organizaciones sociales no reconocen la autoridad del estado ni sus instituciones (p. e. el movimiento zapatista en México y lo indígenas Nasa en Colombia), construyendo sus propios sistemas de justicia, educación, salud y producción alimentaria, basados en la participación activa de sus miembros (Franco-Valencia & Sánchez, 2018; R. García, com. pers.). En estos escenarios la capacidad técnica y tecnológica dentro del criterio de capacidades para la acción debería ponderar estas relaciones comunitarias y organizativas, donde el estado y mercado tienen poca incidencia.

También es importante mencionar ciertas desventajas, razones que no demeritan su aplicabilidad. Como todo índice, es una agregación cuantitativa y cualitativa de criterios e indicadores para generar un único valor, que puede dar la idea de una visión simplista del atributo o sistema de estudio. Igualmente, puede poseer unidades de medida diferentes,

---

según los indicadores, dificultando su medición (Mayer, 2008). De igual forma un índice agregado puede ocultar indicadores de interés para el investigador, perdiendo información. No obstante, un índice de esta naturaleza, al recoger múltiples dimensiones del atributo, puede mantener la coherencia y centrar al investigador “simplificando el problema” (Mayer, 2008).

Según Beaver & Belloff (2000), las métricas deberían ser simples, fáciles de evaluar, comprensibles, costo-efectivas, reproducibles, robustas, no contradictorias y útiles para adoptar decisiones, entre otras. Algunos indicadores de la EAP, en particular aquellos contenidos en el criterio de prácticas de manejo –PM, contiene varias variables dentro del mismo indicador, por lo que disminuye su sencillez y claridad y se presta a una ineludible subjetividad. Fueron elaborados con la intención de recoger la mayor cantidad posible de prácticas agrobiodiversas en cada fase de la producción, que podrían aumentar la agrobiodiversidad de los sistemas productivos.

Para superar estas “limitaciones”, surge la necesidad de que el investigador:

- . Comprenda cada uno de los indicadores (y sus variables) e identifique su importancia de acuerdo a los objetivos del estudio particular. Esto le permitiría, con conocimiento de causa, eliminar ciertas variables relacionadas que complejicen demasiado el indicador, pero que no comprometan su intención.

- . Agregue, de manera ponderada, los indicadores construidos con la misma unidad de medida, dentro del criterio, como fue propuesto para la agregación de los criterios dentro del índice (ver Ecuación 2-24).

También es deseable que el investigador interesado combine metodologías complementarias para “resaltar” la importancia de los indicadores que puedan “escondarse” atrás de la valoración final del índice. Metodologías cuantitativas, como los diagramas AMOEBA (Ten Brink, 1999) y cualitativas, como la Matriz de Estructura de Diseño (MIT, 2021) permiten visualizar el estado de los diferentes indicadores, dentro de la escala de valoración construida y que estructuran el sistema llamado EAP (ver Capítulo 3).

Las pruebas multivariadas pueden ser otra alternativa para evidenciar la importancia de ciertos indicadores, frente a otros, como el Análisis de Componentes Principales (PCA) (Hill & Gauch, 1980), el cual recoge la variabilidad en pocas dimensiones, o componentes principales, reflejando los indicadores que más contribuyen a esta conformación y seleccionar el modelo de acuerdo a su ajuste (ver capítulo 5).

Al considerar la agrobiodiversidad como uno de los atributos para garantizar la sustentabilidad a nivel de finca, no debería escaparse un análisis comparativo del índice con los marcos metodológicos para su evaluación (Astier et al., 2008; Acevedo-Osorio & Angarita-Leiton, 2013; Barrantes et al., 2018). En los primeros, sus indicadores pueden ser observados a simple vista, por lo que la información no está oculta (Mayer, 2008) y el uso

de metodologías complementarias le dan robustez a las conclusiones (Astier et al., 2008). Sin embargo, la complejidad y multidimensionalidad en sus propuestas, entrañan una dificultad en la evaluación múltiple y temporal, solo siendo posible de forma cualitativa (Mayer, 2008).

El índice no reemplaza, como se afirmó anteriormente, otras aproximaciones y análisis necesarios para entender la complejidad de los agroecosistemas. No describe sus funciones ni tampoco exige a los interesados para adelantar estudios de otra índole. Más bien, el índice, desde una evaluación amplia, aunque limitada, de la agrobiodiversidad podría complementar acercamientos detallados de la sustentabilidad multidimensional de los agroecosistemas y ser parte de otros ejercicios de valoración o cualificación de las fincas, a nivel individual o en sus agregados espaciales de matrices.

Por otro lado, la descripción de la EAP de los agroecosistemas adquiere gran importancia al conectar la finca con el paisaje, a través de la agrobiodiversidad. En los denominados paisajes rurales, la matriz del paisaje la constituye un tipo particular de cobertura antrópica o un mosaico de sistemas productivos con características culturales y biológicas propias (Lozano-Zambrano, 2009). Sin embargo, al aumentar la escala de apreciación, un paisaje rural está compuesto a su vez de unidades más grandes: las fincas. Para Hart (1985) la finca es la unidad de producción agropecuaria (según él compuesta por agroecosistemas o cultivos) y para León-Sicard (2010; 2014) es el espacio en el que confluyen las relaciones complejas entre los ecosistemas y la cultura (según él, los agroecosistemas mayores). Así pues, la finca es la unidad espacial mínima en el territorio rural donde se dan procesos productivos y también se manifiestan todas las propiedades y elementos ecológicos y culturales de un paisaje.

Desde esta visión, las fincas, donde se encuentran los diferentes hábitats o elementos del paisaje, podrían ser consideradas como las unidades de análisis de la agrobiodiversidad, de cuyas evaluaciones se podrían construir acercamientos más holísticos para entender cómo se estructura, utilizando tanto acercamientos provenientes de la ecología del paisaje como métricas que consideren factores del orden cultural (Quintero et al., 2022).

Esta necesidad de interdisciplinariedad en la evaluación de la agrobiodiversidad ha sido manifestada recientemente por la FAO (2018b; 2019); la cual concluye que para llevar a cabo este propósito, las metodologías cualitativas, propias de disciplinas sociales deben acompañar las metodologías cuantitativas, ya tradicionalmente usadas para evaluar la diversidad biológica (Magurran, 2004; Legendre et al., 2005).

La EAP viene a constituirse en un índice ambiental que recoge ambas dimensiones y algunas de sus metodologías, para entender cómo se estructura la agrobiodiversidad, principalmente en lo local, pero que reconoce en el paisaje, un efecto modelador. A su vez, las fincas en conjunto, y las decisiones que tomen sus propietarios, moldean el agro-paisaje. Es por eso que la EAP permite también materializar y visibilizar tanto a las fincas en sí mismas, como a los agricultores, cuyas decisiones son fundamentales para organizar el territorio en esas escalas de menor dimensión (y mayor amplitud espacial) que se utilizan en el ordenamiento territorial (León-Sicard, 2021).

Las aplicaciones de la EAP en el contexto de la agroecología y del análisis ambiental en Colombia han sido múltiples: utilizada en la historia ambiental para reconocer y cuantificar cambios en las estructuras de territorios y paisajes rurales (Pinzón, 2014); en el análisis de la resiliencia al cambio climático (Córdoba-Vargas, 2016; Cleves, 2018; Lozano, 2019); en la sanidad de cultivos (Cleves, 2018); en su relación con la visita de abejas polinizadoras en cafetales (Cepeda et al., 2014); en seguridad y autonomía alimentaria (Lucco, 2019); en la aplicación de índices de la economía ecológica como la apropiación humana de la productividad primaria neta o AHPPN (Daza-Cruz, 2020). Actualmente se desarrollan estudios que relacionan este índice con la conectividad biológica entre sistemas ganaderos y coberturas boscosas (Suárez, en preparación) y rescate de especies y conocimientos ancestrales (García, en preparación).

Finalmente, la EAP brinda la posibilidad de relacionar la agrobiodiversidad de las fincas con la diversidad y actividad funcional de especies de importancia en el reciclaje de nutrientes y fertilidad de los suelos (ver capítulos 4, 5 y 6), relaciones ambientales (huella hídrica, ordenamiento territorial, planificación territorial, conflicto armado) y otras cualidades propias de los agroecosistemas y paisajes rurales sustentables (p. e. productividad, resiliencia) (León-Sicard, 2021).

## 2.5 Conclusiones

La nueva propuesta del índice de la Estructura Agroecológica Principal recoge, a partir de 10 criterios y 29 indicadores, tanto ecológicos como culturales, diferentes aspectos de la agrobiodiversidad presente en los agroecosistemas. Incluye la evaluación de la conectividad espacial, la composición estructural y florística de los conectores biológicos y las prácticas de manejo y conservación, que están motivadas por las diversas percepciones, motivaciones y posibilidades del propietario para matener o mejorar su agrobiodiversidad, con incidencia en el paisaje circundante.

La naturaleza ambiental del índice puede permitir una descripción amplia y detallada, aunque limitada a ciertos componentes, la agrobiodiversidad natural y cultural del agroecosistema. Los indicadores de naturaleza más subjetiva al productor, como son la *Percepción-Conciencia y Conocimiento* y *Capacidad para la Acción*, no son en un sentido estricto elementos de la agrobiodiversidad, pero articulan la posibilidad que los agroecosistemas la mantengan, no solamente la que es evaluada a través de los indicadores que conforman la EAP, si no también aquella asociada a los conectores biológicos y sistemas productivos, mantenida por las prácticas de manejo y conservación.

La facilidad y flexibilidad del índice para adicionar, modificar o ponderar indicadores dentro de los 10 criterios establecidos, permite que la herramienta pueda ser aplicada en muchos contextos, obteniéndose un único valor de agrobiodiversidad a nivel de finca, usado con propósitos comparativos. Una vez incorporados métodos complementarios para visualizar, relacionar y extraer indicadores o criterios, con mayor peso en estructurar la

agrobiodiversidad, será posible evidenciar la importancia de ciertos factores ecológicos o culturales en la conformación de la EAP o sobre el atributo ambiental que el investigador esté estudiando y pretenda relacionar con el índice.

La EAP responde a la necesidad, evidenciada por la FAO, de integrar metodologías propias de las ciencias naturales como sociales para evaluar la agrobiodiversidad a varias escalas espaciales. Así mismo, la integración de este índice a propuestas como los marcos metodológicos para evaluar la sustentabilidad a nivel de finca, contribuiría a ampliar sus alcances, en lo que se refiere a una medición más completa de la agrobiodiversidad.

## 2.6 Bibliografía

Abadie, J. C.; Andrade, C.; Machon, N. & Porcher, E. (2008). On the use of parataxonomy in biodiversity monitoring: a case study on wild flora. *Biological Conservation* 17(14), 3485-3500.

Acevedo-Osorio, Á. & Angarita-Leiton, A. (2013). Metodología para la evaluación de sustentabilidad a partir de indicadores locales para el diseño y desarrollo de programas agroecológicos, MESILPA. Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Aguilar, F. F. (2017). Reseña sobre el estado actual de la agroecología en Cuba. *Agroecología* 12(1), 7-18.

Altieri, M. (1999). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan comunidad, Montevideo.

Altieri, M. & Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático. *Agroecología* 8(1), 7-20.

Altieri, M. & Nicholls, C. (2019). Agroecología y diversidad genética en la agricultura campesina. *LEISA Revista de Agroecología* 35, 22-25.

Altieri, M. & Trujillo, J. (1987). The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Human Ecology* 15(2), 189-220. <https://doi.org/10.1007/BF00888380>

Amend, T.; Brown, J.; Kothari, A.; Phillips, A. & Stolton, S. (Eds.) (2008). *Protected landscapes and agrobiodiversity values*. Volume 1 in the series, *Protected Landscapes and Seascapes*, IUCN & GTZ. Kasperek Verlag, Heidelberg.

Ángel, D.; Aristizábal, C. & Redmac. (2019). Construyendo desde la base una opción de vida: experiencia de la Red de Mercados Agroecológicos Campesinos del Valle del Cauca-Redmac. En: Acevedo-Osorio, A. & Jiménez-Reinales, N. (Comps.). *La agroecología. Experiencias comunitarias para la Agricultura Familiar en Colombia*. (pp. 161-181). Corporación Universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO, Editorial Universidad del Rosario, Bogotá.

Álvarez-Riascos, K. T. (2016). Desarrollo local como herramienta de posconflicto en Colombia. *GeoGraphos* 7(82), 1-35.

---

Astier, M.; Masera, O. R. & Galván-Miyoshi, Y. (Coord.) (2008). Evaluación de la Sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE/ CIGA/ ECOSUR/ CIEco/ UNAM/ GIRA/ Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, Catarroja.

Barrantes, C.; Siura, S.; Castillo, E.; Huarcaya, M. & Rado, J. (2018). Manual para el análisis de la sostenibilidad de sistemas de producción de la agricultura familiar. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Lima.

Beaver, E. & Beloff, E. (2000). Sustainability indicators and metrics of industrial performance. SPE International 60982. Society of Petroleum Engineers, Inc., Stavenger.

Biodiversity International. (2019). Agrobiodiversity Index Report 2019: Risk and Resilience. Rome: Biodiversity International. <https://hdl.handle.net/10568/100820>

Blanco-Valdes, Y. (2016). El Rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales* 37(4), 34–56. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10964.19844>

Bonney, R.; Cooper, C. B.; Dickinson, J.; Kelling, S.; Phillips, T.; Rosenberg, K. V. & Shirk, J. (2009). Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience* 59(11), 977-984.

Burchfield, E. K.; Nelson, K. S. & Spangler, K. (2019). The impact of agricultural landscape diversification on U.S. crop production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 285, 106615. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106615>

Capra, F. (1996). *La trama de la vida*. Editorial Anagrama, Barcelona.

Centro Nacional de Memoria Histórica. (2013). *La política de reforma agraria y tierras en Colombia. Esbozo de una memoria institucional*. Imprenta Nacional, Bogotá.

Cepeda, J.; Gómez, D. & Nicholls, C. (2014). La estructura importa: abejas visitantes de café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología* 40(2), 241-250.

Chander, M.; Subrahmanyeswari, B.; Mukherjee, R. & Kumar, S. (2011). Organic livestock production: an emerging opportunity with new challenges for producers in tropical countries. *Revue Scientifique et Technique* 30, 969-983.

Chaplin-Kramer, R.; O'Rourke, M. E.; Blitzer, E. J. & Kremen, C. (2011). A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters* 14(9), 922-932. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>

Chaves, M.E.; Santamaría, M. & Sánchez, E. (2007). Alternativas para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad de los Andes colombianos. Resultados 2001-2007. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.

Cleves, J.A. (2019). Resiliencia de agroecosistemas cítricos a la variabilidad climática en el departamento del Meta, Colombia. Tesis de Doctorado en Agroecología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Clavijo, N. & Sánchez, H. (2019). Agroecología, seguridad y soberanía alimentaria. El caso de los agricultores familiares de Tibasosa, Turmequé y Ventaquemada en Boyacá. En:

Acevedo-Osorio, A. & Jiménez-Reinales, N. (Comps.). La agroecología. Experiencias comunitarias para la Agricultura Familiar en Colombia. (pp. 35-58). Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. Editorial Universidad del Rosario, Bogotá.

Convenio de Diversidad Biológica -CDB. (2008). La Biodiversidad y la Agricultura. Salvaguardando la biodiversidad y asegurando alimentación para el mundo. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica 3,2. PNUMA, Montreal.

Córdoba-Vargas, C. (2016). Resiliencia y variabilidad climática en agroecosistemas cafeteros en Anolaima (Cundinamarca-Colombia). Tesis de Doctorado en Agroecología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Cortés, A.; Acevedo-Osorio, Á. & Báez, C. (2019). Importancia de la agrobiodiversidad y agregación de valor a productos agroecológicos en la asociación Apacra en Cajamarca, Tolima. En: Acevedo-Osorio, A. & Jiménez-Reinales, N. (Comps.). La agroecología. Experiencias comunitarias para la Agricultura Familiar en Colombia. (pp. 113-135). Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO, Editorial Universidad del Rosario. Bogotá.

Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural en Colombia. Revista de La Academia Colombiana de Las Ciencias Exactas 10(40), 221-268.

Cummings, J. R. & Vessey, S. H. (1994). Agricultural Influences on movement patterns of white-footed mice (*Peromyscus leucopus*). The American Midland Naturalist 132(2), 209-218. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2426575>

Dabuer, J. & Wolters, V. (2004). Edge effects on ant community structure and species richness in an agricultural landscapes. Biodiversity and Conservation 13, 901-915.

Daza-Cruz, Y. X. (2020). Apropiación humana de la producción primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional. Tesis de Maestría. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

De Boef, W. S.; Thijssen, M. H.; Shrestha, P.; Subedi, A.; Feyissa, R.; Gezu, G.; Canci, A.; da Fonseca, M. A. J.; Dias, T.; Swain, S. & Sthapit, B. R. (2012). Moving beyond the dilemma: Practices that contribute to the on-farm management of agrobiodiversity. Journal of Sustainable Agriculture 36(7), 788-809. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.695329>

Dunning, J. B.; Danielson, B. J. & Pulliam, H. R. (1992). Ecological processes that affect populations in complex landscapes. Oikos 65(1), 169-175.

Edwards, C. A.; Grove, T. L.; Harwood, R. R. & Pierce, C. J. (1993). The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 46(1-4), 99-121. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90017-J](https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90017-J)

Fagan, W. F.; Cantrell, R. S. & Cosner, C. (1999). How habitat edges change species interactions? The American Naturalist 153, 165-182.

Fahrig, L. (2017). Ecological responses to habitat fragmentation *per se*. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 48, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>

---

Fahrig, L. & Merriam, G. (1985). Habitat patch connectivity and population survival. *Ecology* 66(6), 1762-1768. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2937372>

Fahrig, L. & Merriam, G. (1994). Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology* 8(1), 50-59.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2011). Biodiversity for food and agriculture. Contributing to food security in a changing world. FAO – PAR, Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2015). Principles for the assesment of livestock impacts on biodiversity. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership, Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2018a). Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) - Ministerio de Ambiente y Desarrollo, Gobierno de Colombia, Bogotá.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2018b). The 10 elements of agroecology. Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems, Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2019). FAO's tool for agroecology performance (TAPE): processes of development and guidelines for application: Test version. Roma.

Foley, J.; Defries, R.; Asner, G. P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S. R.; Chapin, S. F.; Coe, M. T.; Daily, G.; Gibbs, H. K.; Helkowski, J. H.; Holloway, T.; Howard, E. A.; Kucharik, J.; Monfreda, C.; Patz, J. A.; Prentice, C.; Ramankutty, N. & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.

Forman, R. & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley y Sons, New York.

Franco-Valencia, M. & Sánchez, M. (2018). Life plan for the Yaquivá indigenous reservation in the municipality of Inza, Cauca Colombia, from the perspective of Agroecology. *Agronomía Colombiana* 36(2), 143-151.

Fuentes, M.C.; Ajata, R.; Serrano, M. & Céspedes, A. (2013). Evaluación de la agrobiodiversidad en los agroecosistemas del PN-ANMI Serranía del Iñao (Bolivia, Chuquisaca). *Acta Nova* 6(3), 165-193.

Gabriel, J. L.; Quemada, M.; Martín-Lammerding, D. & Vanclooster, M. (2019). Assessing the cover crop effect on soil hydraulic properties by inverse modelling in a 10-year field trial. *Agricultural Water Management* 222, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.034>

Garibaldi, L. A.; Steffan-Dewenter, I.; Kremen, C.; Morales, J. M.; Bommarco, R.; Cunningham, S. A.; Carvalheiro, L. G.; Chacoff, N. P.; Dudenhöffer, J. H.; Greenleaf, S. S.; Holzschuh, A.; Isaacs, R.; Krewenka, K.; Mandelik, Y.; Mayfield, M. M.; Morandin, L. A.; Potts, S. G.; Ricketts, T. H.; Szentgyörgyi, H., ... & Klein, A. M. (2011). Stability of pollination

services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters* 14(10), 1062-1072. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x>

Giraldo, C.; Escobar, F.; Chará, J. D. & Calle, Z. (2011). The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4(2), 115-122. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00112.x>

Gliessman, S. (2004). Agroecology and agroecosystems. En: Gliessman, S. (Ed.). *Agroecosystems analysis*. (pp. 19-30). American Society of Agronomy 43.

González-de-Molina, M.; García, D. & Casado, G. (2017). Politizando el consumo alimentario: estrategias para avanzar en la transición agroecológica. *Redes* 22(2), 31–55. <https://doi.org/10.17058/redes.v22i2.9430>

Guzmán-Casado, G. & Alonso-Mielgo, A. (2007). La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas* 16(1), 24-36. <https://doi.org/10.7818/re.2014.16-1.00>

Guzmán-Casado, G.; González-de-Molina, M. & Sevilla-Guzmán, E. (2000). *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Hart, R. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.

Hill, M.O. & Gauch, H.G. (1980). Detrended Correspondence Analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42, 47-58.

Isbell, F.; Adler, P. R.; Eisenhauer, N.; Fornara, D.; Kimmel, K.; Kremen, C.; Letourneau, D. K.; Liebman, M.; Polley, H. W.; Quijas, S. & Scherer-Lorenzen, M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology* 105(4), 871–879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>

Japanese International Cooperation Agency - JICA (2015). *Guía técnica para cosechar el agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en la Sierra*. Riobamba. <http://www.jica.go.jp/project/spanish/ecuador/001/Index.html>

Kijlstra, A., & Eijck, I. A. J. M. (2006). Animal health in organic livestock production systems: A review. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 54(1), 77–94. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(06\)80005-9](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(06)80005-9)

Kindlmann, P. & Burel, F. (2008). Connectivity measures: A review. *Landscape Ecology* 23(8), 879-890. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9245-4>

Kniivilä, M. & Saastamoinen, O. (2002). The opportunity costs of forest. *Silva Fennica* 36, 853-865.

Kuussaari, M.; Bommarco, R.; Heikkinen, R. K.; Helm, A.; Krauss, J.; Lindborg, R.; Öckinger, E.; Pärtel, M.; Pino, J.; Rodà, F.; Stefanescu, C.; Teder, T.; Zobel, M. & Steffan-Dewenter, I. (2009). Extinction debt: A challenge for biodiversity conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 24(10), 564-571. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.04.011>

Lal, R. (2020). Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation* 75(5), 123-124.

---

Lagos-Burbano, T.C.; Vélez, J.A. & Andrade, D. (2020). Estado de la agrobiodiversidad en sistemas productivos de café al sur de Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias* 12(2). <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/513/5132508001/>

Lavelle, P. & Spain, A. (2001). *Soil ecology*. Kluwer Academic Publisher, New York.

Legendre, P.; Borcard, D. & Peres-Neto, P. (2005). Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs* 75, 435-450.

Leguia, D. & Moscoso, F. (2015). Análisis de costos de oportunidad y potenciales flujos de ingresos por REDD+. Una aproximación económica-espacial aplicada al caso de Ecuador. Programa Nacional Conjunto ONU REDD+ Ecuador y Ministerio de Ambiente del Ecuador, Quito.

León-Sicard, T. E. (2010a). Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. En: León-Sicard, T. & Altieri, M. (Eds.). *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones* (pp. 45-68). Universidad Nacional de Colombia y SOCLA, Bogotá.

León-Sicard, T. E. (2010b). Regulación biológica en la agricultura de pequeña escala: un enfoque desde la sostenibilidad. En: León-Sicard, T. & Altieri, M. (Eds.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones* (pp. 271-293). Universidad Nacional de Colombia y SOCLA, Bogotá.

León-Sicard, T. E. (2014). *Perspectiva ambiental de la agroecología. La ciencia de los agroecosistemas*. IDEAS – UNAL, Bogotá.

León-Sicard, T. E. (2019). La dimensión simbólica de la agroecología. *Rev. FCA Uncuyo* 51(1), 395-400.

León-Sicard, T. (2021). *La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas. Perspectivas teórico-prácticas*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

León-Sicard, T. E.; Calderón, J. T.; Martínez-Bernal, L. F. & Cleves-Leguizamo, J. A. (2018). The Main Agroecological Structure (MAS) of the agroecosystems: Concept, methodology and applications. *Sustainability* 10(9). <https://doi.org/10.3390/su10093131>

Letourneau, K. D.; Armbrrecht, I.; Rivera, S. B.; Lerma, M. J.; Jiménez-Carmona, E.; Daza, C. M.; Escobar, S.; Galindo, V.; Gutierrez, C.; Lopez, D. S.; Mejia, L. J.; Rangel, A. A, M.; Rangel, H. J., Saavedra, C. A.; Torres, M. A. & Trujillo, R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 21(1), 9-21.

Leyva, Á. & Lores, A. (2012). Nuevos índices para evaluar la agrobiodiversidad. *Agroecología* 7(1), 109-115.

Leyva, Á. & Lores, A. (2018). Assessing agroecosystem sustainability in Cuba: A new agrobiodiversity index. *Elementa*, 6. <https://doi.org/10.1525/elementa.336>

Lovelock, J. E. (1990). Hands up for the Gaia hypothesis. *Nature* 344, 100-102. <https://doi.org/10.1038/344100a0>

Lozano, L. (2019). Resiliencia de agroecosistemas campesinos a la variabilidad climática en tres municipios de Boyacá, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Lozano-Zambrano, F. H. (Ed.) (2009). Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Bogotá.

Lucco, P. (2019). Saberes ancestrales y autonomía alimentaria en fincas de agricultura familiar campesina en tres municipios de Boyacá, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Económicas, Bogotá.

Massachusetts Institute of Technology-MIT (2021). Design Structure Matrix. Complex Systems Engineering Course. <http://web.mit.edu/dsm>

Mayer, A. (2008). Strengths and weaknesses of common sustainability development indices fo multidimensional systems. *Environmental International* 34, 277-291.

Miatton, M. & Karner, M. (2020). Regenerative agriculture in Latin America. Mustardseed Trust. Research Reports, London.

Moreno, A.M. & Rivera, J.H. (2003). Rotación de cultivos intercalados de café con manejo integrado de arvenses. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 307.

Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. 15, 78. Descargado el 1 de julio de 2021. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm>

Murgueitio, E. & Calle, Z. (1999). Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. En: Sánchez, M. & Rosales, M. (Eds.). *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. Estudio FAO sobre producción y sanidad animal 143. Roma.

Murgueitio, E., Cuartas, C. & Naranjo, J. (2009). *Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo*. Fundación CIPAV, Cali.

Murgueitio, E.; Uribe, F.; Molina, C.; Galindo, W.; Chará, J.; Flores, M.; Giraldo, C.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Solarte, L. & González, L. (2016). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena*. Editorial CIPAV, Cali.

Nabhan, G. P. & Sheridan, T. E. (1977). Living fencerows of the Rio San Miguel, Sonora, Mexico: Traditional technology for floodplain management. *Human Ecology* 5(2), 97–111. <https://doi.org/10.1007/BF00889538>

Nair, V. D. & Graetz, D. A. (2004). Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: the Florida experience. *Agroforestry Systems* 6, 269-279.

Nietschmann, B. (1992). The interdependence of biological and cultural diversity. Center of World Indigenous Studies. Occasional Paper No. 21.

Okuda, M. & Gómez-Restrepo, R. (2005). Métodos en investigación cualitativa: triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría* 34(1), 118-124.

---

Palm, C.; Blanco-Canqui, H.; DeClerck, F.; Gatere, L. & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>

Parra, R. (2013). La Agroecología como un modelo económico alternativo para la producción sostenible de alimentos. *Pensamiento y Praxis* 3, 24-36.

Pérez-García, J. M.; Sebastián-González, E.; Alexander, K. L., Sánchez-Zapata, J. A. & Botella, F. (2014). Effect of landscape configuration and habitat quality on the community structure of water birds using a man-made habitat. *European Journal of Wildlife Research* 60(6), 875–883. <https://doi.org/10.1007/s10344-014-0854-8>

Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurtz, D.; McNair, C.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R. & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267(5021), 1117-1123.

Pimentel, D.; Stachow, U.; Takacs, D. A.; Brubaker, H. W.; Amy, R.; Meaney, J. J.; Neil, J. A. S. O.; Onsi, D. E.; Corzilius, D. B.; Dumas A. R. & Neil, O. (1992). Conserving biological diversity in most biological diversity exists in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42(5), 354-362.

Pinzón, A. & Amézquita, E. (1991). Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Revista Pasturas Tropicales* 13(2), 21-26.

Plazas, N. & García, J. (2014). Los abonos orgánicos y la agremiación campesina: una respuesta a la agroecología. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 12(2), 170-176.

Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1554), 2959–2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>

Quintana, A. (2006). Metodología de investigación científica cualitativa. In Quintana, A. & Montgomery, W. (Eds.). *Psicología: Tópicos de actualidad*. (pp. 41–48). Universidad Mayor de San Marcos, Lima.

Quintero, I.; Daza-Cruz, Y. & León-Sicard, T. (2022). Connecting farms and landscapes through agrobiodiversity: the use of drones in mapping the Main Agroecological Structure. En: De Marchi, M.; Pappalardo, S. & Diantini, A. (Eds). *Drones and geographical information technologies in agroecology and organic farming*. (pp. 247-275). CRC Press, Padua.

Rand, T. A.; Tylanakis, J. M. & Tschardtke, T. (2006). Spillover edge effects: The dispersal of agriculturally subsidized insect natural enemies into adjacent natural habitats. *Ecology Letters* 9(5), 603–614. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00911.x>

Rangel, J. O. & Lozano, G. (1986). Un perfil de la vegetación entre La Plata (Huila) y el volcán de Puracé. *Caldasia* 14(68-70), 503-547.

Rosales-González, M.; Cervera-Arce, G.; Benavides-Rosales, G. & Guardianes de las semillas del sur de Yucatán. (2019). Conservación *in situ* de semillas de la milpa.

Experiencia y propuesta para el cuidado del patrimonio biocultural maya. LEISA Revista de Agroecología 35, 18-21.

Rosenthal, V. & Visetti, Y. M. (1991). Sens et temps de la Gestalt. *Intellectica* 28(1), 147-227.

Sadeghian, S.; Rivera, J.M.M. & Gómez, M.E. (2009). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características de suelos en los Andes de Colombia En: FAO (Ed). *Agroforestería para la producción ganadera en Latinoamérica*. Conferencia Electrónica de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/siavosh6.pdf>

Salazar-Barrientos, L.; Magaña-Magaña, M.; Aguilar-Jiménez, A. & Ricalde, M. (2016). Factores socioeconómicos asociados al aprovechamiento de la agrobiodiversidad de la milpa en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(9), 391-400. <https://doi.org/10.19136/era.a3n9.724>

Sánchez, M.; Restrepo, J.; Ángel, D.; Malagón, R. & Zamorano, A. (2002). *Agroecología. Una disciplina para el estudio y desarrollo de sistemas sostenibles de producción agropecuaria*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, Palmira.

Simberloff, D. S. & Abele, L. G. (1976). Island biogeography theory and conservation practice. *Science* 191(4224), 285-286. <https://doi.org/10.1126/science.191.4224.285>

Sosa, B.A.; Sánchez, M. & Sanclemente, O. (2014). Influencia de abonos verdes sobre la dinámica del nitrógeno en un *Typic Hapluster* del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 63(4), 343-351.

Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T. D. & Castel, V. (2006). *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*. FAO, Roma.

Strauss, A. & Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar teoría fundamentada*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.

Strong, L. (1992). Avermectins: a review of their impact on insects of cattle dung. *Bulletin of Entomological Research* 82, 265-274.

Taylor, P. D.; Fahrig, L.; Henein, K. & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68(3), 571-573.

Ten Brink, B.J.E.; Hopper, S.H. & Colin, F. (1991). A quantitative method for description and assesment of ecosystems: the amoeba-approach. *Marine Pollution Bulletin* 23, 265-270.

Thies, C.; Steffan-Dewenter, I. & Tschamtkke, T. (2003). Effects of landscape context on herbivory and parasitism at different spatial scales. *Oikos* 101(1), 18-25. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12567.x>

Thies, C. & Tschamtkke, T. (1999). Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285(5429), 893-895. <https://doi.org/10.1126/science.285.5429.893>

Toledo, V. (2003). *Ecología, espiritualidad y conocimiento*. PNUMA Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Universidad Iberoamericana, México D.F.

---

Toledo, V. & Barrera-Bassols, N. (2008). La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria editorial. Barcelona.

Toro, P.; García, A.; Gómez-Castro, A.G.; Perea, J.; Acero, R.; & Rodríguez-Estévez, V. (2000). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. Archivos de Zootecnia 59, 71-94.

Torremocha, E. (2012). Sistemas participativos de garantía. Una herramienta clave para la soberanía alimentaria. Revista Soberanía, Biodiversidad y Culturas. Mundubat Editores. Disponible en: [https://ddd.uab.cat/pub/estudis/2012/174199/sispargar\\_a2012.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/estudis/2012/174199/sispargar_a2012.pdf)

Tscharntke, T.; Klein, A. M.; Kruess, A.; Steffan-Dewenter, I. & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - Ecosystem service management. Ecology Letters 8(8), 857-874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>

Tscharntke, T.; Sekercioglu, C. H.; Dietsch, T. V.; Sodhi, N. S.; Hoehn, P. & Tylianakis, J. M. (2008). Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. Ecology 89(4), 944-951.

Turner, M. G.; Gardner, R. H. & O'Neill, R. V. (2001). Landscape ecology in theory and practice. Springer-Verlag, Ney York.

Vaarst, M.; Padel, S.; Hovi, M.; Younie, D. & Sundrum, A. (2005). Sustaining animal health and food safety in European organic livestock farming. Livestock Production Science 94(1-2), 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.11.033>

Vallejo, V. E.; Roldan, F. & Dick, R. P. (2010). Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. Biology and Fertility of Soils 46(6), 577-587. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0466-8>

Van der Hammen, T. & Andrade, G. (2003). Estructura ecológica principal de Colombia. In Informe final. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá.

Van Gerth, A.; van Rossum, F. & Triest, L. (2010). Do liner landscape elements in farmland act as biological corridors for pollen dispersal? Journal of Ecology 98, 178-187.

Vargas-Melgarejo, L. M. (1994). Sobre el concepto de percepción. Ateridades 4(8), 47-53. <https://doi.org/10.4067/s0718-22952008000100003>

Vasseur, C.; Joannon, A.; Aviron, S.; Burel, F.; Meynard, J. M. & Baudry, J. (2013). The cropping systems mosaic: How does the hidden heterogeneity of agricultural landscapes drive arthropod populations? Agriculture, Ecosystems and Environment 166, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.013>

Velázquez, A. & Bocco, G. (2004). Cambio en el uso del suelo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1-5.

Verdú, J.R.; Cortes, V.; Martínez-Pinna, J.; Ortíz, A.; Lumaret, J.P.; Lobo, J.M.; Sánchez-Piñero, F. & Numa, C. (2018a). First assesment of the comparative toxicity of ivermectin

and moxidectin in adult dug beetles: Sub-lethal symptoms and pre-lethal consequences. *Scientific Reports* 8, 14885. doi: 10.1038/s41598-018-33241-0

Verhulst, N.; Carrillo-García, A.; Moeller, C.; Trethowan, R.; Sayre, K. D. & Govaerts, B. (2011). Conservation agriculture for wheat-based cropping systems under gravity irrigation: Increasing resilience through improved soil quality. *Plant and Soil* 340(1), 467–479. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0620-y>

Verhulst, N.; François, I. & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Veracruz.

Wezel, A.; David, A.; Ferrer, A.; Letort, A.; Féret, S.; Peigné, J.; Vian, J. F. & Celette, F. (2014). Agroecological practices supporting the provision of goods and services in agriculture. Examples from France and Europe. ISARA, Lyon.

Wezel, A.; Goette, J.; Lagneaux, E.; Passuello, G.; Reisman, E.; Rodier, C. & Turpin, G. (2018). Agroecology in Europe: Research, education, collective action networks, and alternative food systems. *Sustainability* 10(4). <https://doi.org/10.3390/su10041214>

Whittaker, R. H. (1967). Gradient analysis of vegetation. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 42(2), 207-264. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1967.tb01419.x>

Wiegand, T.; Moloney, K. A.; Naves, J. & Knauer, F. (1999). Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: A spatially explicit perspective. *American Naturalist* 154(6), 605–627. <https://doi.org/10.1086/303272>

Wilken, G. C. (1972). Microclimate management by traditional farmers. *Geographical Review* 62(4), 544. <https://doi.org/10.2307/213267>

Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press, Boston.

Yong-Zhong, S.; Yu-Lin, L.; Jian-Yuan, C. & Wen-Zhi, S. (2005). Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *Catena* 59, 267-278.

Yunlong, C. & Smith, B. (1994). Sustainability in agriculture: A general review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49, 99-307.

Zhang, X.; Liu, X.; Zhang, M. & Dahlgren, R. A. (2010). A Review of vegetated buffers and a meta-analysis of their mitigation efficacy in reducing nonpoint source pollution. *Journal of Environment Quality* 39(1), 76-84. <https://doi.org/doi:10.2134/jeq2008.0496>

Zuluaga, G. & Ramírez, L. (2015). Uso, manejo y conservación de la agrobiodiversidad por comunidades campesinas afroamericanas en el municipio de Nuquí, Colombia. *Etnobiología* 13(3), 8-12.

### **3. Caracterización de la Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas ganaderos en La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia)**

#### **Resumen**

Los paisajes ganaderos están ampliamente representados en la región Andina. A pesar de ello, existen pocos acercamientos para evaluar la agrobiodiversidad a escala de finca. Mediante el índice de la Estructura Agroecológica Principal-EAP, se evaluó la agrobiodiversidad de 10 fincas ganaderas en la región de La Vega y Nocaima. Los agroecosistemas de estudio presentaron una agrobiodiversidad *moderada* según el índice. Los criterios ecosistémicos contribuyeron más a la conformación de la agrobiodiversidad que los culturales, siendo la extensión de conectores de vegetación el indicador con mayor valoración media y prácticas de conservación de suelos el de menor valoración media. Un análisis de sistemas complejos (Matriz de Estructura de Diseño) aplicado a la EAP, mostró que la *percepción-conciencia* de los propietarios sobre la importancia y beneficios de la agrobiodiversidad fue el indicador que afectó los demás indicadores pero no fue afectado por ninguno, siendo el indicador estructurante del sistema. Por su parte, los *usos del suelo* fue el indicador afectado por todos los demás, lo que indica que fue el resultado de la interacción de todos los indicadores (o procesos) dentro del sistema. Desde una perspectiva aplicada, es necesario mejorar la percepción-conciencia para mejorar la calidad de los otros indicadores y finalmente su EAP.

#### **Abstract**

Livestock landscapes are widely represented in the Andean region, but little is known about agrobiodiversity at the farm level. Using the Main Agroecological Structure index, the agrobiodiversity of 10 cattle farms, in the region of La Vega and Nocaima, was evaluated. The agroecosystems presented a moderate agrobiodiversity according to MAS interpretation. The ecosystemic criteria contributed more than cultural criteria to MAS, with the extension of biological connectors being the indicator with the most value and soil conservation practices the lowest one. Design Structure Matrix analysis applied to MAS, reveals that the producer's perception-awareness about agrobiodiversity was the most

important indicators of system. *Soil use* was the indicator that resulted from the interaction of the others one (or processes) inside system. From an applied perspective, it is necessary to improve the perception-awareness to enhance their MAS.

### 3.1 Introducción

Los paisajes rurales son el producto de la transformación de extensas áreas de bosque por procesos de producción e infraestructura, que dan origen a mosaicos heterogéneos, donde convergen fenómenos ecológicos y culturales que determinan y estructuran la biodiversidad (Mendoza et al., 2006; Lozano-Zambrano, 2009).

Los paisajes ganaderos de la región Andina, en el año 2014, estaban representados por 1.106.992 unidades de producción agrícola (UPAs)<sup>25</sup>, con 12.233.760 ha en pastos limpios, arbolados y enrastrados, acompañados por bosques u otros ecosistemas naturales. Los propietarios son empresarios agropecuarios, ganaderos, campesinos, indígenas y/o colonos, con diferente origen, idiosincrasia, formas de apropiación de la biodiversidad y ocupación del territorio (Van Ausdal, 2008; DANE, 2014; Bustamante-Zamudio & Rojas-Salazar, 2018).

Esta multiplicidad de variables naturales y culturales no permite catalogar a los paisajes ganaderos de la región andina bajo la misma arquitectura. Es necesario caracterizar la agrobiodiversidad y las particularidades culturales a una escala detallada; la finca. Así sería posible describir el paisaje ganadero en una región particular.

En este estudio se aplica la EAP a un conjunto de agroecosistemas ganaderos en los municipios de La Vega y Nocaima (Cundinamarca) Las preguntas planteadas fueron las siguientes: ¿Cómo se estructura la agrobiodiversidad en los agroecosistemas ganaderos de estudio, a partir de los criterios e indicadores contenidos en la EAP? ¿Cuáles son los indicadores ecosistémicos y culturales de la EAP que tienen mayor efecto en esta estructura? ¿Qué relaciones emergen entre los criterios ecológicos y culturales de la EAP en los casos estudiados?

### 3.2 Materiales y métodos

---

<sup>25</sup> La UPA es la unidad de organización de producción agropecuaria que: 1) Produce bienes agrícolas, forestales, pecuarios o acuícolas; 2) Tiene un único productor (natural o jurídico) que asume la responsabilidad y los riesgos; 3). Utiliza al menos un medio de producción como construcciones, maquinaria, equipo y/o mano de obra en los predios que la integran (DANE, 2014).

---

Las 10 fincas bajo estudio se localizan en los municipios de La Vega, Cundinamarca, Colombia (5°2'14"N-74°21'4"W), sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental de los Andes (ver capítulo 1 para detalles de la región y fincas de estudio).

Para describir la EAP de los agroecosistemas ganaderos se siguió la propuesta de EAP presentada en el capítulo 2, evaluando 10 criterios y 24 indicadores (solo incluye el criterio de prácticas de manejo ganadero). Los métodos específicos para la su evaluación se describen a continuación:

Para la determinación de los indicadores espaciales, consignados en los criterios I, II, III y VI y obtener las imágenes espaciales y ortomosaicos de los 10 agroecosistemas y su áreas de influencia, se utilizaron drones y fotogrametría, usando los programas Drone Deploy, Google Earth y Pix4d Mapper (v. 4.3.31). Cuando no fue posible sobrevolar las AI, por las dificultades de acceso, topográficas, climáticas y técnicas del equipo al momento de los vuelos programados, las imágenes se obtuvieron de la librería satelital del software QGIS.

La información se complementó con cartografía participativa, donde administradores y propietarios rectificaron perímetros y áreas y contribuyeron a delimitar y clasificar coberturas sobre la versión física de los ortomosaicos. Se trianguló la información mediante puntos geoposicionados de control a tierra para confirmar los tipos de cobertura, tanto en los agroecosistemas como en sus áreas de influencia. Estos polígonos fueron digitalizados y reinterpretados usando la metodología de clasificación de coberturas Corine Land Cover (Ideam, 2010). Las métricas y análisis espaciales fueron realizados sobre los software QGIS 3.12 (de uso libre) y ArcGIS Pro (licencia institucional convenio ZEF/IDEA).

Para abordar los criterios IV y V, relacionados con la diversidad de conectores externos e internos, se contó con la labor de una especialista en botánica, quien realizó caracterizaciones florísticas y fitogeográficas de las coberturas presentes en los agroecosistemas de estudio, usando parcelas de vegetación de diferente tamaño (1m<sup>2</sup> a 1.000 m<sup>2</sup>) de acuerdo con los tipos de cobertura vegetal.

Para abordar los criterios VI a X, o la dimensión cultural del índice, se realizaron entrevistas semiestructuradas a los propietarios y/o administradores, con preguntas sobre las prácticas de manejo del sistema productivo y de conservación de la agrobiodiversidad. Así como otras preguntas que permitieran reflejar la percepción-conciencia y conocimiento y los diferentes elementos evaluados dentro del criterio de Capacidad para la acción (Anexo 3-1). Para triangular esta información y complementarla, se desarrolló una metodología cualitativa de observación directa de las prácticas de manejo y conservación (Quintana, 2006).

Finalmente, para evaluar las relaciones entre los indicadores ecológicos y culturales del índice, proyectándolo a un sistema en el que cada componente o indicador esté relacionado, se adaptó un modelo de Matriz de Estructura de Diseño (o DSM por su sigla en inglés), para identificar los indicadores que mayor influencia tuvieron sobre otros

indicadores o cuáles de ellos podrían desencadenar un mayor cambio en el sistema si sufrieran modificaciones (MIT- Ingeniería de Sistemas Complejos, 2021).

Se conformó una matriz cuadrada o simétrica con los indicadores, tanto en las filas como en las columnas y se marcó (con X), en el espacio donde se intersectan dos indicadores, el tipo de relación: si A *afecta* a B, A *es afectado* por B o A y B *se afectan mutuamente*. La selección de esta relación fue subjetiva y asociativa. Por ejemplo: la distancia a los cuerpos de agua (DCa) afecta el manejo de aguas (MAg) y este a su vez afecta la rotación de potreros (RPo).

Posteriormente se organizaron las columnas de los indicadores que *afectan* a otros y son poco *afectados* por los demás, van siendo ubicados en la posición superior, constituyéndose en las entradas del sistema y las que mayor peso tienen en estructurarlo. Los indicadores que son *afectados* por otros y *no afectan* indicadores van siendo posicionados en la derecha de la matriz, constituyéndose en aquellos indicadores “consecuencia” de todo el proceso o “no misionales” dentro del sistema.

Se contaron las interacciones de cada indicador y se construyó el modelo más parsimonioso (de mayor a menor afectación o relación), en el que se forman grupos de indicadores interrelacionados o nodos. Se observan los indicadores “entrada” o “insumo” de los que dependen los demás indicadores o elementos del proceso (para completar la tarea) (<https://dsmweb.org/introduction-to-dsm/>). Se utilizó el programa Excel 10.1.

### 3.3 Resultados y discusión

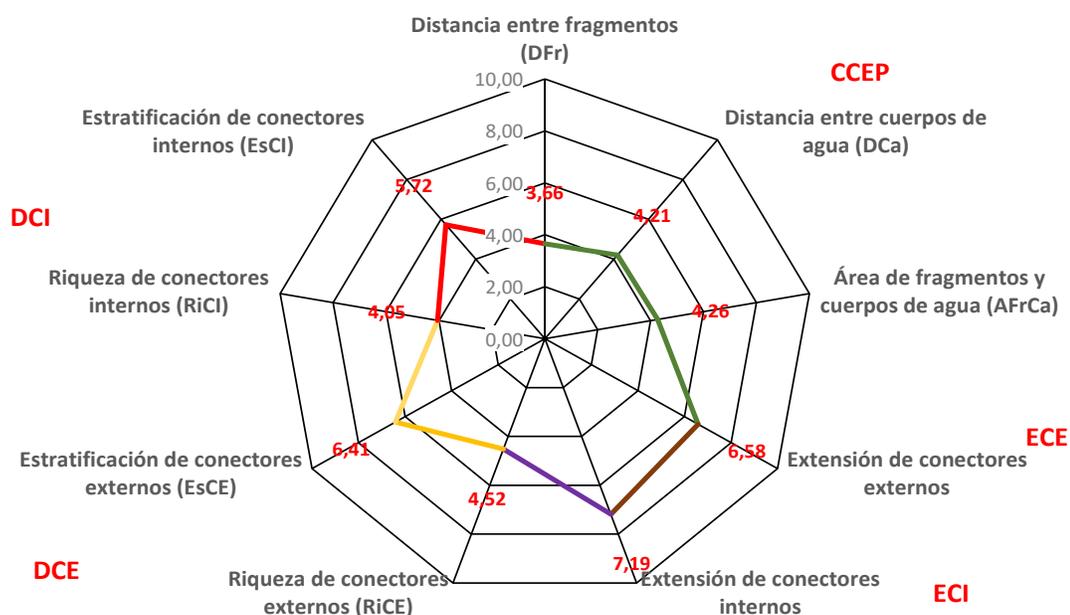
De forma general, la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos estudiados en la región de La Vega y Nocaima (Cundinamarca), de acuerdo a la Estructura Agroecológica Principal, es *moderada*, con una valoración 51,62/100 (Tabla 3-1).

En los extremos de este rango de posibilidades de estructuración de la agrobiodiversidad se encuentra la finca El Edén con 36,59/100, clasificada como poco agrobiodiversa y las fincas Loma Larga, La Cecilita y Marbella con 60,65, 61,10 y 63,01/100, clasificadas como moderada a fuertemente agrobiodiversas. Las diferencias se encuentran, principalmente, en los criterios ecológicos, que consideran la extensión de conectores tanto externos como internos (ECE, ECI) y la diversidad de conectores externos (DCE) y la percepción-conciencia y conocimiento (PCC) y las prácticas de conservación, en los criterios del orden cultural (PC) (Figura 3-1, Anexo 3-2).

**Tabla 3-1:** Valoración de los cinco criterios ecológicos y cinco culturales de la EAP de los agroecosistemas ganaderos en estudio y su interpretación (Fuente: Elaboración propia).

Finca	Criterios Ecológicos					Criterios Culturales					Total	Descripción de la EAP
	CEEP	ECE	ECI	DCE	DCI	US	PM	PC	PCC	CA		
El Cielo	4,48	4,07	6,73	6,56	4,99	4,56	3,60	3,00	3,00	3,00	43,99	Ligeramente agrobiodiversa
El Eden	4,26	3,80	2,76	2,68	3,86	2,98	3,60	2,00	1,50	4,25	31,68	Poco agrobiodiversa
El Hato	3,52	4,56	8,28	7,40	1,88	3,93	4,80	4,00	3,00	5,25	46,62	Ligeramente agrobiodiversa
El Mirador	4,16	8,07	6,70	2,40	6,09	6,60	3,60	4,00	3,00	2,25	46,88	Ligeramente agrobiodiversa
La Aldea	3,65	6,61	4,90	7,09	9,02	2,64	4,20	3,00	3,00	3,75	47,85	Ligeramente agrobiodiversa
La Cecilita	3,72	9,94	8,09	5,76	1,06	5,13	5,20	6,00	6,00	5,75	56,66	Moderadamente agrobiodiversa
Loma Larga	4,71	9,87	8,03	4,12	5,25	6,55	7,20	4,00	7,00	6,00	62,73	Moderada a fuertemente agrobiodiversa
Los Ameyes	3,47	8,31	8,18	7,13	1,09	5,70	4,80	5,00	4,50	5,00	53,19	Moderadamente agrobiodiversa
Los Ocobos	3,96	8,38	8,41	5,36	8,59	5,37	5,40	5,67	4,50	5,00	60,64	Moderadamente agrobiodiversa
Marbella	4,51	8,21	9,70	9,09	3,18	4,82	6,80	6,67	6,00	7,00	65,98	Moderada a fuertemente agrobiodiversa
<b>Promedio</b>	<b>4,04</b>	<b>7,18</b>	<b>7,18</b>	<b>5,76</b>	<b>4,50</b>	<b>4,83</b>	<b>4,92</b>	<b>4,33</b>	<b>4,15</b>	<b>4,73</b>	<b>51,62</b>	<b>Moderadamente agrobiodiversa</b>

### Indicadores ecológicos de la EAP



**Figura 3-1:** Diagrama de araña que presenta la valoración del promedio de los nueve (9) indicadores ecológicos de la EAP, en una escala de 1 a 10, obtenida para las fincas ganaderas de estudio (Fuente: Elaboración propia). CCEP= conexión con la estructura ecológica del paisaje; ECE= extensión de conectores externos; ECI= extensión de conectores internos; DCE= diversidad de conectores externos; DCI= diversidad de conectores internos.

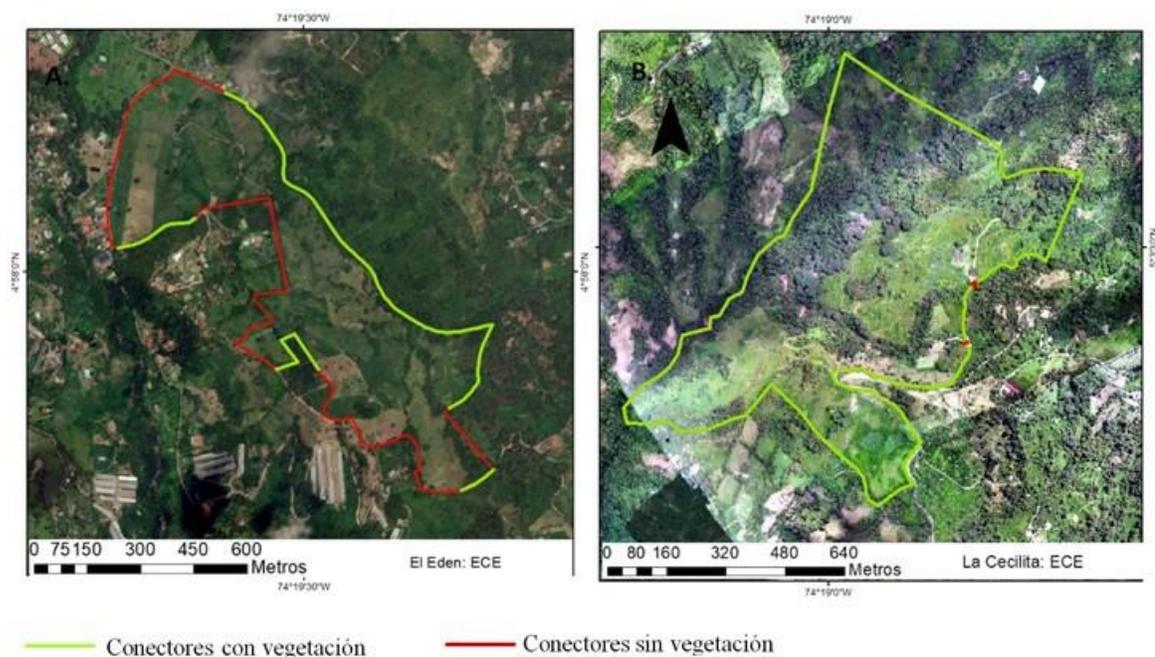
En relación con la extensión de conectores externos (ECE) e internos (ECI), El Edén posee una muy baja extensión de conectores con vegetación pues de los 4.721 m de perímetro solo el 38% posee vegetación y de los 6,8 km en divisiones internas solo posee el 27% (Tabla 3-3 y Figura 3-2). A diferencia, Marbella y Loma Larga poseen 1,9 y 3,0 km de perímetro, respectivamente y poseen vegetación en el 82,06 y 98,71% de su longitud. Los 3,0 km que ambas fincas poseen en conectores internos, el 96,54 y 80,27% poseen vegetación (Figura 3-2).

La extensión de conectores externos (ECE) representa límites físicos perceptibles a la vista para el reconocimiento de los linderos del predio, por lo que ciertos productores realizan un esfuerzo importante para mantenerlos con vegetación. En el caso que no suceda, los propietarios recurren al uso de alambre de púas, que requiere un menor esfuerzo e inversión de tiempo pero que disminuyen la conectividad del paisaje hacia la finca.

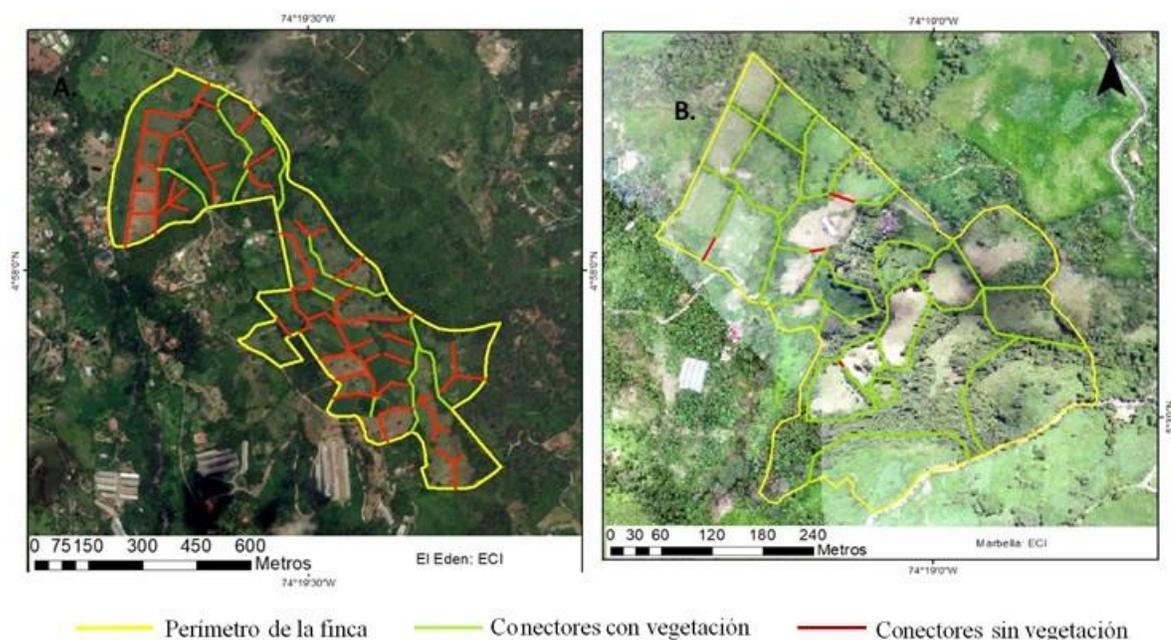
**Tabla 3-2:** Longitud total de conectores externos (representado en el perímetro) e internos con presencia de vegetación (Fuente: Elaboración propia).

Finca	Longitud total (m) del perímetro	Perímetro (m) con vegetación	Longitud total (m) de divisiones internas	Longitud (m) de divisiones internas con vegetación
El Cielo	2986,85	1216,71	2448,43	1647,70
El Eden	4721,98	1795,30	6842,42	1886,83
El Hato	2788,87	1273,09	3670,78	3040,46
El Mirador	2188,24	1766,82	1371,00	918,51
La Aldea	4602,11	4573,81	5237,80	4238,38
La Cecilita	2438,37	1611,64	3289,35	1611,64
Loma Larga	3044,20	3005,12	3743,60	3005,12
Los Ameyes	3752,63	3118,65	7149,82	5848,09
Los Ocobos	2297,07	1925,24	1864,59	1568,65
Marbella	1969,22	1616,11	3141,62	3045,94

La ausencia de cercas vivas y cortinas rompe vientos, u otro conector arbolado, separando potreros, puede reducir las zonas de refugio y descanso del ganado cuando el sol es abrasador (Murgueitio et al., 2009; Zapata-Cadavid & Silva-Tapasco, 2016).



**Figura 3-2:** Extensión de conectores externos en A) La Cecilia y B) El Edén (Elaborada por Xiomara Daza-Cruz).



**Figura 3-3:** Extensión de conectores internos en A) Marbella y B) El Edén (Elaborada por Xiomara Daza-Cruz).

Antes de discutir las diferencias en los valores de diversidad de conectores, es necesario visualizar la calidad de estos conectores en términos de su riqueza (RiCE y RiCI) y estratificación (EsCE y EsCI) (ver Tabla 3-3).

Las principales diferencias entre la calidad de los conectores internos se observan entre El Edén y La Aldea y Marbella. En las primeras, una parte importante de los conectores externos no tienen vegetación y la parte que si posee, está representada por cercas vivas bastante simples (dos especies y un estrato vertical, que les da una valoración DCE de 2,40/10 y 2,50/10, respectivamente). Por el contrario, en Marbella la presencia de cercas vivas complejas y vegetación secundaria alta en zonas de pendiente, le da un valor de DCE de 9,09/10.

La alta variabilidad en los valores de DCI dentro de las fincas ganaderas (que oscilan entre 1,06 y 9,02/10) radica en la proporción de los conectores que la finca posee al interior de la finca, representados por bosques de galería, vegetación secundaria alta y baja y/o cercas vivas. Las mayores valoraciones correspondieron a La Aldea y Los Ocobos, que posee áreas importantes de bosques de galería, fragmentos de vegetación secundaria alta y cercas vivas multiestrato; con la mayor diversidad de las coberturas estudiadas (ver capítulo 4). La menor valoración la obtuvo La Cecilita pues la mayoría de sus conectores internos están representados por una cerca viva monoespecífica de limoncillo o swingle (*Swinglea glutinosa* Merr.).

Esta especie introducida es ampliamente usada como cerca viva en áreas urbanas y rurales del país por su rápido crecimiento, densidad de follaje y presencia de espinas; sin embargo, además de que su fruto no es comestible ni aprovechable por la fauna silvestre, se ha comprobado su efecto citotóxico e inhibitorio de la germinación de arvenses y su función como hospedero alternativo de plagas y vectores de enfermedades en cítricos<sup>26</sup>, como *Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae) y *Diaphorina citri* Kuwayama (Insecta: Psilidae) (Pérez-Arbeláez, 1996; Gil et al. 2012; León et al., 2012; Ardila-Téllez & Cruz-Bernate, 2014; Murillo et al., 2018).

En términos de la EAP, a pesar que este conector vivo conforme una grilla separando potreros dentro de La Cecilita, más que aportar a la conectividad biológica, pueden estar limitando su uso como corredores para la agrobiodiversidad funcional.

---

<sup>26</sup> Esta característica ha obligado al gobierno colombiano a decretar cuarentena fitosanitaria en varios departamentos del país y su erradicación y eliminación de los agroecosistema. El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) emitió la resolución 7109 de 2017 y 00001993 de 2018.

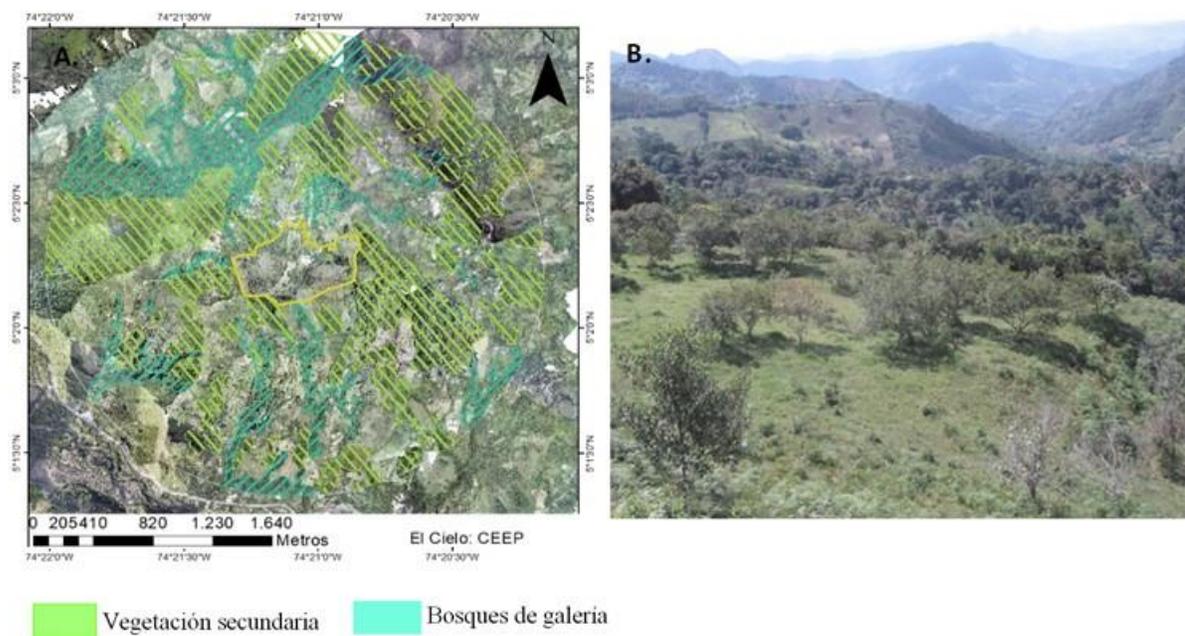
**Tabla 3-3:** Composición florística y estructural de las coberturas vegetales, siguiendo la metodología Corine Land Cover, presentes en los agroecosistemas ganaderos de estudio (Fuente: Caro-Roa, 2020).

TIPO DE COBERTURA	RIQUEZA DE ESPECIES Y ESTRATOS VEGETATIVOS
 <p data-bbox="302 999 597 1031"><b>Bosque de galería (BG)</b></p>	<p data-bbox="810 436 1435 684">Cobertura constituida por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Presenta una gran variabilidad en cuanto a su diversidad, estructura y grado de intervención. La altura promedio de esta cobertura oscila alrededor de los 12 m con algunos datos atípicos superiores a los 20 m. Parcela demostrativa en la Finca La Cecilita (1.000 m<sup>2</sup>).</p> <p data-bbox="810 711 1435 848"><u>Arbolitos:</u> 5-12 m; <i>Syzygium jambos</i>, <i>Dendropanax caucanus</i>, <i>Tetrorchidium rebrinervium</i>, <i>Banara guianensis</i>, <i>Brunellia comocladifolia</i>, <i>Inga</i> sp. 2, <i>Ladenbergia oblongifolia</i>, <i>Ficus prasina</i>, <i>Casearia arbórea</i>, <i>Miconia serrulata</i>, <i>Warszewiczia coccinea</i>, <i>Besleria</i> sp.</p> <p data-bbox="810 875 1435 957"><u>Arbóreo superior:</u> 12-20 m; <i>Dendropanax caucanus</i>, <i>Pterocarpus acapulcensis</i>, <i>Ladenbergia oblongifolia</i>, <i>Ficus prasina</i>.</p> <p data-bbox="810 989 1211 1018"><u>Emergentes:</u> 20-35 m; <i>Endlicheria</i> sp.</p>
 <p data-bbox="302 1751 727 1782"><b>Vegetación secundaria alta (VSA)</b></p>	<p data-bbox="810 1276 1435 1467">Cobertura compuesta por vegetación principalmente arbórea con dosel irregular y presencia ocasional de arbustos, palmas y enredaderas, que corresponde a los estadios intermedios de la sucesión secundaria, generalmente después de la etapa secundaria baja, luego de varios años de la intervención original. Parcela demostrativa en la Finca Marbella (1.000 m<sup>2</sup>).</p> <p data-bbox="810 1495 1435 1551"><u>Arbolitos:</u> 5-12 m; <i>Erytroxylum fimbriatum</i>, <i>Casearia arborea</i>, <i>Syzygium jambos</i>, <i>Protium</i> sp., <i>Guarea guidonia</i>,</p> <p data-bbox="810 1579 1435 1661"><u>Arbóreo superior:</u> 12-20 m; <i>Ficus</i> sp., <i>Ocotea</i> sp., <i>Protium</i> sp., <i>Pterocarpus acapulcensis</i>, <i>Cinnamomum triplinerve</i>, <i>Cecropia peltata</i>.</p>

TIPO DE COBERTURA	RIQUEZA DE ESPECIES Y ESTRATOS VEGETATIVOS
	<p>Cobertura compuesta principalmente por vegetación arbustiva y herbácea (plántulas de especies arbustivas o arbóreas de rápido crecimiento) con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la regeneración natural o sucesión vegetal. Parcela demostrativa en la Finca Los Ameyes (1.000 m<sup>2</sup>).</p> <p><u>Herbáceo:</u> 0,3-1,5 m; <i>Syzygium jambos</i>, <i>Dendropanax caucanus</i>, <i>Urochloa</i> sp.</p> <p><u>Arbustivo:</u> entre 1,5-5 m; <i>Cinnamomum triplinerve</i>, <i>Piptocoma discolor</i>, <i>Ficus máxima</i>, <i>Acalypha cuneata</i>, <i>Ochroma pyramidale</i>, <i>Dendropanax caucanus</i>, <i>Syzygium jambos</i></p> <p><u>Arbolitos:</u> 5-12 m; <i>Syzygium jambos</i>, <i>Dendropanax caucanus</i>, <i>D. arborea</i>, <i>Casearia arborea</i>, <i>Cecropia peltata</i>, <i>Ladenbergia oblongifolia</i></p>
<p><b>Vegetación secundaria baja (VSB)</b></p>	
	<p>Cobertura que incluye las tierras cubiertas de pasto, en los cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles, distribuidos en forma dispersa o lineal, en una representatividad de más del 30% y menos del 50% del área total de los pastos. Parcelas demostrativas en la Finca El Mirador y Loma Larga (1.000 m<sup>2</sup>).</p> <p><u>Herbáceo:</u> 0,3-1,5 m; <i>Urochloa decumbens</i>, <i>U. brizantha</i> y/o <i>Cynodon nlemfuensis</i>.</p> <p><u>Arbustivo:</u> 1,5-5 m; <i>Alchornea</i> sp.</p> <p><u>Arbolitos:</u> 5-12 m; <i>Myrsine latifolia</i>, <i>Cinnamomum triplinerve</i>, <i>Ocotea</i> sp., <i>Psidium guajava</i>, <i>Eucalyptus globulus</i>, <i>Miconia rubiginosa</i>, <i>M. caudata</i>, <i>Cecropia peltata</i>, <i>Croton smithianus</i>, <i>Cedrella odorata</i>, <i>Leucaena leucocephala</i></p> <p><u>Arbóreo superior:</u> 12-20 m; <i>Matayba</i> sp., <i>L. leucocephala</i></p>
<p><b>Pastos arbolados y cercas vivas (PA)</b></p>	
	<p>Cobertura asociada al sistema productivo con más del 70% del suelo. Parcelas demostrativas en la Finca El Cielo (1 m<sup>2</sup>).</p> <p><u>Herbáceo:</u> entre 0,3-1,5 m; <i>Urochloa decumbens</i>, <i>U. brizantha</i> y/o <i>Cynodon nlemfuensis</i>, <i>Pteridium arachnoideum</i>, <i>Lantana camara</i>, <i>Sida linifolia</i>, <i>Ageratina pichinchensis</i>, <i>Cyperus luzulae</i>, <i>Bytheria mollis</i>, <i>Fleischmannia microstemon</i>, <i>Ayapana ornithopora</i>, <i>Stachytarpheta cayennensis</i>, <i>Achyrocline crassiceps</i>.</p> <p><u>Arbustivo:</u> entre 1,5-5 m; <i>Baccharis latifolia</i>, <i>Clusia</i> sp., <i>Miconia albicans</i>, <i>M. cf. ciliata</i>, <i>Sida linifolia</i>, <i>Clidemia rubra</i>, <i>Vismia macrophylla</i>, <i>Solanum</i> sp.</p> <p><u>Arbóreo superior:</u> entre 12-20 m; <i>Pinus</i> sp., <i>Eucalyptus globulus</i>.</p>
<p><b>Pastos limpios (PL)</b></p>	

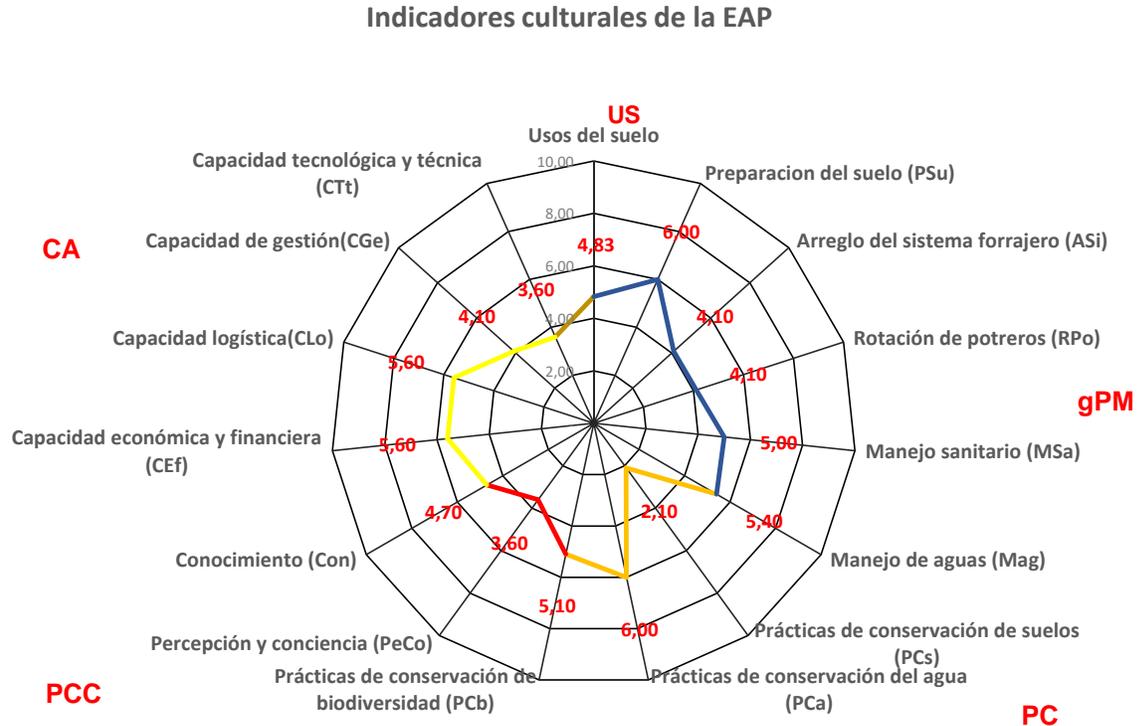
Antes de cerrar los aspectos ecológicos del índice, es importante mencionar que a diferencia de los otros criterios que presentan ejemplos contrastantes, la conexión con la estructura ecológica principal del paisaje (CEEP) presentó un comportamiento más homogéneo, con valores oscilando entre 3,52/10 y 4,71/10 y un promedio de 4,04/10 (moderada conectividad), indicando que en el AI de las fincas existen un número moderado de bosques de galería y/o parches de vegetación secundaria (estos últimos representados en una menor proporción), lo que disminuye la distancia entre estas coberturas al centro de la finca y aumentan su densidad en términos del porcentaje de área representada (Figura 3-4).

Es posible afirmar que en la zona de estudio existió un patrón de transformación de las coberturas boscosas, cuyos remanentes se mantienen en las zonas más pendientes de difícil acceso. En las zonas más onduladas y semiplanas se observa una matriz relativamente compleja de fincas ganaderas medianamente arborizadas, atravesadas por bosques de galería y minifundios campesinos y de esparcimiento, en las que se combinan varios usos y coberturas: infraestructura campestre, cultivos de café (*Coffea arabica* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), plátano (*Musa paradisiaca* L.) y naranja (*Citrus sinensis* Osbeck), principalmente; así como barbechos y pequeños parches de vegetación sucesional (Figura 3-4).



**Figura 3-4:** Conexión con la estructura ecológica principal del paisaje del A) El Cielo (Elaborada por Xiomara Daza-Cruz) y B) Paisajes típicos de la región de estudio (Archivo propio).

Los indicadores del orden cultural, relacionados con las prácticas de manejo y conservación, la percepción y valoración de la importancia de la agrobiodiversidad y las capacidades para favorecer agroecosistemas agrobiodiversos tuvieron valoraciones promedio más bajas que los ecológicos (Tabla 3-2 y Figura 3-5).



**Figura 3-5:** Diagrama de araña que presenta la valoración del promedio de los 15 indicadores culturales de la EAP, en una escala de 1 a 10, en las fincas ganaderas de estudio acción (Fuente: Elaboración propia). US= usos del suelo; gPM= prácticas de manejo ganadero; PC= prácticas de conservación; PCC= percepción-conciencia y conocimiento; CA= capacidad para la acción.

En general, los usos del suelo (US) dedicados a la producción no favorecen la agrobiodiversidad; prima el monocultivo de pastos mejorados de *braquiaria* (*Urocloua decumbens* Stapf y *U. bizzantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf) (ver Tabla 3-3) y pequeñas áreas en pastos de corte (king grass), lo que determina los bajos valores en fincas como El Edén, La Aldea y El Hato (Tabla 3-4 y Figura 3-6). Estas tienen pocas coberturas complementarias y destinan una pequeña parte del predio a la conservación de coberturas, cumpliendo con lo mínimamente estipulado en los Planes Básicos de Ordenamiento Territorial de los municipios de La Vega y Nocaima lo que le da valoraciones iguales o menores que 3,0/10<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> Se estipula que zonas agropecuarias de uso tradicional (no mecanizado y de baja intensidad de uso), deben ser destinadas mínimo entre el 20-30% de los predios para usos forestales y protectores (de bosques y agua) (Moya, 2017).

**Tabla 3-4:** Área y porcentaje de usos del suelo en las fincas de estudio (Fuente: Elaboración propia).

Finca	A <sup>2</sup> (ha)	Porcentaje (%) de ocupación con respecto al área total							
		Pastos limpios	Pastos corte	Pastos arbolados	Forestales	Frutales	Vegetación secundaria	Bosque de galería	Infraestructura
El Cielo	32,77	51,43	–	10,21	2,48	12,71	17,29	5,38	0,51
El Eden	49,44	68,82	–	0,84	–	11,72	10,93	2,17	0,35
El Hato	59,95	60,50	–	4,96	–	–	29,59	4,32	0,63
El Mirador	25,03	26,80	–	2,33	–	4,73	45,27	20,73	0,14
La Aldea	24,39	71,14	–	2,94	–	1,48	2,58	21,27	0,59
La Cecilita	59,42	47,63	–	2,67	–	1,41	11,47	35,77	1,04
Loma Larga	39,80	51,21	2,81	10,82	–	1,00	26,31	7,55	0,30
Los Ameyes	68,02	42,92	–	5,86	–	0,41	29,01	21,73	0,07
Los Ocobos	14,92	44,08	1,09	6,62	–	–	25,09	21,97	1,15
Marbella	15,02	50,81	0,52	3,43	–	0,69	34,42	9,66	0,47

En las valoraciones intermedias se encuentran Los Ameyes, Marbella y La Cecilita, las cuales presentan bosques asociados a cañadas en buen estado de conservación y algunos relictos de bosque en zonas de ladera, lo que suman a los usos del suelo que favorecen la agrobiodiversidad. También se observaron árboles (frutales, maderables, nativos) aislados en ciertos potreros, sembrados en muchos casos por los propietarios o administradores por su fruto, su belleza y/o sombra, que cuentan poco al sistema productivo pero que también contribuyen a la conectividad,. Se constituyen en la generalidad de los agroecosistemas ganaderos de la región.

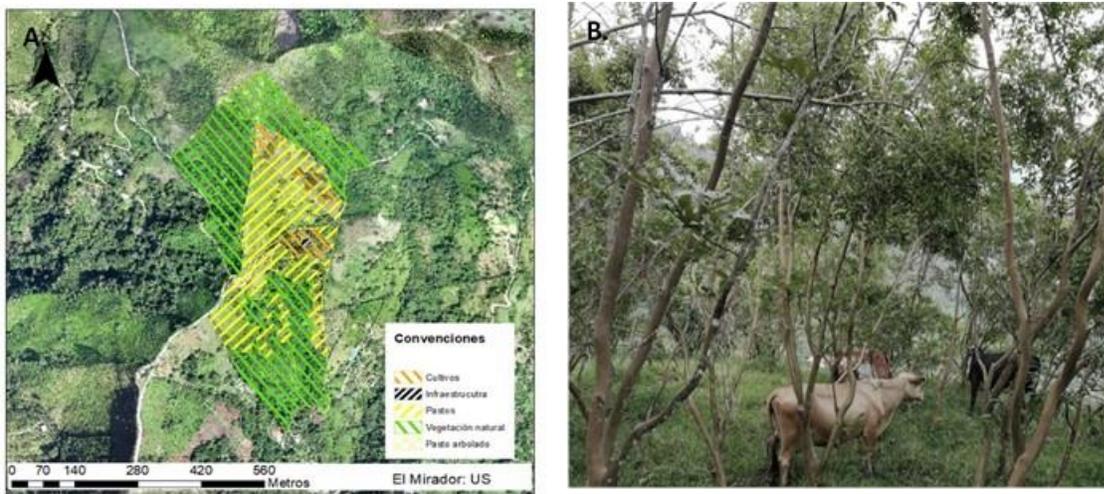
Loma Larga, con árboles de leucaena, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, sobre el 10% de la totalidad de la pastura y El Mirador, con árboles de guayava (*Psidium guajava* L.) en el 26%, en densidades de menos de 25 árboles/ha<sup>-1</sup>, son las únicas fincas que su sistema productivo favorece la agrobiodiversidad, con valoraciones de 6,5/10 y 6,6/10 (Figura 3-6A).

La leucaena, de crecimiento arbustivo, es considerada una forrajera promisoría, en sistema silvipastoril de alta densidad –SSPi (50-500 individuos/ha<sup>-1</sup>). Contiene hasta tres veces más proteína que las gramíneas tropicales y bajos niveles de fibra, aumentando la

productividad hasta tres veces la carga animal<sup>28</sup> frente a una pastura. Su asociación con braquiaris, pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* (K. Schum.) Pilg.) y árboles nativos o maderables de estrato superior, pueden aportar al sistema ganadero leña, madera, frutos y legumbres. Además incrementa la biodiversidad en el suelo, genera ingresos complementarios y mejora la calidad nutricional del productor y su familia (Murgueitio et al., 2009; 2016).

La guayaba es consumida y propagada por el ganado (ver Figura 3-6B) y por pequeños mamíferos, aves e insectos frugívoros (Cáceres, 2002; Murgueitio et al., 2009; DaSilva et al., 2013; Souza-Silva & Lopes-Ferreira, 2011) que, a su vez, atraen una gama de organismos asociados (Somarriba, 1985; 1995; Cáceres, 2002; Murgueitio et al., 2009; Youssef et al., 2015; DaCosta et al., 2019). Especies como la fara, *Didelphis marsupialis* L. y el armadillo, *Dasyus novemcinctus* L., que se mueven por este agropaisaje, pueden consumirla y dispersarla hacia otras áreas productivas. Somarriba (1995) contempla sus beneficios como madera fina para postes o cercas en los potreros. Efectivamente, en algunas ocasiones, es usada en las labores de cercado.

Al considerar de manejo del hato ganadero realizado en las fincas existen pocas diferencias en el uso de prácticas que promueven la agrobiodiversidad. Su valoración media es de 4,88/10, siendo nuevamente Loma Larga y Marbella las mejor valoradas; 7,20 y 6,8/10, respectivamente (Tabla 3-2). La Aldea (2,64/10) y El Edén (2,98/10) obtuvieron las menores valoraciones.



**Figura 3-6:** A) Distribución de los usos del suelo en la Finca El Mirador (La Vega, Cundinamarca) (Elaborada por Xiomara Daza-Cruz) y B) terneras alimentándose de guayaba, presente en sus pastos arbolados (Archivo propio).

<sup>28</sup> UG=unidad animal= 450 kg de peso vivo. En la región está alrededor de 1UG/ha<sup>-1</sup>.

Al sembrar los pastos mejorados, la mayoría usó una intensidad media de labranza, destroncando y picando el suelo mediante fuerza de trabajo humana. No se usó mecanización, debido a las condiciones topográficas del terreno, controlaron arvenses químicamente y fertilizaron con compuestos nitrogenados (urea) y/o minerales (cal). En la actualidad la fertilización es poco frecuente debido, en parte, a la *Ausencia de mano de obra*, limitando su **Capacidad logística**. Si sucede, se utilizan abonos orgánicos (estiércol de gallina y pavo) para fertilizar pastos de corte. En la mayoría de los casos la fertilización química es evitada por ahorro de costos, que por efectos negativos sobre la biota edáfica que contribuye al reciclaje de la materia orgánica y fertilización biológica del suelo (Bai et al., 2020).

Según Van Ausdal (2008) y Kalmonotivz (2015) la difusión de innovaciones tecnológicas en el sector ganadero en el país ha sido lenta y desigual, por razones ecológicas, políticas y de asistencia técnica. En el caso de la cerca eléctrica, su adopción requiere planificación y conocimiento de la capacidad de carga, área efectiva de pastoreo, tiempos de ocupación y descanso de potreros, infraestructura tecnológica y estructura de cercado mínima en los potreros (Wood, 2009; Zapata & Cadavid, 2016).

La rotación con cerca eléctrica solo ha sido instaurada de manera sistemática en Loma Larga y Marbella, rotando potreros de una y dos fanegadas cada 24 y 72 h., respectivamente, a partir de la red de electricidad municipal y energía solar. Algunos productores manifestaron la dificultad de instalarlo en la mayor parte de la finca por la alta pendiente de sus terrenos, poca *Extensión de conectores internos* y dificultades de *Acceso a infraestructura* (red eléctrica y sistema de transporte del agua al ganado).

La misma dinámica de difusión tecnológica se aplica a los sistemas forrajeros diversos y multipropósito. Según Sánchez et al. (2003), desde 1999, el CIPAV ha promovido experiencias exitosas combinando diferentes arreglos agrosilvipastoriles. La poca "tradición ganadera" que posee la región ha dificultado procesos importantes de *Asociatividad* (Concejo Municipal de La Vega, 2018; Victor Urquijo, com. pers.<sup>29</sup>), necesaria para aumentar la **Capacidad de gestión, tecnológica y técnica** en el tema. El propietario de la Finca Loma Larga, por iniciativa propia y **Capacidad económica y financiera**, representada en *Recursos propios*, sembró 20.000 árboles de leucaena en las partes más planas, asesorado directamente por funcionarios de esta organización, siendo en toda región del Gualivá de las pocas fincas con estas características (Orlando Niño, com. pers.).

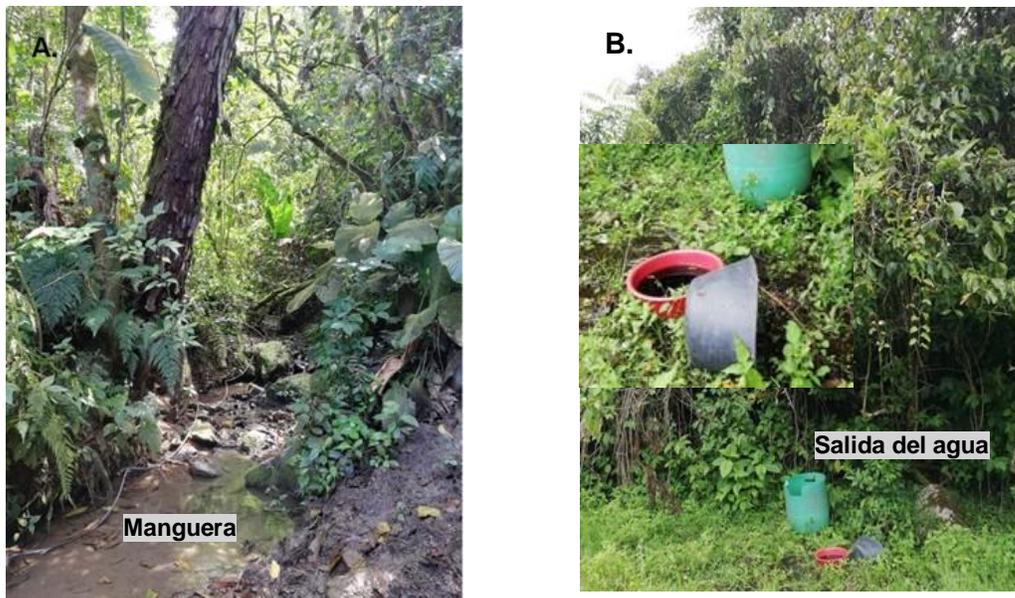
La mayoría de las fincas cuentan con un sistema de mangueras para el transporte del agua, desde nacimientos o cañadas a reservorios localizados en cada potrero, por lo que la mayoría cuenta con disponibilidad total. En solo un caso (Finca El Edén) el agua se

---

<sup>29</sup> Victor Urquijo, propietario Finca La Aldea. Teléfono celular: +57(1) 3115227109.

desperdiciaba en su lugar de nacimiento (Figura 3-7). Solo en Marbella se utiliza riego en época de verano para los pastos de corte, localizados en las áreas planas.

Los análisis fisicoquímicos locales son muy poco frecuentes o no se han realizado nunca, pero se asume que sus fuentes hídricas o reservorios tienen agua de calidad para las necesidades de sus animales, "...Ningún animal se ha enfermado consumiéndola". Solo el propietario de Marbella realizó un análisis de potabilidad y encontró una cañada "bastante contaminada"<sup>30</sup>. En El Hato, el administrador decidió suprimir uno de sus nacimientos para consumo por tener mal sabor y generar malestar estomacal. Los estudios de Rodríguez (2021) indicaron una acidez elevada (pH=3,84). En su mayoría, las fuentes de agua tienen conductividad media y alto porcentaje de bacterias coliformes (potabilidad parcial).



**Figura 3-7:** A). Sistema de conducción y ciclaje del agua, finca El Cielo y B) jagüey sin un bosque protector adecuado con el agua para consumo animal vertiéndose en el suelo, finca El Edén (Archivo propio).

La infección o infestación de parásitos es una de las principales causas por las que disminuye la productividad del hato ganadero: moscas hematófagas (*Haematobia irritans* L., *Musca domestica* L., *Stomoxys calcitrans* L.), nematodos gastrointestinales (*Cooperia* spp., *Haemonchus* spp., *Oesophagostomum* sp.) y pulmonares (*Dictyocaulus* spp.,

---

<sup>30</sup> Según la CAR (2009), las aguas que irrigan la subcuenca del río Tobia-Tabacal presentan alto grado de contaminación y deterioro de sus características fisicoquímicas debido al vertimiento de aguas residuales domésticas y agropecuarias.

*Mammomonogamus* spp.) (Campbell et al., 1991; Jonsson & Meyer, 1999; Encalada-Mena et al., 2009).

Para su control, se usan de forma masiva y descontrolada medicamentos sintéticos de diversa naturaleza química, acelerando la resistencia biológica y aumentando los costos de inversión para el productor (1999; FAO, 2003; Molina et al., 2015). Adicionalmente, esta práctica limita el potencial que posee la agrobiodiversidad para ejercer funciones ecosistémicas en los sistemas productivos (Waller, 2006; Verdú et al., 2018) (ver Capítulo 5).

Loma Larga y Marbella, las únicas con propósito de cría, usan dos y tres dosis anuales regulares de Ivermectina, respectivamente. Las demás fincas adquieren sus animales para levante en ferias ganaderas, dificultando datar su origen e histórico veterinario, pero en el tiempo que pasan en el hatu pueden recibir hasta cuatro (4) dosis anuales de antiparasitarios endectocidas, recomendados por las tiendas agropecuarias del pueblo. Usan un medicamento o la combinación de: *Ivomec* de Boehringer Ingelheim, *Ivermectina* de Erma y Vecol, *Panacur* de Vecol, *Levamisol* de Labis y *Coopersol* de Merck. Algunos complementan el control de garrapatas con *Nevugon* de Bayer (también Ivermectina) o baños de azufre. Solo en Los Ameyes, se registró el caso de control biológico de garrapatas por pavos domésticos (*Meleagris gallopavo* L.).

En relación con las prácticas de conservación de aguas, suelos y biodiversidad, Marbella y La Cecilita poseen mayores valoraciones (6,67 y 6,00/10), El Edén y El Cielo las menores (2,00/10). Esto se debe a que las dos primeras poseen bosques de galería muy bien conservados. Sin embargo en la mayoría no se cumple la normativa nacional vigente<sup>31,32</sup> El número elevado de nacimientos o jagüeyes que poseen (10 en promedio), dificulta mantener esta cuota, dado que priman los usos productivos.

La conservación del suelo es el indicador más afectado ( $\bar{x}=2,10/10$ ) (Figura 3-6), debido principalmente a los conflictos de uso que poseen todas las fincas ubicadas en ladera y la ausencia de prácticas de conservación. Esto es evidente en El Cielo, donde se observan surcos, calvas, terracetas y erosión laminar, en parte importante de la finca (Figura 3-8). En Marbella y La Cecilita, donde estos fenómenos se observan en menor intensidad, el propietario de la primera ha optado por realizar rotación frecuente (ver indicador de rotación de potreros) y el segundo retira el ganado de la finca periódicamente para que “el pasto florezca”.

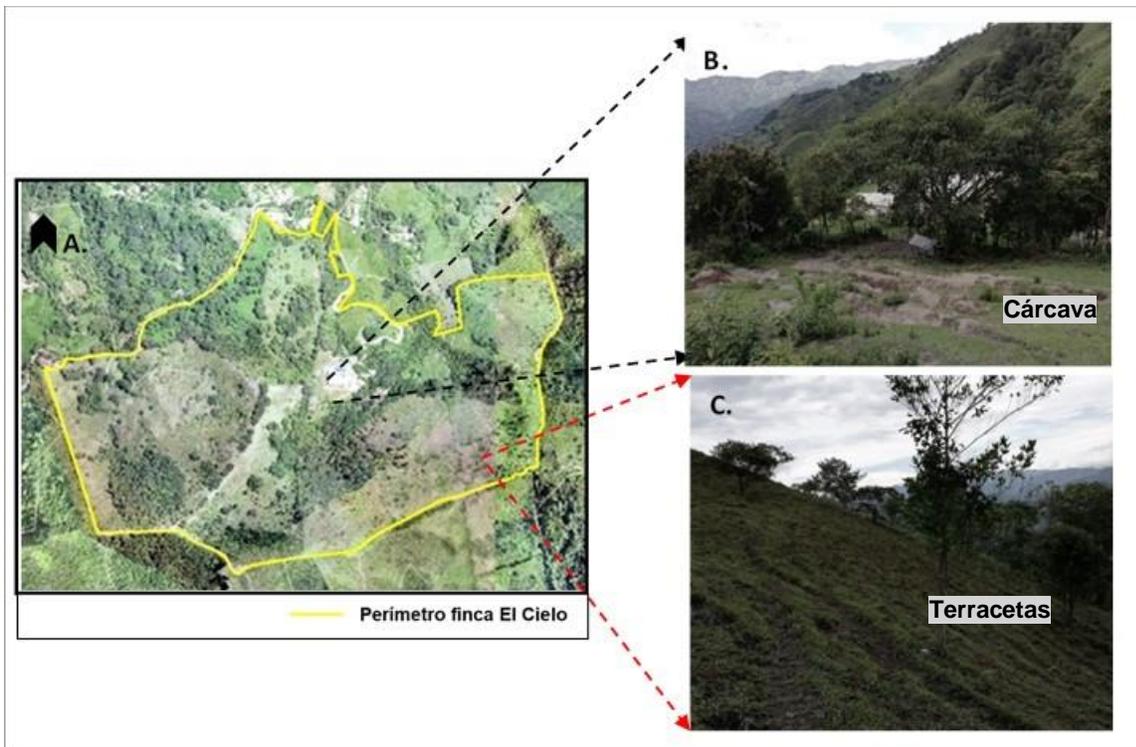
---

<sup>31</sup> Decreto 1449 de 1977 emitido por el Ministerio de Agricultura de Colombia.

<sup>32</sup> La mayoría de los bosques asociados a cañadas no exceden los 50 m., considerando ambos lados del cauce, y podrían ser catalogados, dentro de una clasificación como elemento del paisaje para la conservación, como un corredor biológico (50 m.), mini-corredor biológico (20 y 49 m.) o micro-corredor biológico (4-19 m.) (Lozano-Zambrano, 2009).

Al considerar algunos aspectos socio-culturales se puede establecer una relación entre el origen campesino y local de los propietarios y tomadores de decisión de Marbella, La Cecilita y Los Ocobos, quienes obtuvieron la mayor valoración (Tabla 3-5).

Según Argoty et al., (2015) y Ríos (2017), la protección de las coberturas forestales para la provisión y regulación del agua es una práctica cultural arraigada en el campesino de los Andes colombianos, quienes tienen la **Percepción** que estos componentes de la biodiversidad son recursos naturales clave para el mantenimiento de sus sistemas productivos<sup>33</sup>; aspecto de la psicología humana que se afianza a través del aprendizaje vivencial.



**Figura 3-8:** A) Fenómenos de erosión moderada visibles en el ortosomaico en más del 75% de la finca El Cielo, B) y C) cuyas áreas presentan conflictos de uso del suelo (Archivo propio).

<sup>33</sup> Es importante mencionar que no se debe romantizar la relación percepción, conciencia y conocimiento del campesino con mejores prácticas de conservación. Martínez et al. (2011), estudiando una comunidad campesina en Pasto (Nariño), observaron que la percepción positiva frente al valor de los recursos naturales y la biodiversidad local puede verse afectada en la práctica cuando entran en juego la sostenibilidad económica de su sistema productivo, prefiriendo anteponer sus intereses económicos por encima de los beneficios obtenidos de la agrobiodiversidad.

**Tabla 3-5:** Perfil educativo y origen de los propietarios y administradores de las fincas en estudio (Fuente: Elaboración propia).

Finca	Relación de los propietarios con la finca	Origen y formación o experiencia de los propietarios	Origen y profesión/experiencia de los administradores
El Cielo	Intinerante	Bogotá- Ing. industrial	Campesino
El Eden	Ausente	Bogotá-Administración	Campesino con más de 20 años en manejo de hatos ganaderos
El Hato	Ausente	Bogotá-Comerciante	Campesino con más de 20 años en manejo de hatos ganaderos
El Mirador	Ausente	Bogotá-Militar	Campesino con más de 20 años en manejo de hatos ganaderos
La Cecilita	Intinerante	Campesino-Comerciante	Campesino con más de 10 años de experiencia en temas del campo
La Aldea	Presente	Campesino-Trabaja en la finca desde hace más de 25 años	No cuenta con administrador permanente
Loma Larga	Intinerante	Bogotá-Economista	Campesino con más de 25 años de experiencia en el manejo de hatos ganaderos
Los Ameyes	Intinerante	Bogotá-Médico	Campesino con más de 30 años de experiencia en el manejo en temas del campo
Los Ocobos	Ausente	Barranquilla-Comerciante	Campesino con más de 30 años de experiencia en el manejo de la finca
Marbella	Intinerante	Campesino-Comerciante	Campesino, con el manejo de la finca desde la infancia

Estos tres tomadores de decisión entienden en general la importancia y el valor de los bosques y lo protegen, en la medida en que su sistema productivo lo permite, se prohíben las actividades de tala, caza o quema en sus predios, pero su **Conciencia** ambiental aún es incipiente. El propietario de Marbella heredó la finca cafetera de sus padres, ha sembrado durante muchos años "...pepas de mango, pomarroso, guamos, limones, limón dulce. Hay de todo..." y proyecta que en el futuro como negocio sus hijos podrían "...montar una fábrica el agua... porque ellos saben que eso de la ganadería no vale la pena...".

Los administradores de Los Ocobos y Los Ameyes han sembrado, por reproducción vegetativa, el nacedero (*Trichanthera gigantea* Nees) como árbol nativo para conservar el agua en bosques asociados a cañadas y como alimento eventual para el ganado en las cercas vivas. En algunos existe la intención de adquirir mayor **Conocimiento** sobre la importancia de la estructura espacial de agrobiodiversidad sobre la funcionalidad del sistema productivo (Daza-Cruz, 2020).

Las buenas prácticas de conservación que realizan los propietarios de estas fincas, les ha permitido aumentar su **Capacidad de gestión** pues tienen buenas relaciones con la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca–CAR, que certifica y abala sus prácticas, teniendo *Acceso a programas de apoyo a procesos de conservación de coberturas* mediante la exención del 15% del impuesto predial anual, lo que retroalimenta su **Capacidad económica y financiera**.

Los propietarios de El Cielo, El Edén y El Mirador crecieron dentro de los imaginarios de la megaurbe de Bogotá y se formaron en profesiones no afines a la biología y agronomía. Es posible que sea más difícil para ellos integrar su conocimiento en la realidad de manejar sus sistemas productivos de manera agroecológica (Daza-Cruz, 2020). Sucede que remiten su responsabilidad y cuidado a un administrador con mucha experiencia, de su entera confianza, quien asume las responsabilidades y decisiones inmediatas del manejo del agroecosistema y en ciertos casos, toman las decisiones también sobre el negocio del ganado. En casos extremos, los propietarios o sus hijos no han visitado la finca en meses o años.

El poco arraigo por la tierra, afinidad o interés por el sistema productivo y conocimiento de las estrategias para implementar mejores prácticas de manejo y conservación por parte de ciertos propietarios, le dan una valoración media de 4,15/10 al criterio de **Percepción-conciencia-conocimiento-PCC**. Esta situación se exacerbada por la falta de mano de obra, los programas y políticas estatales y locales que no benefician la producción y comercialización agroecológica (ni siquiera la producción agrícola convencional) y la baja oferta de programas de capacitación en la región (Alcaldía de La Vega, 2020). Estas condiciones limitan más su **Capacidad para la acción-CA** para mantener agroecosistemas agrobiodiversos. La valoración media para este criterio fue 4,73/10.

### 3.4 Emergencia de relaciones entre los indicadores ecológicos y culturales de la EAP

A partir de la organización de las relaciones entre indicadores en la Matriz de Estructura de Diseño (Figura 3-9), la *percepción-conciencia* (PeCo) *afectó* todos los indicadores pero *no fue afectada* por ninguno, siendo el indicador más importante y desde donde se estructura el sistema. A partir de este indicador es posible mejorar el *conocimiento* (CO) y las capacidades, siendo la *capacidad económica y financiera* (CEf) el indicador que activa otro conjunto de indicadores dentro del criterio de *prácticas de manejo* (PM).

Otro indicador clave fue *prácticas de conservación de biodiversidad* (PCb) que tiene un efecto positivo sobre otros indicadores enlace como *manejo de aguas* (MAG) y *rotación de potreros* (RPo). PCb está el centro de la matriz y juega un papel en estructurar los indicadores relacionados con el criterio de *diversidad de conectores* (RiCE, EsCE, RiCI y EsCI) y las otras *prácticas de conservación* (PCs y PCa). Sin embargo este indicador puede afectar negativamente a CEf si no es bien manejada, si por ejemplo las prácticas no favorecen la agrobiodiversidad. Lo mismo puede decirse del *arreglo del sistema* (ASi) y

*manejo del sistema forrajero (MSi)*. Los *usos del suelo (US)* es el resultado de la interacción de todos los indicadores (o procesos) dentro del sistema llamado EAP.

La Matriz de Estructura de Diseño aplicado a las EAP de los agroecosistemas de estudio, permitió comprobar teóricamente los supuestos que subyacen en los criterios e indicadores culturales que fueron propuestos para acompañar la evaluación de la agrobiodiversidad y la estructura agroecológica de los agroecosistemas. El análisis de los factores de tipo cultural son sus determinantes y esenciales para proyectar cambios efectivos en el estado del agroecosistema, partiendo de mejorar la percepción-conciencia, el conocimiento, las capacidades y las prácticas de conservación de la biodiversidad, en ese orden de importancia.

Al considerar la presión actual que experimentan ambos municipios para cambiar su plan de ordenamiento territorial (POT), favoreciendo usos turísticos donde priman los agropecuarios, existe una seria amenaza sobre la sustentabilidad de la producción alimentaria local (Flórez-Triana, 2017; Algecira, 2018; Alcaldía de La Vega, 2020). Este panorama ha impulsado a varios propietarios, cuyas fincas presentan una EAP ligera a moderadamente agrobiodiversa, a poner en venta sus fincas. El reto para los propietarios de estos agroecosistemas es impulsar cambios en su EAP, a partir de una mirada profunda sobre sus percepciones y motivaciones. Esto puede conducir al desarrollo de otras capacidades, no necesariamente financieras, para desarrollar prácticas de manejo y conservación que aumenten su productividad, resiliencia y autogestión, favorecidas por la agrobiodiversidad allí presente.

INDICADORES	PeCo	Con	CT	ClO	CGe	CeF	PSu	Pcs	Rpo	MAg	AIFr	RICE	ESCE	Pcb	Pca	DCA	DFr	RICI	ESCI	ECE	ECl	ASI	Msa	US
Percepción y Conciencia (PeCo)	PeCo																							
Conocimiento (Con)	X	Con	X			X																		
Capacidad tecnológica, técnicas y capacidad de (CT)	X		CT			X																		
Capacidad logística (ClO)	X			ClO	X	X																		
Capacidad de gestión (CGe)	X	X	X	X	CGe	X																		
Capacidad económica y financiera (CeF)	X	X				CeF	X																	
Preparación del suelo (PSu)	X	X					PSu	X																
Prácticas de conservación de suelo (Pcs)	X	X	X	X				Pcs	X															
Rotación de potreros (Rpo)	X	X	X	X					Rpo	X														
Manejo de aguas (MAg)	X	X	X	X						MAg	X													
Área de fragmentos (AIFr)	X				X						AIFr													
Riqueza de conectores externos (RICE)	X	X	X	X		X						RICE												
Estratificación de conectores externos (ESCE)	X	X	X	X									ESCE											
Prácticas de conservación de la biodiversidad (Pcb)	X	X	X	X										Pcb										
Prácticas de conservación de aguas (Pca)	X	X	X	X											Pca									
Distancia entre cuerpos de agua (Dca)	X	X	X	X												Dca								
Distancia entre fragmentos (DFr)	X	X	X	X													DFr							
Riqueza de conectores internos (RICI)	X	X	X	X														RICI						
Estratificación de conectores internos (ESCI)	X	X	X	X															ESCI					
Extensión de Conectores Externos (ECE)	X																			ECE				
Extensión de Conectores Internos (ECl)	X	X	X	X																	ECl			
Arreglo del sistema (ASI)	X	X	X	X																		ASI		
Manejo sanitario (Msa)	X	X	X	X																			Msa	
Uso del Suelo (US)	X	X	X	X																			US	

**Figura 3-9.** Matriz de Estructura de Diseño resultante del análisis de las relaciones entre los indicadores o componentes del sistema EAP, a partir del análisis de las 10 fincas de estudio (Fuente: Elaboración propia).

### 3.5 Conclusiones

Los agroecosistemas ganaderos localizados en la región de La Vega y Nocaima tienen, en general, una agrobiodiversidad moderada según la EAP. Los criterios que evalúan la configuración espacial, estructura y composición de los conectores biológicos, que dan cuenta de la conectividad biológica de la finca con el paisaje hacia los sistemas productivos, dentro de la dimensión ecosistémica, aportan más a esta conformación que las prácticas de manejo y conservación y los determinantes culturales del propietario.

Las fincas Marbella, Loma Larga y La Cecilita fueron las mejor evaluadas, con una agrobiodiversidad moderada a fuerte. Las menos valoradas fueron El Edén y El Cielo como débil a ligeramente agrobiodiversas. Las mayores diferencias entre estas fincas fueron observadas en la *extensión y diversidad de conectores* y las *prácticas de manejo ganadero y conservación de suelos*.

*La percepción-conciencia* es el indicador que mayor efecto tuvo en estructurar el sistema (La EAP) pues afectó a los demás indicadores pero no fue afectado por ninguno. Por el contrario, el *Uso del Suelo* es el indicador que fue afectado por todos los demás y no afectó a ninguno, siendo el resultado de las relaciones entre los demás indicadores. Este primer indicador es por lo tanto un elemento fundamental para mejorar la agrobiodiversidad los agroecosistemas estudiados y acercarse a una EAP ideal.

La descripción detallada de todos indicadores propuestos dentro de la EAP, permite apreciar las fortalezas y debilidades que tiene cada uno de los agroecosistemas ganaderos estudiados en el manejo de su agrobiodiversidad. Un análisis de Matriz de Diseño permitió evidenciar que el bajo nivel su percepción-conciencia puede amenazar la permanencia de los agroecosistemas ante el contexto socio económico que vive la región.

### 3.6 Bibliografía

Alcaldía de La Vega (2020). Plan de desarrollo municipal La Vega 2020-2023. Diagnóstico municipal. La Vega.

Algecira, Y.C. (2018). Estudio sobre los cambios de uso del suelo y las dinámicas agrarias entre 1986 y 2018 en la región del Gualivá. Tesis de Grado. Licenciatura en Ciencias Sociales. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Bogotá.

Ardila-Téllez, J.D. & Cruz-Bernate, L. (2014). Aspectos ecológicos de las aves neárticas en el campus de la Universidad del Valle. Boletín Científico del Museo de Historia Natural 18(2), 93-108.

Argoty, N.; Ñañez, L.N. & Ordoñez, H.D. (2015). Reforestando, reforestando, nuestra microcuenca vamos mejorando. Tesis de Especialización en Educación Ambiental. Fundación Universitaria Los Libertadores, Pasto.

Armenteras, D.; Gast, F. & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113, 245-256.

Bai, Y.C.; Chang, Y.Y.; Hussain, M.; Lu, B.; Zhang, L.P.; Song, Lei, X.S. & Pei, D. (2020). Soil chemical and microbiological properties are changed by long-term chemical fertilizers that limit ecosystems functioning, *Microorganisms* 8: 694. doi:10.3390/microorganisms8050694

Bustamante-Zamudio, C. & Rojas-Salazar, L. (2018). Reflexiones sobre transiciones ganaderas bovinas en Colombia, desafíos y oportunidades. *Biodiversidad en la Práctica* 3(1), 1-29.

Calle, Z.; Guarguata, M.R.; Chará, E. & Chará, J. (2010). La producción de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Colombia: perspectivas para la conservación del hábitat a través del servicio de polinización. *Interciencia* 35(3), 207-212.

Campbell, J.B.; Skoda, S.R.; Boxler, D.J. & Thomas, G.D. (2001). Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gains of grazing yearling cattle. *Journal of Economic Entomology* 94(3), 780-783.

Caro-Roa, A.M. (2020). Caracterización florístico estructural de 17 fincas ganaderas y/o en proceso de regeneración natural ubicadas en La Vega y Nocaima (Cundinamarca). Informe Técnico. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Cepeda, J.; Gómez, D. & Nicholls, C. (2014). La estructura importa: abejas visitantes de café y estructura agroecológica principal (EAP) en cafetales. *Revista Colombiana de Entomología* 40(2), 241-250.

Corrales, E.C. (2002). Transformaciones socioeconómicas y situación de la biodiversidad en los Andes colombianos, desde el período prehispánico. *Cuadernos de Desarrollo Rural* 49, 85-163.

Cleves, J.A. (2018). Resiliencia de agroecosistemas cítricos a la variabilidad climática en el departamento del Meta, Colombia. Tesis de Doctorado en Agroecología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Las Ciencias Exactas* 10(40), 221-268.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. (2014). Censo Nacional Agropecuario. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>

DaCosta, S.S.; dosSantos, J.M.; Forti Broglio, S.M.; Silva Dias, N. & Gómez-Torres, M. (2019). Nuevos registros de moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) en el Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Colombiana de Entomología* 45(1), 1-6.

DaSilva, J.C.B.; Candido Jr. J.F.; Vogel, H.F. & Campos, J.B. (2013). Dispersal by birds of *Psidium guajava* L. (Myrtaceae) in a riparian environment, Parana river basin, Brazil. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde* 34(2), 195-204.

Daza-Cruz, Y.X. (2020). Apropiación humana de la productividad primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional. Tesis de Maestría en Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Delgado-Rozo, J.D. (2015). Nuestras pobres vacas de otros tiempos. En: Gallini, S. (Ed.) Semillas de historia ambiental. Perspectivas ambientales. (pp. 183-214). Jardín Botánico José Celestino Mutis. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Encalada-Mena, L.; Corbala-Bermejo J.; Vargas-Magaña J.; García-Ramírez M.; Uicab-Brito K. & del Río-Rodríguez, J. (2009). Prevalencia de nematodos gastroentéricos de becerros en sistemas de doble propósito del municipio de Escárcega, Campeche, México. *Agrociencia* 43, 569-576.

Etter, A. (2015). La transformación del uso de la tierra y los ecosistemas el periodo colonial en Colombia (1500-1800). En: Roca, A.M. & Ramírez, M.T. (Eds.). La economía colonial de la Nueva Granada. (pp. 62-99). FCE Banco de la República, Bogotá.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2003). Resistencia a los antiparasitarios. Estado actual con énfasis en América Latina. Estudio FAO Producción y Sanidad Animal No. 157, Roma.

Food and Agriculture Organization of the United Nations -FAO. (2018b). The 10 elements of agroecology. Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems, Roma.

Flórez-Malagón, A. (2008). Ganado, ¿para qué? Usos del ganado en Colombia. En: Flórez-Malagón, A. (Ed.). El poder de la carne. Historias de ganaderías en la primera mitad del siglo XX. (pp. 118-163). Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Flórez-Triana, H. A. (2017). Análisis del sistema de comercialización de productos agrícolas perecederos en la transición de la vocación económica de agropecuaria a turística del municipio de La Vega (Cundinamarca) (1995-2015). Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Fournier, E. & Loreau, M. (1999). Effect of newly planted hedges on ground-beetle diversity (Coleoptera, Carabidae) in an agricultural landscape. *Ecography* 22, 87-97.

Gil, A.I.; Celis, A. & Cuevas, J.C. (2012). Efecto inhibitorio de extractos de *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr. y *Lantana camara* L. en preemergencia y posemurgencia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(2), 223-234.

Harvey, C.A. & Haber, W.A. (1999). Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44, 37-68.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (1985a). Estudio general de suelos y zonificación de Tierras. Departamento de Cundinamarca. Tomo I.

Jonsson, N.N. & Mayer, D.G. (1999). Estimation of the effects of buffalo fly (*Haematobia irritans exigua*) on the milk production of dairy cattle based on a meta-analysis of literature data. *Medical and Veterinary Entomology* 13(4), 372-376.

Kalmonovitz, S. (2015). La agricultura del siglo XX. En: Kalmonoviiz, S. (Ed.) Breve historia económica de Colombia. [Recurso electrónico]. Utadeo, Bogotá.

Lacouture-Daníes, H.M. (2006). Aproximación a las autoridades ambientales regionales en Colombia. *Revista de Derecho* 25, 308-334.

León-Mejía, G.; Roy, A.; Choudhary, N. & Brlansky, R. (2017). Trasmisión de leprosis de los cítricos por ácaros *Brevipalpus yothersi* a través de hospederos no cítricos. *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuria* 18(2), 307-319.

León-Sicard, T. E. (2014). *Perspectiva ambiental de la agroecología. La ciencia de los agroecosistemas*. IDEAS- Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

León-Sicard, T. (2021). *La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas. Perspectivas teórico-prácticas*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Lozano-Zambrano, F. H. (Ed.). (2009). *Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Bogotá.

Letourneau, K. D.; Armbrecht, I.; Rivera, S. B.; Lerma, M. J.; Jiménez, E.; Daza, C. M.; Escobar, S.; Galindo, V.; Gutierrez, C.; Lopez, D. S.; Mejia, L. J.; Rangel, A. A.; Rangel, H.; Saavedra, C. A.; Torres, M. A. & Trujillo, R. (2011). Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 21(1), 9-21.

Fournier, E. & Loreau, M. (1999). Effect of newly planted hedges on ground-beetle diversity (Coleoptera, Carabidae) in a agricultural landscape. *Ecography* 22, 87-97.

Mahecha, L.; Gallego, L.A. & Peláez, F.J. (2002). Situación de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2), 213-225.

Martínez, S.; Cruz-Antia, D. & Quintero-Arias, J. (2011). Percepción campesina, uso e institucionalidad del recurso hídrico: caso de estudio en la vereda Aguapamba (Nariño-Colombia). *Ambiente y Desarrollo* 15(28), 71-98.

Massachusetts Institute of Technology-MIT (2021). *Design Structure Matrix*. Complex Systems Engineering Course. <http://web.mit.edu/dsm>

Molina, V.M.; Arbeláez, J.M.; Prada, J.A.; Blanco, R.D. & Oviedo, C.A. (2016). Posible resistencia de *Dictyocaulus viviparus* al fenbendazol en un bovino. *Revista Medicina Veterinaria y Zootecnia* 63(1), 54-63.

Moya, L.M. (2017). *Análisis de las determinantes ambientales en el ordenamiento territorial del Municipio de La Vega, Cundinamarca*. Tesis de Especialidad en Ambiente y Desarrollo Local. Facultad de Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

Municipio de La Vega. (2018). *Plan municipal para la gestión del riesgo PMGRD*. Informe técnico del Consejo Municipal para la gestión del riesgo de desastres, La Vega.

Municipio de Nocaima. (2012). *Plan municipal de gestión de riesgo de desastres CMGRD*. Informe técnico del Consejo Municipal para la gestión del riesgo de desastres, Nocaima.

---

Murgueitio, E. & Ibrahim, M. (2004). Ganadería y medio ambiente en América Latina. Memorias del XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. (pp. 187-292). Universidad Rómulo Gallego, San Juan de los Morros.

Murgueitio, E., Cuartas, C., & Naranjo, J. (2009). Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV, Cali.

Murgueitio, E.; Uribe, F.; Molina, C.; Galindo, W.; Chará, J.; Flores, M.; Giraldo, C.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Solarte, L. & González, L. (2016). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena. Fundación CIPAV, Cali.

Murillo, E.; Correa, J.L.; Cerquera, C.C. & Méndez, J.J. (2018). Potencial antimicrobiano y citotóxico del aceite esencial de *Citrus aurantium* Engl (naranja agria) y de *Swinglea glutinosa* Merr (limón de cerco). Revista Cubana de Plantas Medicinales 23(3), 1-17.

Pérez-Arbeláez, E. (1996). Plantas útiles de Colombia. Edición de Centenario. Fondo Fen Colombia. Jardín Botánico José Celestino Mutis, Bogotá.

Poeydebat, C.; Tixier, P.; De Bellaire L.P & Carval, D. (2017). Plant richness enhance banana weevil regulation in a tropical agroecosystem by affecting a multitrophic food web. Biological Control 114, 125-132.

Quintero, I.; Daza-Cruz, Y. & León-Sicard, T. (2022). Connecting farms and landscapes through agrobiodiversity: the use of drones in mapping the Main Agroecological Structure. En: De Marchi, M.; Pappalardo, S. & Diantini, A. (Eds). Drones and geographical information technologies agroecology and organic farming. (pp. 247-275). CRC Press, Padua.

Rios, C. (2017). From individual decisions to collective actions for biodiversity conservation: networks of reserves of the civil society in Colombia. PhD. Thesis. University of Florida. Gainesville.

Rodríguez, J.F. (2021). Gestión del agua en la comunidad de la Cuenca media del río Tobia (La Vega y Nocaima, Cundinamarca). Proyecto de Tesis de Maestría en Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Rodríguez-Lombana, H.E. & Carón. A.C. (2017). Caracterización florística del bosque subandino y algunas áreas disturbadas en San Bernardo (Cundinamarca), Colombia. Biota Colombiana 18(29), 42-71.

Rodríguez-Vivas, R.I.; Arieta-Román, R.J.; Pérez-Cogollo, J, A.; Ramírez, G.T. & Basto-Estrella, G. (2010). Uso de lactonas macrocíclicas para el control de la garrapata *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* en el ganado bovino. Archivos de Medicina Veterinaria 42, 115-123.

Quintana, A. (2006). Metodología de la investigación científica cualitativa. En: Quintana, A. & Montgomery, W. (Eds). Psicología: tópicos de actualidad. (pp. 47-84). UNSM, Tarapoto.

Sánchez, M.; Rosales, M. & Murgueitio, E. (2003). Agroforestería pecuaria en América Latina. Agroforestería para la producción animal en América Latina II. Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica. FAO, Roma.

Somarriba, E. (1985). Árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en pastizales II. Consumo de fruta y dispersión de semillas. *Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas* 35(4), 329-332.

Somarriba, E. (1995). Guayava en potreros: establecimiento de cercas vivas y recuperación de pasturas degradadas. *Agroforestería en las Américas* 2(6), 27-29.

Souza-Silva M. & Lopes-Ferreira, R. (2011). Sucession of richness, abundance and species composition of frugivorous insects in *Psidium guajava* (L.). *Neotropical Biology and Conservation* 6(2), 103-111.

Tscharntke, T.; Klein, A.M.; Steffan-Dewenter, I. & Ties, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecology Letters* 8, 857-874.

Van Ausdal, S. (2008). Ni calamidad ni panacea: una reflexión en torno a la historiografía de la ganadería Colombiana. En: Flórez-Malagón, A. (Ed.). *El poder de la carne. Historias de ganaderías en la primera mitad del siglo XX.* (pp. 28-47). Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Verdú, J.R.; Lobo, J.M.; Sánchez-Piñero, F.; Gallego, B.; Numa, C.; Lumaret, J.P.; Cortez, V.; Ortiz, A.J.; Tonelli, M.; García-Teba, J.P.; Rey, A.; Rodríguez, A. & Durán, J. (2018). Ivermectin residues disrupt dung beetle diversity, soil properties and ecosystem functioning: an interdisciplinary field study. *Science of Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.331

Waller, P.J. (2006). Sustainable nematode parasite control strategies for ruminant livestock by grazing managements and biological control. *Animal Feed Science and Technology* 126, 277-289.

Youssef, K.Y.A.; Mustafa, Z.M.M.; Mouir, G.A. & Albo-Rehab, M.E.A. (2015). Preliminary studies on fungal species associated with guava fruit drop disease and possible management. *Egyptian Journal of Phytopathology* 43(1-2), 11-23.

Zapata-Cadavid, A. & Silva-Tapasco, B.E. (2016). *Sistemas silvopastoriles. Aspectos teóricos y prácticos* CARDER-CIPAV. Fundación CIPAV, Cali.

## 3.5 Anexos

### 3.6.1 Entrevista semiestructurada para evaluar los aspectos culturales del índice de la Estructura Agroecológica Principal.

PREGUNTAS	
Preliminares	¿Desde cuándo que tiene la finca en su propiedad/la finca es del actual propietario?
	¿Conoce los procesos productivos de los anteriores propietarios?
	¿Cómo estaba su/la finca antes de los actuales propietarios?
	¿Qué cambios se realizaron?
	¿Cambios efectuados en los usos del suelo?
US	¿Por qué planificó/organizó la finca de esta manera? ¿Por qué los bosques? *** ¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
	¿Por qué policultivo en lugar de monocultivo? *** ¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
	¿Por qué agroforestal y/o silvopastoril en lugar de monocultivo? *** ¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
PM	¿Qué semillas tiene?
	¿Dónde o cómo consigue las semillas? Pregunta excluyente (PE)
	¿Cuida y conserva las semillas? ¿Cómo?
	¿Por qué? ***
	¿Qué actividades realiza antes de la siembra?
	¿Cómo prepara el suelo antes de hacer la siembra?
	¿Por qué? ***
	¿Qué usa para abonar?
	¿Dónde lo consigue? (Asociatividad, asistencia técnica)
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto? en siembra, cultivo y abonamiento agroecológico
¿Qué y cómo cultiva?	
¿Siempre cultiva lo mismo en el mismo lugar?	

<b>PREGUNTAS</b>	
	¿Por qué? ***
	¿Cómo manejas las plagas? / ¿Qué tipo de insumos utiliza?
	¿Dónde consigue los insumos? (Asociatividad, asistencia técnica).
	¿Qué usa? ¿Cuántas aplicaciones al año? ¿Por qué? ***
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto? en siembra, cultivo y abonamiento agroecológico
	¿Cómo abona el suelo?
	¿Qué hizo en relación con el suelo cuando instauró el sistema ganadero?
	¿Además de pasto, qué otras plantas mantiene en los potreros?
	¿Dentro de las plantas que se manejan, hay cultivos?
	¿Por qué? ***
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
	¿Con qué plantas alimenta al ganado?
	¿Por qué? ***
	¿Cuánto tiempo mantiene al ganado en cada potrero? ¿Por qué?
<b>PC-PM</b>	Si hay rotación ¿Cómo la realiza?
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
	¿Qué tipo de cercas usa?
	¿Sabe cuánto pasto produce cada potrero?
	¿Por qué? ***
	¿Cómo se hidratan los animales?
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
	¿Cómo sabe si el agua es apropiada para los animales?
	¿Cómo maneja los parásitos?
	¿Qué usa y en qué cantidad?
	¿Por qué? ***
	<b>PC</b>
Si tiene prácticas alternativas ¿Cuáles son?	
¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto? En siembra, cultivo y abonamiento agroecológico	

<b>PREGUNTAS</b>	
	¿Por qué? ***
	¿Cómo cuida las fuentes hídricas? <b>Vegetación protectora</b>
	¿Cómo maneja el riego? ¿En qué cantidad? ¿Cómo lo mide?
	¿Qué prácticas realiza para mantener agua en la finca?
	¿Cómo maneja las aguas residuales?
	¿Por qué? ***
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto? En siembra, cultivo y abonamiento agroecológico
	¿Cómo son las vías de acceso?
	¿Cómo transporta insumos?
	¿Hay viveros o centros de distribución de insumos orgánicos, semillas, plantas y árboles cercanos?
	¿Se cuenta con mano de obra para apoyar las labores de producción agroecológica y conservación?
	¿Cómo es la relación con las instituciones de fomento de la producción agroecológica y la conservación? – La Alcaldía (La UMATA), El Sena, La CAR u ONG
CA	¿Cómo se relaciona con sus vecinos y personas de la región en lo que respecta a la de producción agroecológica y conservación?
	¿Cuenta con plan de manejo (que incluye zonificación de las áreas) de su finca/agroecosistema?
	¿Cómo comercializa sus productos o servicios?
	¿Qué tipo de asistencia técnica recibe?
	¿Conoce de cursos sobre agricultura/ganadería, orgánica/ecológica o de manejo de recursos naturales? ¿Los ha tomado?
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto?
	¿Cómo sabe si el agua es apropiada para los animales?
	¿Cómo maneja los parásitos?
	¿Qué usa y en qué cantidad?
	¿Por qué? ***
	¿Cómo maneja el suelo?
	Si tiene prácticas alternativas ¿Cuáles son?
PC	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto? En siembra, cultivo y abonamiento agroecológico
	¿Por qué? ***
	¿Cómo cuida las fuentes hídricas? <b>Vegetación protectora</b>

<b>PREGUNTAS</b>	
<b>CA</b>	¿Cómo maneja el riego? ¿En qué cantidad? ¿Cómo lo mide?
	¿Qué prácticas realiza para mantener agua en la finca?
	¿Cómo maneja las aguas residuales?
	¿Por qué? ***
	¿Qué dificultades ha tenido? ¿Ha sido costoso? ¿Cómo lo ha resuelto? En siembra, cultivo y abonamiento agroecológico
	¿Cómo son las vías de acceso?
	¿Cómo transporta insumos?
	¿Hay viveros o centros de distribución de insumos orgánicos, semillas, plantas y árboles cercanos?
	¿Se cuenta con mano de obra para apoyar las labores de producción agroecológica y conservación?
	¿Cómo es la relación con las instituciones de fomento de la producción agroecológica y la conservación? – La Alcaldía (La UMATA), El Sena, La CAR u ONG
¿Cómo se relaciona con sus vecinos y personas de la región en lo que respecta a la de producción agroecológica y conservación?	
¿Cuenta con plan de manejo (que incluye zonificación de las áreas) de su finca/agroecosistema?	
¿Cómo comercializa sus productos o servicios?	
¿Qué tipo de asistencia técnica recibe?	
¿Conoce de cursos sobre agricultura/ganadería, orgánica/ecológica o de manejo de recursos naturales? ¿Los ha tomado?	

### 3.6.2 Valores de criterios e indicadores para las fincas de estudio.

FINCA	DCa	DFra	AFrCa	CEEP	ECE	ECI	RICE	EsCE	DCE	RiCI	EsCI	DCI
El Cielo	4,33	3,22	5,88	4,48	4,07	6,73	5,07	8,04	6,56	3,78	6,20	4,99
El Eden	6,28	4,46	2,03	4,26	3,80	2,76	2,66	2,70	2,68	5,14	2,57	3,86
El Hato	2,72	3,91	3,92	3,52	4,56	8,28	6,48	8,31	7,40	1,26	2,51	1,88
El Mirador	4,36	3,77	4,35	4,16	8,07	6,70	1,86	2,94	2,40	6,53	5,65	6,09
La Aldea	3,87	2,72	4,35	3,65	6,61	4,90	4,99	9,19	7,09	8,84	9,19	9,02
La Cecilita	3,94	3,61	3,62	3,72	9,94	8,09	5,12	6,40	5,76	0,93	1,19	1,06
Loma Larga	4,19	4,76	5,19	4,71	9,87	8,03	3,23	5,01	4,12	5,49	5,01	5,25
Los Ameyes	4,07	3,05	3,29	3,47	8,31	8,18	7,21	7,06	7,13	0,85	1,33	1,09
Los Ocobos	3,61	2,82	5,46	3,96	8,38	8,41	4,65	6,08	5,36	7,36	9,82	8,59
Marbella	4,70	4,29	4,56	4,51	8,21	9,70	8,62	9,56	9,09	3,18	3,18	3,18
<b>Total</b>	<b>4,21</b>	<b>3,66</b>	<b>4,26</b>	<b>4,04</b>	<b>7,18</b>	<b>7,18</b>	<b>4,99</b>	<b>6,53</b>	<b>5,76</b>	<b>4,34</b>	<b>4,67</b>	<b>4,50</b>
FINCA	US	PSu	Asi	Rpo	Msa	Mag	PM	PCs	PCa	PCb	PC	
El Cielo	4,56	6,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,60	0,00	6,00	3,00	3,00	
El Eden	2,98	6,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,60	0,00	3,00	3,00	2,00	
El Hato	3,93	6,00	3,00	3,00	6,00	6,00	4,80	3,00	6,00	3,00	4,00	
El Mirador	6,60	6,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,60	0,00	6,00	6,00	4,00	
La Aldea	2,64	6,00	3,00	6,00	3,00	3,00	4,20	0,00	3,00	6,00	3,00	
La Cecilita	5,13	6,00	3,00	3,00	6,00	8,00	5,20	6,00	6,00	6,00	6,00	
Loma Larga	6,55	6,00	8,00	8,00	6,00	8,00	7,20	0,00	6,00	6,00	4,00	
Los Ameyes	5,70	6,00	3,00	3,00	6,00	6,00	4,80	3,00	6,00	6,00	5,00	
Los Ocobos	5,37	6,00	6,00	3,00	6,00	6,00	5,40	3,00	8,00	6,00	5,67	
Marbella	4,82	6,00	6,00	6,00	8,00	8,00	6,80	6,00	8,00	6,00	6,67	
<b>Total</b>	<b>4,83</b>	<b>6,00</b>	<b>4,10</b>	<b>4,10</b>	<b>5,00</b>	<b>5,40</b>	<b>4,92</b>	<b>2,10</b>	<b>5,80</b>	<b>5,10</b>	<b>4,33</b>	
FINCA	PeCo	Con	PCC	CEf	Clo	Cge	CTt	CA	TOTAL			
El Cielo	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	43,99			
El Eden	0,00	3,00	1,50	3,00	8,00	3,00	3,00	4,25	31,68			
El Hato	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	6,00	3,00	5,25	46,62			
El Mirador	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	3,00	2,25	46,88			
La Aldea	3,00	3,00	3,00	3,00	6,00	3,00	3,00	3,75	47,85			
La Cecilita	6,00	6,00	6,00	8,00	6,00	6,00	3,00	5,75	56,66			
Loma Larga	6,00	8,00	7,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	62,73			
Los Ameyes	3,00	6,00	4,50	8,00	6,00	3,00	3,00	5,00	53,19			
Los Ocobos	3,00	6,00	4,50	8,00	6,00	3,00	3,00	5,00	60,64			
Marbella	6,00	6,00	6,00	8,00	6,00	8,00	6,00	7,00	65,98			
<b>Total</b>	<b>3,60</b>	<b>4,70</b>	<b>4,15</b>	<b>5,60</b>	<b>5,60</b>	<b>4,10</b>	<b>3,60</b>	<b>4,73</b>	<b>51,62</b>			



## 4. Relaciones entre escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y conectores biológicos en agroecosistemas ganaderos andinos de Colombia

### Resumen

Este estudio evaluó la riqueza, diversidad, composición, estructura y/o biomasa de plantas y escarabajos coprófagos, en diferentes coberturas en nueve (9) agroecosistemas ganaderos, localizados La Vega y Nocaima, Cundinamarca. Se registraron 234 especies de plantas, distribuidas en 142 géneros y 53 familias y 8.951 escarabajos coprófagos, pertenecientes a seis tribus y 31 especies. La mayor riqueza, diversidad y estructura florística (estratos y clases diamétricas) fueron encontradas en bosques de galería, seguida de vegetación secundaria y cercas vivas. La mayor valoración en todos los atributos evaluados en escarabajos coprófagos fue en las coberturas arbóreas, siendo la biomasa “estadísticamente” similar a la encontrada en cercas vivas y vegetación secundaria. Las especies de escarabajos responden a la complejidad estructural de las coberturas, fenómeno que a su vez se relaciona con las condiciones microclimáticas en su interior (temperatura y humedad relativa). *Dichotomius belus*, *Ontherus lunicollis* y *Copris susanae* pueden desplazarse a los potreros, elaboran galerías y consumen estiércol bovino, lo que las convertiría en especies clave en la incorporación del estiércol en el suelo.

### Abstract

This study evaluated the richness, diversity, composition, biomass and structure of plants and dung beetles in several coverages inside livestock agroecosystems in La Vega and Nocaima. 234 plant species were recorded, distributed in 142 genera and 53 families and 8.951 dung beetles, belonging to six tribes and 31 species. The greatest richness, abundance, diversity and structural complexity of plants were found in gallery forests, followed by secondary vegetation and live fences. In dung beetles, the richness and abundance were higher in tree coverages than open ones. In contrast, the biomass of these insects were similar in open pastures, live fences and secondary vegetation. Dung beetles respond to the structural complexity of coverage, which in turn is related to microclimatic conditions inside them (temperature and relative humidity). *Dichotomius*

*belus*, *Ontherus lunicollis* and *Copris susanae*, can move to open areas, elaborate galleries and consume cattle manure, contributing to their incorporation in the soil.

## 4.1 Introducción

En la región de los Andes colombianos más del 60% de los ecosistemas originales han sido transformados en complejos paisajes culturales (Rodríguez, et al., 2006; Chaves et al., 2007). Desde la perspectiva de la conservación, esta intervención antrópica representa un problema serio pues muchas especies, con algún grado de amenaza de extinción (sea por su rareza, distribución restringida, endemismo, requerimientos de hábitat), no se encuentran representadas en áreas naturales protegidas del país, siendo la conservación en predios privados la única alternativa para garantizar su permanencia (Renjifo et al., 2002; Armenteras et al., 2003; Lozano-Zambrano, 2009; Matallana et al., 2019).

Desde el punto de vista de la agroecología, los paisajes agrícolas, donde convergen de manera compleja ecosistemas y cultura, son una oportunidad para mantener la agrobiodiversidad asociada a los diferentes paisajes (Pimentel et al., 2012; Wezel et al., 2016; León-Sicard et al., 2021). Estos espacios ofrecen beneficios tangibles para los agricultores y comunidades locales, derivados de agroecosistemas agrobiodiversos, funcionales y resilientes, mientras se conserva un parte importante de la biodiversidad regional original (Perfecto & Vandermeer, 2009; Lozano-Zambrano, 2009; Harvey et al., 2008; Altieri 1999).

Desde este enfoque, los agroecosistemas, dependiendo de su tamaño, pueden albergar uno o más ecosistemas, por lo que la toma de decisión de sus propietarios de conservarlos es un factor decisivo para garantizar su representación dentro de escalas de mayor amplitud (paisajes y regiones, propias de los estudios ecológicos) y el bienestar social en los territorios.

Los escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) son un grupo de organismos diversificado y bien representado en bosques tropicales andinos (Medina et al., 2001; Hamel-Leigue et al., 2009; Ferrer et al., 2012; Cultid-Medina et al., 2014, Girón et al., 2016; Chamorro et al., 2018). Por sus hábitos coprófagos y necrófagos, contribuyen al reciclado de nutrientes, ejerciendo funciones ecosistémicas esenciales, tanto en bosques como praderas (Halffter & Matthews, 1966).

Por otro lado, la caracterización florística y estructural de la vegetación presente en las coberturas, como herramienta para evaluar la calidad de los conectores biológicos presentes en las fincas, considerados dentro de la EAP, permite evidenciar la relación entre sus condiciones ecológicas y microclimáticas y el comportamiento esperado para otros taxa asociados (Ewel & Bigelow, 1996; Rangel & Velázquez, 1997; Begon et al., 2006).

A partir del contexto anterior, este trabajo responde las siguientes preguntas: ¿Difiere la composición florística y estructural de la vegetación en los diferentes conectores biológicos estudiados al interior de las fincas? ¿La riqueza, abundancia, biomasa y/o composición faunística de las comunidades de escarabajos coprófagos guarda alguna relación con la complejidad estructural y florística de los conectores biológicos en las fincas evaluadas? ¿Cuáles especies dentro del pool regional, presentes en los conectores, podrían incorporar estiércol bovino en los potreros?

## 4.2 Materiales y métodos

### 4.2.1 Delimitación del agropaisaje de estudio y densidad de cobertura en bosque

Las nueve fincas de estudio, localizadas dentro de la Cuenca del río Tobia-Tabacal, en los municipios de La Vega y Nocaima (Cundinamarca) (ver Capítulo 1), fueron visibilizadas como de una unidad de paisaje. Para ello se delimitó un área de influencia de la finca (*AI*), definida por un círculo cuyo radio mide el doble del lado más largo de la finca (Ver capítulo 2), para ser sumadas finamente. La sumatoria de dichas áreas permitió la delimitación del ámbito espacial de estudio (Figura 4-1).

Dentro de las nueve fincas y sus *AI*, se cuantificaron tanto la densidad de parches de vegetación natural como los cuerpos de agua, obteniéndose un valor total del área cubierta por vegetación natural y cuerpos de agua y una medida parcial de la conexión con la estructura ecológica del paisaje, uno de los indicadores del índice de la EAP (ver capítulos 2 y 3), mediante la siguiente ecuación:

$$AFrCa = \frac{\sum_1^m AtFr_i + \sum_1^n ACa_j}{AI} * 100 \quad (4-1)$$

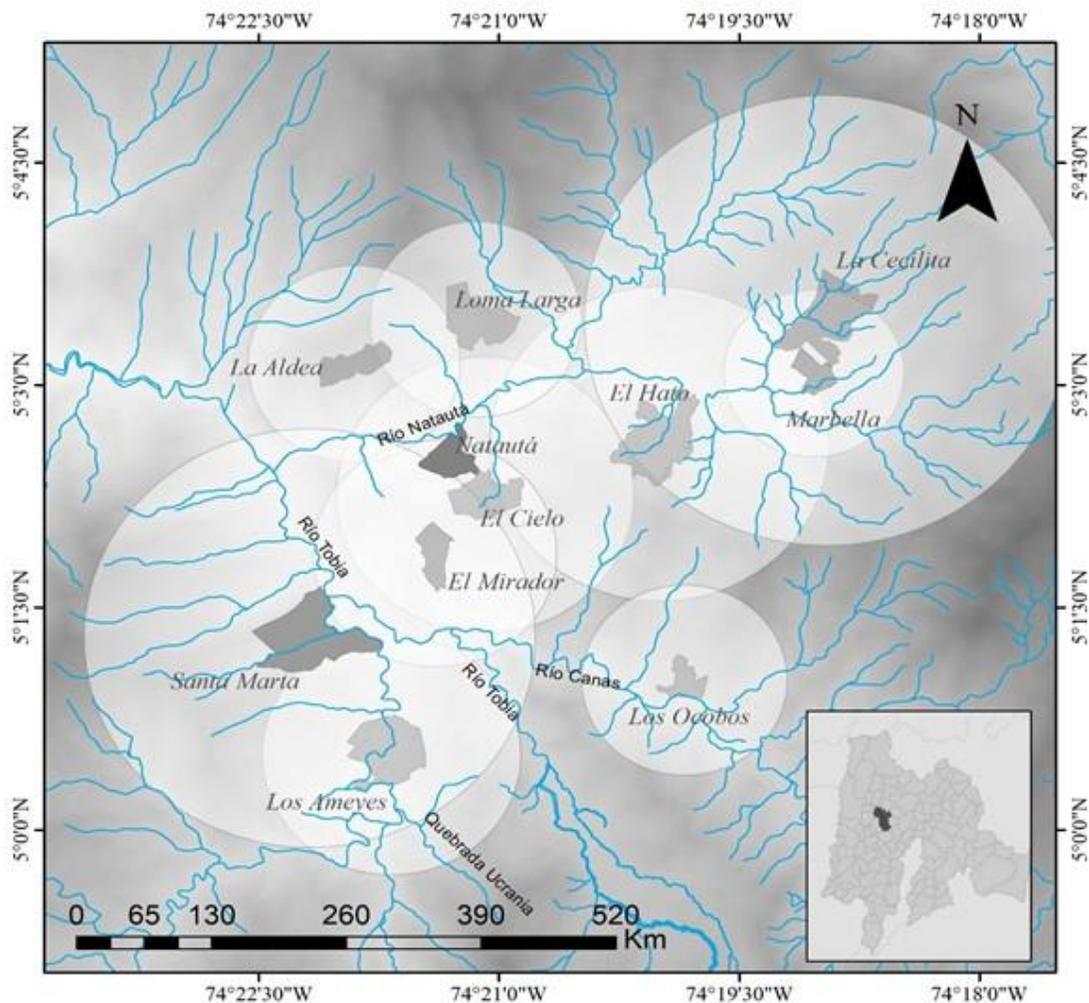
Donde:

*AFrCa* = Área de fragmentos de vegetación natural y cuerpos de agua

*AtFr<sub>i</sub>* = Área de fragmentos tipo t

*ACa<sub>j</sub>* = Área de cuerpos de agua tipo j

*AI* = Área de influencia de la finca



**Figura 4-1:** Localización del agropaisaje de estudio en el que se incluyen las fincas y sus áreas de influencia (AI) dentro de la Cuenca del río Tobia-Tabacal, representadas por los círculos concéntricos alrededor de cada finca (Elaborada por Xiomara Daza-Cruz).

#### 4.2.2 Caracterización florística y estructural de las coberturas presentes en las fincas

Durante diciembre de 2018 y octubre de 2019 se muestrearon coberturas vegetales al interior de las nueve fincas seleccionadas siguiendo la metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), con la colaboración de un especialista<sup>34</sup>.

<sup>34</sup> Astrid Milena Caro-Roa, Bióloga, Maestra en Ciencias Biológicas con énfasis en biodiversidad y conservación de plantas de la región andina. E-mail: milenarobotanica@outlook.es

Se realizaron 24 levantamientos florísticos y estructurales de la vegetación, usando como unidad de muestreo parcelas de diferente tamaño en los sitios y fincas de estudio (ver Tabla 4-1). En cada una de los conectores biológicos muestreados se midió la altura de la planta y cobertura (espacio ocupado dentro de la parcela). Para los individuos leñosos, con alturas superiores a 1,5 m, se midió la circunferencia a la altura del pecho o CAP (Rangel & Velázquez, 1997).

El acercamiento en unidades de vegetación en el paisaje no contempla la caracterización puntual de todas las parcelas en todos los sitios pre-seleccionados. Por lo tanto, para aquellos sitios que no pudieron ser muestreados sistemáticamente, se realizó una inspección visual de su estructura, registrando el tipo de cobertura y su geoposicionamiento y se colectaron los individuos que no hubiesen sido registrados previamente. Se contabilizaron 41 sitios en total (Caro-Roa, 2020).

En el caso de las especies de plantas vasculares, se colectaron máximo tres (3) muestras botánicas por individuo cubriendo diferentes estados fenológicos (vegetativo, floración, fructificación) y registrando datos asociados (color de las hojas, flores, indumento y frutos, olor y textura, entre otros). Todas las muestras coleccionadas se prensaron y preservaron empleando etanol al 70%, utilizando las técnicas clásicas de herbario y se depositaron en el Herbario Tropical, registrado, ante el Herbario Federico Meden del Instituto Alexander von Humboldt, con el código 245 (Caro-Roa, 2020).

**Tabla 4-1:** Tamaño de las parcelas para el muestreo de plantas en las diferentes coberturas muestreadas en las fincas de estudio (Fuente: Caro-Roa, 2020).

Cobertura	Tamaño de parcela/método de muestreo		Sitios de muestro	Finca
Bosques de galería (BG)	1000 m <sup>2</sup>	Colectas generales	4	La Cecilita - Los Ocobos - Loma Larga-Natautá
Vegetación secundaria alta (VSA)	1000 m <sup>2</sup>		4	La Cecilita - Los Ocobos - Marbella - Natautá
Vegetación secundaria baja (VSB)	1000 m <sup>2</sup>		Los Ameyes	
Pastos arbolados (PA)	1000 m <sup>2</sup>		4	Loma Larga - El Mirador
Pastos limpios (PL)	1 m <sup>2</sup> /10 m por 100m		12	El Cielo - El Hato

### 4.2.3 Caracterización de escarabajos coprófagos

#### Premuestreo de escarabajos coprófagos

Durante agosto y septiembre de 2017, la finca Loma Larga (incluyendo su área de influencia) fue seleccionada, por sus facilidades logísticas, para realizar la caracterización preliminar de la fauna de escarabajos coprófagos de la región, identificar las especies presentes en las diferentes coberturas, ajustar el protocolo de muestreo para las dimensiones del vaso colector, número de trampas, distancia entre trampas y tiempo de exposición.

Se trazaron y recorrieron dos transectos de aproximadamente 1,5 km de longitud (esfuerzo máximo que dos personas pueden realizar en cuatro días bajo condiciones locales), atravesando un mosaico de coberturas presentes en la finca (potreros, vegetación secundaria, cercas vivas, bosques de galería) y evaluando la longitud promedio de las coberturas, pendiente, dificultad de acceso y aspectos logísticos a tener en cuenta para iniciar el muestreo. Se instalaron 20 y 17 trampas pitfall en los dos transectos, distanciadas 30-50 m entre sí.

Para la colecta de ejemplares se usaron trampas de caída, que consisten en vasos plásticos de 10,5 cm de diámetro, 10 cm de profundidad y capacidad volumétrica de 370 ml, enterrados a ras de suelo, en cuyo interior se instalaron embudos de acetato ajustados a la boca del vaso para evitar la salida de individuos. El cebo utilizado fueron 40-50 gr (cuchara sopera) de excremento humano, envuelto en tela de tul y suspendido con un alambre en el centro del vaso. No se utilizó líquido fijador o preservativo. Cada trampa tenía un plato plástico de 17 cm de diámetro a 10 cm de altura de la superficie del suelo, suspendido en posición de trípode con alambre dulce, para evitar ahogo de los individuos que cayeron al vaso colector.

Las trampas fueron evaluadas al siguiente día (actuando por 24 h), los individuos fueron identificados con el apoyo del especialista en taxonomía<sup>35</sup>. Se capturaron solamente ejemplares con dificultad en su identificación o una muestra representativa de aquellas especies colectadas repetidamente. En laboratorio, los ejemplares capturados fueron confirmados con la ayuda de la colección de referencia de escarabajos coprófagos (CRECC) del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) y claves taxonómicas especializadas. Los ejemplares fueron allí depositados.

Para evaluar el número de trampas necesarias para obtener una buena representatividad del muestreo en cada cobertura y sitio, se realizaron curvas de acumulación de especies por cobertura y trampa, evaluadas mediante el estimador de riqueza esperada Chao 1, en el programa EstimateS (Colwell & Coddington 1994; Chao et al., 2009).

---

<sup>35</sup> Claudia Alejandra Medina, doctora en sistemática de escarabajos coprófagos y curadora de la colección de referencia de escarabajos coprófagos del IAvH.

## Muestreo de escarabajos coprófagos

Entre febrero de 2018 y mayo de 2019 se realizaron muestreos en nueve (9) fincas, durante dos ocasiones (Tabla 4-2), excluyendo los meses de enero, julio y agosto, los más secos del año. Adicionalmente se mostraron cuatro sitios con vegetación secundaria en dos fincas adicionales (Santa Marta y Natautá) pues de carecía de esta cobertura en algunas de las fincas mencionadas.

En cada finca (a excepción de Santa Marta y Natautá) se muestrearon cuatro-seis coberturas en cada ocasión (Tabla 4-2). En cada uno, se instalaron cuatro trampas pitfall, ajustadas a un transecto lo más lineal posible, distanciadas 25-40 m entre si. Esta medida estuvo limitada por la longitud corta de muchas coberturas, sus formas irregulares y dificultad de acceso e instalación. Las especificaciones de la trampa y el tiempo de acción fueron iguales a la fase de premuestreo.

Los ejemplares en las trampas fueron identificados, contados y liberados. Solo se colectaron ejemplares con cierta dificultad en su identificación y comparados con la colección de referencia elaborada en la fase previa. Las especies no colectadas previamente se identificaron y sumaron a dicha colección.

**Tabla 4-2:** Características del muestreo de escarabajos coprófagos en las diferentes coberturas en los agroecosistemas de estudio.

Cobertura	Sitios de muestreo	Trampas	Horas trampa	Fincas
Bosques de galería (BG)	18	72	1.728	9
Vegetación secundaria alta (VSA)	8	32	768	4
Vegetación secundaria baja (VSB)	10	40	960	5
Cercas vivas (PA)	18	72	1.728	9
Pastos arbolados (PA)	16	64	1.536	9
Pastos limpios (PL)	18	72	1.728	9
Total	88	352	8.448	11

### 4.2.4 Métodos de análisis de la información

#### Aspectos florísticos y estructurales de la vegetación

La riqueza florística presente en las diferentes coberturas se estableció como el número de taxones clasificados a nivel de familia, género y especie. La diversidad por tipo de cobertura, se estimó usando índices de diversidad clásicos que consideran la equidad y la

dominancia en la distribución de la abundancia de taxones en las muestras (Magurran, 2004; Begon et al., 2006).

El Índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (4-2)$$

El Índice de Simpson ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \sum P_i^2 \quad (4-3)$$

Donde:

$P_i = n_i / N$ ; que equivale a evaluar la proporción de la especie  $i$  ( $n_i$ ) en el total de individuos de la muestra ( $N$ ).

Se realizó un análisis de la estructura vertical y horizontal, estableciendo categorías de altura y diámetro, adaptando las propuestas de Mendoza et al., (2006) y Ponce et al., (2009), estimando el DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de los individuos vasculares mediante la siguiente fórmula, consignada en Franco-Roselli et al., (1997):

$$DAP = CAP/\pi \quad (4-4)$$

Donde:

$CAP$  = Circunferencia a la altura del pecho y  $\pi = 3,14159$ .

## Riqueza, composición y estructura de comunidades

En cada una de los sitios de muestreo, se evaluó la riqueza (número de especies), abundancia (número de individuos por especie) y biomasa (peso seco del total de los individuos colectados/unidad de muestra), analizadas mediante una prueba de análisis de varianza de una vía (Anova), previa evaluación de cumplimiento de los supuestos estadísticos obligatorios para aplicarla; normalidad mediante prueba de Shapiro y homocedasticidad mediante prueba de Barlett sobre los residuales. Cuando la diferencia de medias entre coberturas superó el umbral de significancia ( $\alpha=0,05$ ), se aplicó la prueba de Tukey y se verificaron los intervalos de confianza (IC) entre pares de tratamientos. Para correr el análisis fue utilizado el entorno de análisis R Studio en sus librerías biotools y dplyr.

Para estimar la biomasa, como una variable relacionada con la productividad del ecosistema, flujos de energía y redes tróficas (Brown et al., 2004), se deshidrataron en invernadero 1-30 individuos, dependiendo del número de ejemplares colectados, por cuatro semanas y pesados en balanza electrónica (Kern Acs 220-4) de 0,001 gr de precisión, hasta alcanzar peso constante. Información sobre su tamaño, comportamiento de nidificación y periodo de actividad también fue considerada (Anexo 4-1). Para determinar el tamaño promedio de cada especie, 1-30 individuos fueron medidos, desde el clípeo hasta el pigidio, con un calibrador digital (Vincn DCLA-0605), con una resolución de 0,0005"/0,01 mm. Las especies fueron clasificadas como pequeñas (<10 mm) y grandes ( $\geq 10$  mm).

Para evaluar el efecto de la *diversidad de conectores externos e internos* (DCE y DCI), especialmente su estructura vertical (EsCE y EsCI), evaluados dentro de la EAP, sobre la composición faunística de las comunidades de escarabajos coprófagos en cada sitio, se realizó un Análisis de correspondencia sin tendencia (Detrended Correspondence Analysis o DCA). Esta técnica multivariada permite observar visualmente la ordenación de los sitios dentro del espacio multidimensional proyectado en sus dos primeras dimensiones (Hill & Gauch, 1980), usando el entorno de análisis R Studio, en su librería Vegan. Previamente, fueron eliminadas las especies con tres (3) o menos individuos colectados para evidenciar patrones más claramente.

Se realizaron análisis de correlación de Pearson tanto de riqueza florística de conectores (RiCE y RiCI) como de estratificación vertical, usando la sumatoria total de los DAP de lantas leñosas presentes en los mismos (EsCE y EsCI) y la riqueza, abundancia y biomasa de las comunidades de escarabajos coprófagos encontradas en dichas coberturas. Para los potreros sin árboles, donde el muestreo de plantas leñosas no es posible, fue asumido un DAP teórico de 20 cm en todas las parcelas.

## **Medición de variables microclimáticas**

La temperatura y humedad relativa fueron medidas entre 2-15 días, en bosques de galería (n=3), cercas vivas (n=3) y potreros sin árboles (n=3), usando data loggers (RHT10 v.3.3), en las fincas Larga, La Aldea y El Mirador. Esta ejercicio permitió una visión general y cualitativa de las diferencias microclimáticas entre las tres coberturas evaluadas, afectando las comunidades de escarabajos coprófagos.

## **4.3 Resultados y discusión**

### **4.3.1 Delimitación del agropasaje y su densidad de cobertura en bosque**

El paisaje ganadero estuvo circunscrito a una área de 6.545 ha, en el que estaban incluidas las fincas y sus áreas de influencia (A), cuyos afluentes drenan a la Cuenca del río Tobia-

Tabacal. El 40,42% del agropaisaje estuvo representado por fragmentos, bosques de galería y cercas vivas (ver Capítulo 3).

### 4.3.2 Caracterización florística y estructural de las coberturas vegetales presentes en las fincas

Los 41 sitios de muestreo reportaron 234 especies, distribuidas en 142 géneros y 53 familias, siendo las más representativas Fabaceae con 24 especies y 13 géneros, seguida de Melastomataceae con 19 especies y 5 géneros, Lauraceae con 15 especies y 6 géneros, Asteraceae con 13 especies y 7 géneros y Rubiaceae con 12 especies y 12 géneros.

La mayor riqueza local en las fincas de estudio fue registrada en los bosques de galería, con 22 especies en promedio y la menor en los potreros sin árboles o pastos limpios, con cinco (5) especies (Tabla 4-3). Los mayores valores de diversidad fueron observados en bosques de galería y vegetación secundaria alta. Las cercas vivas poseen diversidad media.

**Tabla 4-3:** Riqueza total y diversidad florística para las coberturas evaluadas en las fincas de estudio (Fuente: Caro-Roa, 2020).

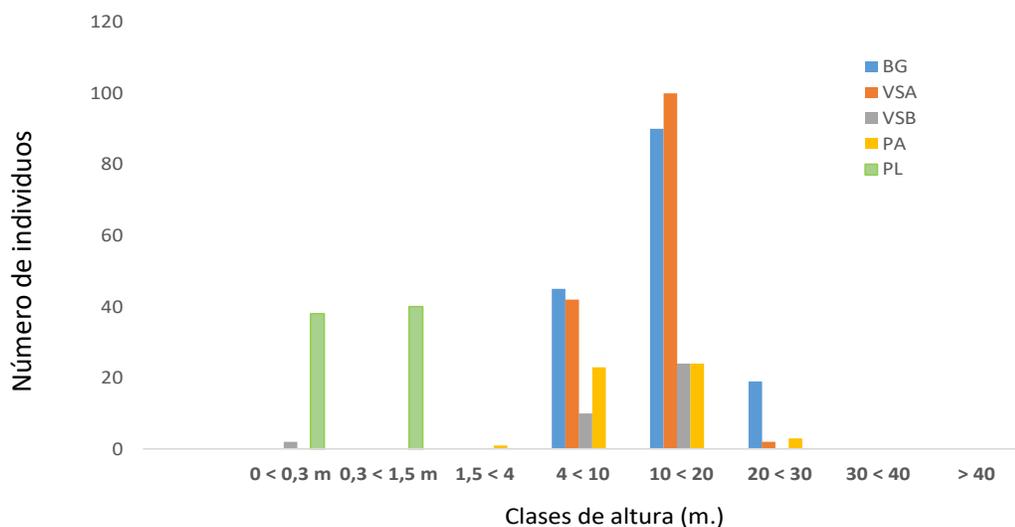
Estimadores	BG	VSA	VSB	PA	PL
Especies	22,33±3,70	18,33±2,44	13	7,75±2,25	5,3±1,92
Individuos	51,33±6,89	48,00±18,67	36	12,75,5±5,12	–
Ind. Shannon-Wiener	2,78±0,17	2,61±0,14	2,21	2,37±0,08	–
Ind. Simpson	0,09±0,02	0,09±0,01	0,14	0,12±0,17	–

BG=bosque de galería, VSA= vegetación secundaria alta, VSB= vegetación secundaria baja, PA= pastos arbolados (incluye cercas vivas y potreros con árboles) y PL= pastos limpios (potreros sin árboles).

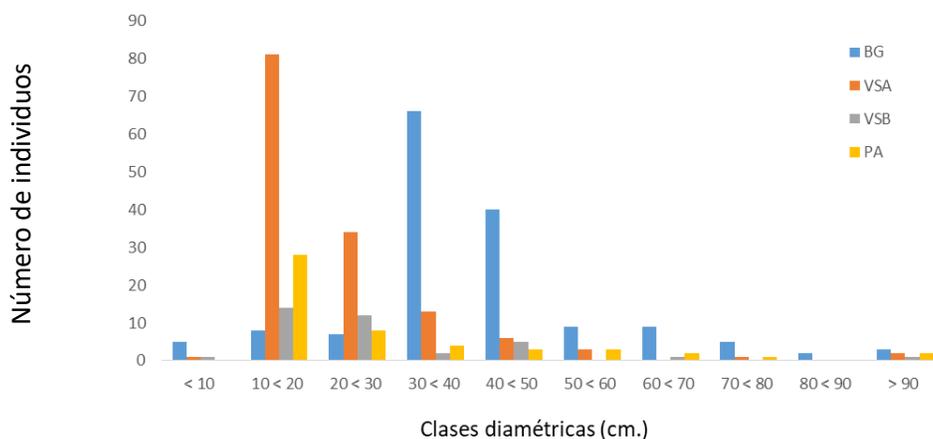
Los bosques de galería, aunque variables en composición florística, se colectaron especies de los géneros *Cordia*, *Oreopanax* y *Ficus*, presentes en bosques conservados (Cuatrecasas, 1958; Rangel & Lozano, 1991) (ver Tabla 3-4). Se observaron muchos individuos en categorías intermedias de altura (1,5-10 m) (Figura 4-2), con DAP entre 30-40 cm (Figura 4-3). La ausencia de helechos arborescentes (*Cyathea* spp.), orquídeas, bromelias, briofitos y líquenes, sugieren procesos históricos de disturbio generalizados, relacionados con la degradación del suelo y cambios microclimáticos en su interior (Rodríguez-Lombana et al., 1997; Koster et al., 2009; Caro-Roa, 2020).

En la vegetación secundaria se observan individuos de *Cecropia* spp., *Myrsine latifolia* (Ruiz & Pav.) Spreng., *Miconia* spp. y *Vismia macrophylla* Kunt, con portes altos y tallos gruesos, que sobrevivieron a procesos de tala y descapote para la ganadería, agricultura

y recreo. Se evidencian secciones de pastos braquiaria y un banco de semillas de especies de sucesión secundaria de rápido crecimiento (Caro-Roa, 2020).



**Figura 4-2:** Distribución del número de individuos de acuerdo con su altura en las coberturas muestreadas presentes en las fincas de estudio (Fuente: Caro-Roa, 2020).



**Figura 4-3.** Distribución del número de individuos de acuerdo con el grosor de su tallo en las coberturas presentes en las fincas de estudio (Fuente: Caro-Roa, 2020).

La agrupación de individuos en las categorías de altura y clases diamétricas indican que los individuos presentes en estas dos coberturas están en etapa de crecimiento, en procesos de regeneración natural. El registro de la palma *Geonoma* sp., en la vegetación secundaria indicaría presencia de pequeños a medianos mamíferos, roedores y/o aves que forrajean, ayudando a la dispersión de sus semillas (Zona & Herderson, 1989; Vieira et al., 2003; Andreazzi et al., 2009). A su vez, el excremento de estos pequeños vertebrados podrían ser consumidos por escabajos coprófagos, que contribuirían a su dispersión secundaria (Andresen & Feer, 2002).

Esta dinámica sucesional generalizada puede conducir a bosques mejor conservados en un mediano plazo y al re-establecimiento de la fauna asociada. Es importante considerar que en la región, bajo la cuota altitudinal estudiada, no se encontraron parches de vegetación madura o están localizados en áreas de difícil acceso.

En las cercas vivas existe una mezcla de plantas sembradas intencionalmente y especies típicas de sucesión temprana, con maderables como *Cedrella odorata* L. y comestibles como *Mangifera indica* L., *Inga spectabilis* (Vahl) Willd. y *Psidium guajava* L., junto a *Croton hibiscifolius* Kunth ex Spreng y *Vismia baccifera* (L.) Triana & Planch.

En muchos potreros, se mezcla el pasto braquiaria (*Urochloa* spp.) con arvenses (en promedio cinco especies por m<sup>2</sup>, lo que los cataloga como pastos enrastrados). No son consumidas por el ganado y el productor las considera “malezas”, pero dentro del conocimiento etnobotánico y popular tienen propiedades y usos comestibles, apícolas, ornamentales, maderables, agronómicos y terapéuticos (Tabla 3-4) (Torres et al., 2017; Saldanha-Dantas et al., 2018, Cornejo & Fuentes, 2019).

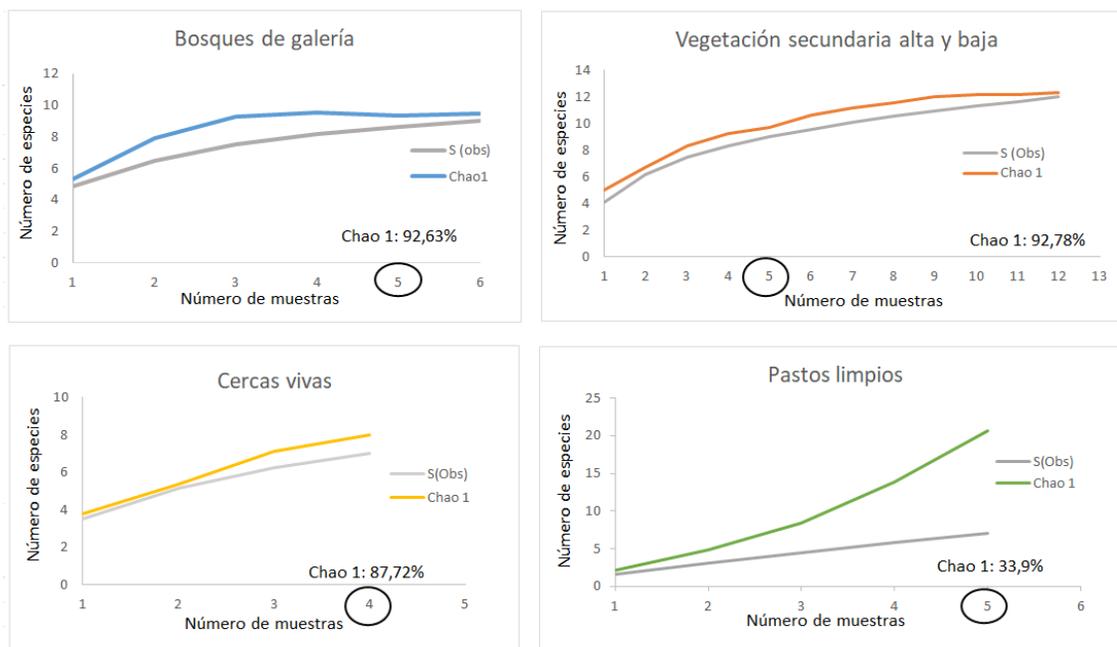
Desde la conservación o producción convencional, estos pastos enrastrados o en barbecho pueden tener un valor bajo, pero desde la agroecológica tiene importantes funciones para el “descanso”, recuperación y renovación de las propiedades del suelo (Primavesi, 1980). Adicionalmente son utilizados como sitios complementarios de forrajeo y reproducción de insectos que contribuyen a la polinización o control biológico de plagas (Murgueitio et al., 2009; Calle et al., 2010; Sanabria & Chacón-de-Ulloa, 2011).

### **4.3.3 Diversidad de escabajos coprófagos**

#### **Diversidad regional, representatividad y registros faunísticos importantes**

La representatividad del muestreo fue considerable pues se colectó más del 94% de las especies esperadas para las coberturas boscosas, según el estimador de riqueza Chao1 (Figura 4-4). La menor representatividad se obtuvo en potreros sin árboles, con solo el 33%, pues varias especies fueron colectadas una única vez (singletons).

Considerando una relación de compensación entre esfuerzo logístico, costo beneficio y representatividad (90% es considerado muy buen estimativo), se determinó un esfuerzo de muestreo de cuatro trampas por sitio para iniciar el programa de investigación; recomendación que fue aplicada en la fase de muestreo.



**Figura 4-4:** Curvas de acumulación de especies de escarabajos coprófagos de acuerdo al esfuerzo realizado en el premuestreo, usando trampas de caída y su representatividad, en la Finca Loma Larga y su área de influencia (AI) (Fuente: Elaboración propia).

En el periodo de muestreo se colectaron 8.951 escarabajos coprófagos de la subfamilia Scarabaeinae *sensu stricto*<sup>36</sup>, pertenecientes a seis (6) tribus y 31 especies (Tabla 4-4). La riqueza total observada en el muestreo superó la riqueza esperada durante la fase de premuestreo. Por ejemplo, en los bosques de galería se colectaron 11 especies más de las esperadas. En los potreros se colectaron cinco especies durante la fase de premuestreo y más de las 22 esperadas en el periodo de muestreo.

Es importante mencionar que algunas especies de escarabajos coprófagos presentes en el bosque, pueden, dependiendo de la escala de tiempo utilizada en la evaluación, penetrar zonas abiertas, si existen árboles dispersos en los potreros y una matriz compleja que contribuya a su dispersión, aumentando la diversidad local. Ello, debido a su alta capacidad

<sup>36</sup> Se excluyeron tres especies de la tribu *Aphodiini* del análisis por pertenecer a otra subfamilia (*Aphodiinae*). Es posible que después de la última revisión del material colectado y revisión de las identificaciones, la riqueza podría disminuir levemente.

de vuelo, habilidad para detectar su fuente de alimento a grandes distancias y cierta amplitud en sus rangos de tolerancia (Gill, 1991; Cultid-Medina et al., 2015).

Estos resultados evidencian los inconvenientes de realizar estimaciones de biodiversidad usando evaluaciones ecológicas rápidas y/o caracterizaciones puntuales. Se pueden escapar del registro especies “raras”, que tienen importancia para la conservación y/o comprensión de patrones ecológicos en paisajes heterogéneos, en escalas espaciales y temporales amplias (Fleishman et al., 2006).

En relación con los registros importantes podemos mencionar que *Sylvicanthon aequinoctialis* Har., *Canthidium* sp. 06H, *Dichotomius* sp. 13H y *Deltochilum* sp. 1 mostraron clara preferencia por sitios con cobertura arbórea. Por el contrario, *Dichotomius belus* Har., *Copris susanae* Darling & Génier, *Eurysternus mexicanus* Har. y *Onthophagus* sp. 01H, lo hicieron por sitios abiertos o poco arbolados. Las cercas vivas registraron tanto especies asociadas a bosque como a zonas abiertas. No se registraron especies exclusivas a una cobertura particular.

*Canthon subhyalinus* Har., con más del 80% del total de ejemplares colectados (7.443 individuos) es un hallazgo notable, considerando que en otros paisajes agrícolas y ganaderos de los Andes colombianos ha sido poco colectada y/o asociada a ambientes arbóreos (Cultid-Medina et al., 2012; Vargas-Pérez & Martínez, 2016; Mendevil et al., 2020). Vaz-de-Mello et al. (2014) la incluyen en la lista roja de especies amenazadas por su restricción al bosque (dosel) y su dependencia por el estiércol de mamíferos. Los resultados encontrados sugieren que no es una especie tan restringida y especializada como previamente se suponía. Lo mismo sucede con *C. susanae*, la cual fue observada alimentándose de estiércol bovino. Ha sido recientemente descrita (Darling & Génier, 2018), poco colectada en el país y se desconocen aspectos de su historia natural.

**Tabla 4-4:** Riqueza y abundancia total de escarabajos coprófagos en el estudio. \*Los números antes y entre parentesis son el número total de sitios por cobertura y por finca, respectivamente.

Especies	Coberturas				
	BG	VS	PA		PL
			CV	PcA	PsA
<b>ATEUCHINI</b>					
<i>Ateuchus</i> sp.1	0	3	0	0	0
<b>CANTHONINI</b>					
<i>Canthon (Sylvicanthon) aequinoctialis</i> (Har, 1868)	142	127	16	2	2
<i>Canthon</i> sp.09H	134	61	53	12	7
<i>Canthon</i> sp.10H	0	0	1	1	3
<i>Canthon subhyalinus</i> Harold, 1867	3344	2849	658	179	70
<i>Deltochilum</i> sp.1	1	3	0	0	0
<i>Pseudocanthon</i> sp.1	0	0	1	0	2
<b>COPRINI</b>					
<i>Canthidium</i> sp.02H	0	10	0	0	0
<i>Canthidium</i> sp.06H	10	9	0	0	0
<i>Canthidium</i> sp.29H	13	12	5	2	1
<i>Canthidium</i> sp.1	0	1	0	0	0
<i>Copris susanae</i> Darling & Génier, 2018	1	0	4	10	1
<b>DICHOTOMINI</b>					
<i>Dichotomius belus</i> (Harold, 1880)	14	34	46	16	54
<i>Dichotomius</i> sp.04H	2	1	7	7	3
<i>Dichotomius</i> sp.13H	38	5	3	0	0
<i>Dichotomius</i> aff <i>agenor</i>	14	6	4	0	1
<i>Ontherus lunicollis</i> Génier, 1996	4	1	10	0	2
<b>ONITICELLINI</b>					
<i>Eurysternus caribaeus</i> (Herbst, 1789)	7	84	6	1	4
<i>Eurysternus foedus</i> Guérin, 1830	13	13	27	18	6
<i>Eurysternus mexicanus</i> Harold, 1824	3	11	16	22	15
<i>Eurysternus plebejus</i> Harold, 1880	26	5	0	4	3
<b>ONTHOPHAGINI</b>					
<i>Onthophagus accuminatus</i> Harold, 1880	9	5	10	6	3
<i>Onthophagus bidentatus</i> Drapiez, 1819	146	230	63	11	11
<i>Onthophagus curvicornis</i> Latreille, 1812	0	0	4	0	1
<i>Onthophagus landolti</i> Harold, 1880	0	0	1	1	0
<i>Onthophagus lebasi</i> Boucomont, 1932	0	0	0	1	3
<i>Onthophagus marginicollis</i> Harold, 1880	1	0	0	9	0
<i>Onthophagus</i> sp.01H	6	2	65	27	16
<i>Onthophagus</i> sp.1	0	1	1	0	0
<b>PHANAEINI</b>					
<i>Diabroctis cadmus</i> (Harold, 1868)	0	1	0	0	1
<i>Oxysternon conspicillatum</i> (Weber, 1801)	2	0	5	0	3
<b>S</b>	21	23	22	18	22
<b>N</b>	3930	3474	1006	329	212

## Relaciones ecológicas entre conectores y escarabajos

La mayor riqueza y abundancia de escarabajos coprófagos fue observada en bosques de galería, seguido de vegetación secundaria, cercas vivas, potreros con árboles y potreros sin árboles. Estas diferencias adquieren una importancia estadística al comparar coberturas arbóreas con menos o no arbóreas. (Tabla 4-5). Los potreros y cercas vivas poseen valores de biomasa estadísticamente similares a bosques de galería, resultado de la presencia de especies grandes (G) como *D. belus*, *D. aff agenor*, *Ontherus lunicollis* Gén. y *Oxysternon conspicillatum* (Weber) (ver Anexo 4-1).

**Tabla 4-5:** Valores medios de riqueza, abundancia y biomasa en las fincas y coberturas estudiadas en La Vega y Nocaima (Cundinamarca, Colombia).

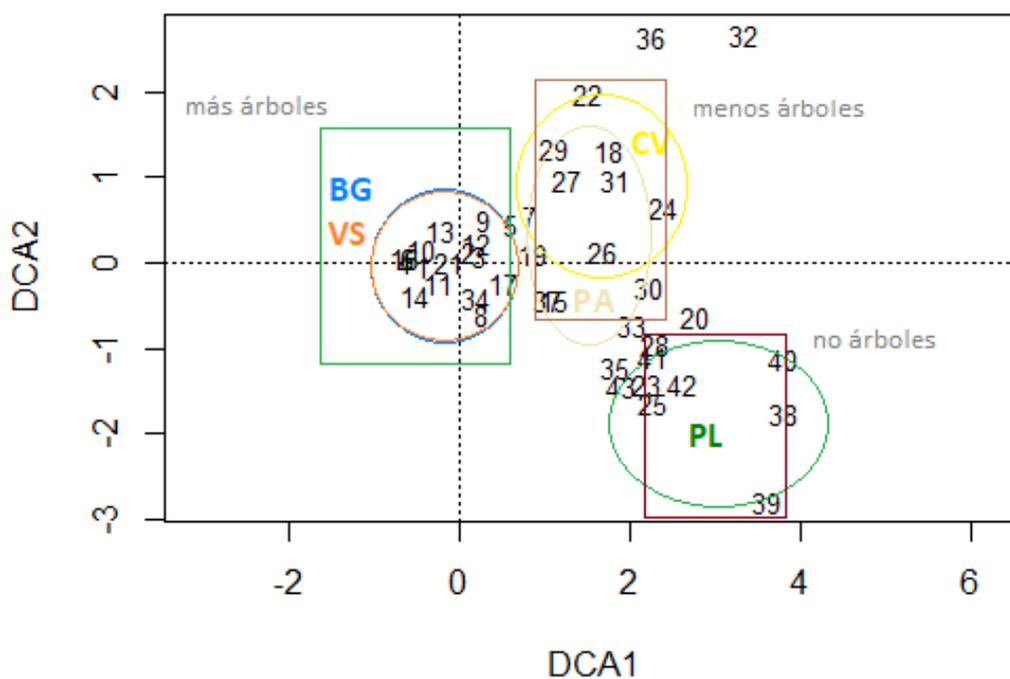
Coberturas	Riqueza (Especies) ( $\bar{x} \pm DE$ )	Abundancia (individuos) ( $\bar{x} \pm DE$ )	Biomasa (mg//8 trampas) ( $\bar{x} \pm DE$ )
Bosques de galería (BG)	6,22±1,72 a	261,33±239,56 a	3817,77±2592,68 a
Vegetación secundaria alta y baja (VS)	5,88±1,93 a,b	153,35±135,21 a,b	2790,36±1981,98 a,b
Cercas vivas (CV)	5,50±1,50 b,c	55,89±51,73 b,c	1379,07±1137,03 a,b
Potreros con árboles (PcA)	4,35± 1,88 b,c	23,50±24,36 c	835,92±867,75 b,c
Potreros sin árboles (PsA)	3,61± 2,08 c	11,78±10,90 c	1066,75±912,17 b,c
F	3,558*	6,396***	4,584**
GL	4, 80	4, 80	4, 80

La tabla presenta los resultados de la separación de medias entre tratamientos mediante la prueba ANOVA, la distribución *F* obtenida en cada prueba, el valor de significancia y los grados de libertad de las pruebas. Los tratamientos con letras diferentes representan significancia estadística entre comparaciones de pares de tratamientos. Códigos de significancia \* =0,05 \*\* =0,01 \*\*\* = 0,001.

Al relacionar los diferentes atributos ecológicos de las comunidades de escarabajos (riqueza, abundancia y biomasa) y con la diversidad de conectores biológicos y coberturas vegetales (RiCE, EsCE, RiCI, EsCI), se observó una relación positiva fuerte ( $R^2=0,637$ ) entre los valores totales del DAP obtenidos en las coberturas y la riqueza de escarabajos coprófagos; una correlación media entre los conectores biológicos y la riqueza de escarabajos ( $R^2= 0,533$ ); una correlación débil entre el total de DAP y la abundancia ( $R^2=0,351$ ), DAP y biomasa ( $R^2=0,394$ ), o riqueza florística y riqueza faunística ( $r=0,455$ ), riqueza florística y abundancia ( $R^2=0,397$ ), riqueza florística y biomasa ( $R^2=0,434$ ).

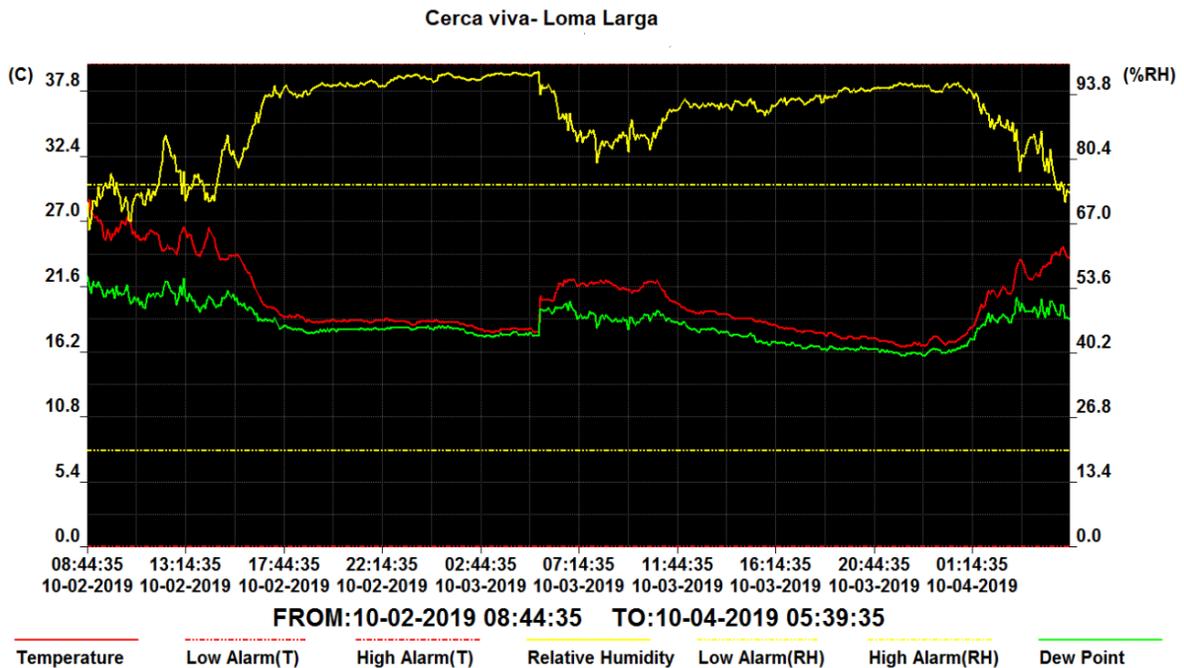
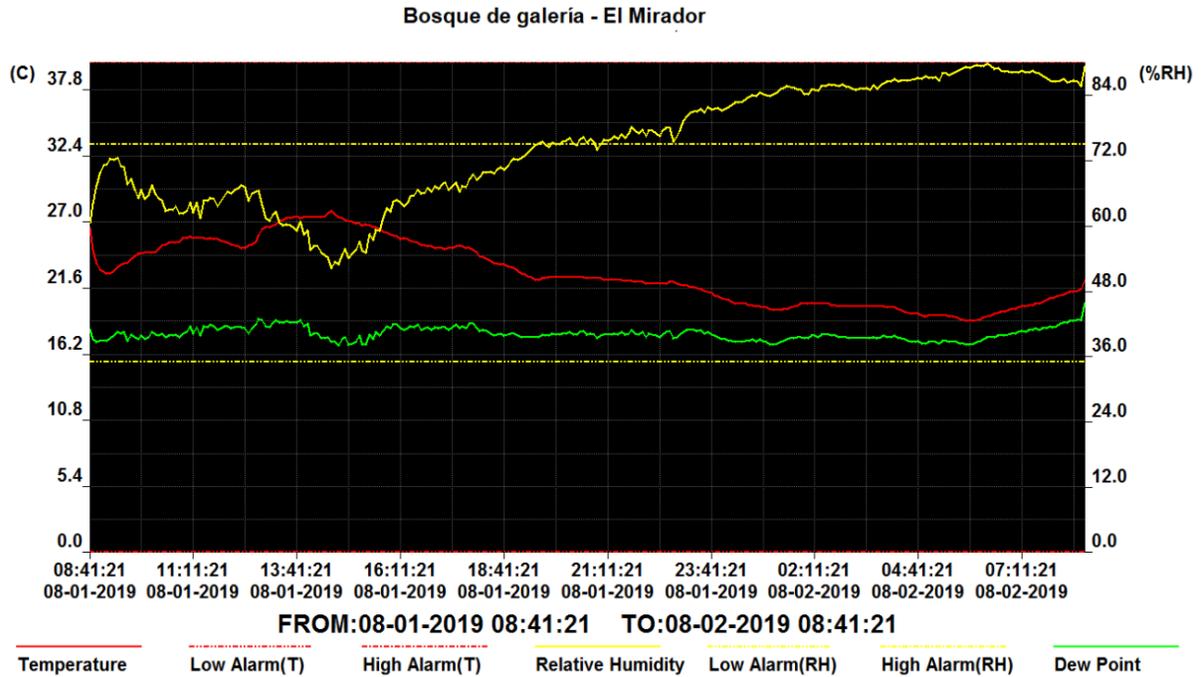
Las comunidades de escarabajos coprófagos se ordenaron en tres grupos principales dentro del espacio multidimensional propuesto por el análisis de correspondencia sin tendencia. Un grupo lo constituyeron comunidades asociadas a sitios o conectores

biológicos con bastante cobertura arbórea, otro grupo lo estuvo por comunidades habitando conectores con mediana cobertura y otro grupo por comunidades habitando conectores con muy poca cobertura o sistemas productivos en lo que se carece de ella (Figura 4-5).

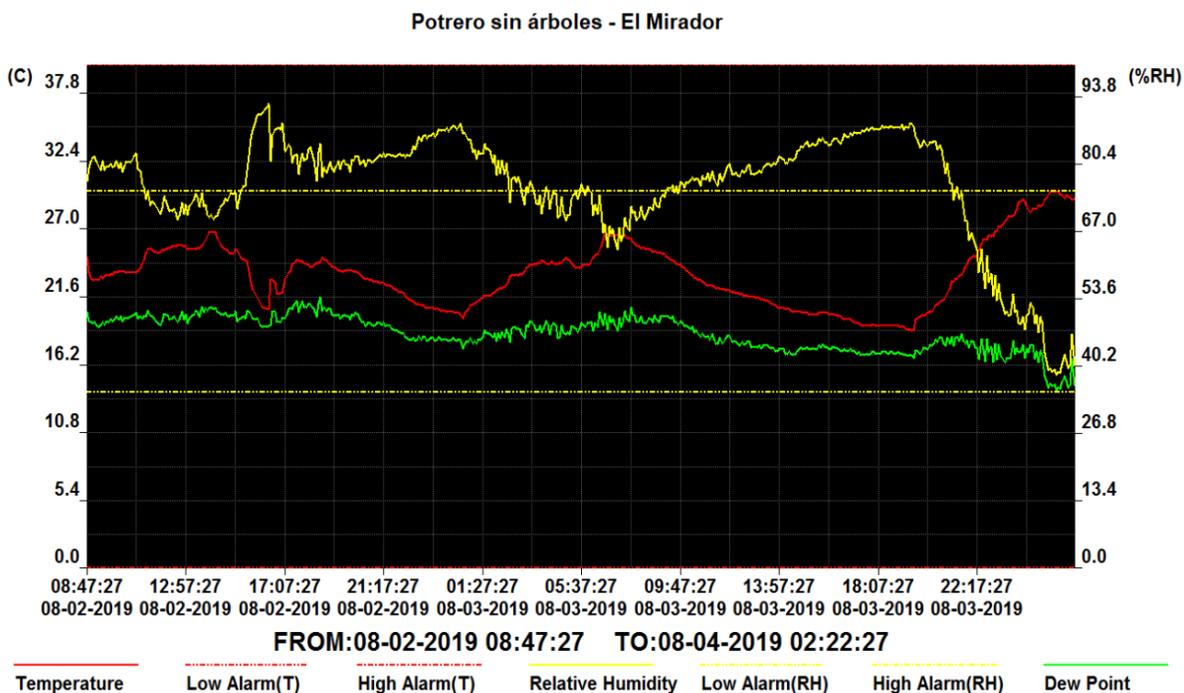


**Figura 4-5:** Análisis de correspondencia sin tendencia ilustrado la ordenación de los sitios de acuerdo a la dimensión 1 (posiblemente relacionada con la variable *Grado de cobertura arbórea*, lo que ha sido separado aquí como más árboles, pocos árboles, no árboles). Números representan la sumatoria de dos sitios por cobertura muestreados en cada finca (ver Anexo 4-3) (Fuente: Elaboración propia). BG=bosque de galería, VS= vegetación secundaria, PA= pastos arbolados y PL= pastos limpios.

Las medición de los parámetros microclimáticos en algunas coberturas muestra que los bosques de galería, como el conector más arbolado, presentó en media una temperatura de 18,66°C y humedad relativa del 76,19%, con menores oscilaciones a lo largo del día, comparada con las coberturas medianamente arboladas, cercas vivas, con 20,36°C y 89,42% y las no arboladas, potreros abiertos, con 26,23°C y 60,92% y fuertes oscilaciones diarias (Figura 4-6).



**Figura 4-6:** Diagramas de comportamiento de la temperatura (Temperature), humedad relative (Relative humidity) y punto de rocío (Dew point) para bosque de galería, cerca viva y potrero sin árboles (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 4-6:** *Continuación.* Diagramas de comportamiento de la temperatura (Temperature), humedad relativa (Relative humidity) y punto de rocío (Dew point) para bosque de galería, cerca viva y potrero sin árboles (Fuente: Elaboración propia).

Este conjunto de resultados permite determinar que la estructura vertical y horizontal y composición florística de las coberturas, evaluadas dentro de los criterios de *diversidad de conectores externos e internos* (DCE y CDI), estaría estructurando, no solamente la riqueza, sino también la composición de las comunidades de escarabajos coprófagos al interior de los conectores, a partir de su efecto, entre otros, sobre la temperatura y humedad relativa en su interior (Gómez-Cifuentes et al., 2019).

La disminución en los valores de los atributos ecológicos de las comunidades de escarabajos coprófagos estudiados a medida que se reduce la calidad en los conectores biológicos, es un fenómeno generalizado, particularmente en ecosistemas tropicales y subtropicales. Esta “calidad del hábitat” está asociada a cambios en la cobertura arbórea (Klein, 1989; Davis et al., 2001; Audino et al., 2014; Alvarado et al., 2020), que modifica sus características microclimáticas en el sotobosque.

Estas diferencias tienen consecuencias para especies más estenotópicas, como *Sylvicanthon aequinoctialis*, *Canthon* sp. 09H, *Canthidium* sp.29H y *Deltochilum* sp.1 (Davis et al., 2001; Gómez-Cifuentes et al., 2020; Sarmiento-Garcés & Medina-Hernández, 2021), que desaparecen o se hace raras en los conectores biológicos más perturbados, lo que afectaría, en algún grado, el ciclaje de nutrientes u otras funciones ecosistémicas en las que estas especies participan.

A pesar de la ausencia de bosques subadinos no intervenidos, bajo la cuota altitudinal estudiada, la conectividad biológica de las fincas, evaluada a partir de la *conexión con la estructura ecológica del paisaje* (CEEP) y *extensión de conectores externos e internos* (ECE y ECI) es relativamente alta en el paisaje estudiado. En media el 40,42% del agropaisaje corresponde a conectores biológicos. No obstante, es necesario mejorarla a partir del empoderamiento y gobernanza de las comunidades (Matallana et al., 2019), con acercamientos metodológicos locales y participativos que aumenten la *percepción-conciencia y conocimiento* (PeCo) sobre su importancia para la protección del agua, oferta de árboles frutales y maderables y para propiciar la agrobiodiversidad, donde los escarabajos coprófagos son un subrogado.

Prácticas como la restauración activa, sembrando especies nativas de sucesión tardía, que se caracterizan por poseer copas anchas, aumentaría el potencial de dichas coberturas como corredores biológicos para los escarabajos coprófagos y su fauna asociada (Sullivan et al., 2018; Raine & Slade, 2019). Las entidades estatales con responsabilidades misionales (corporaciones autónomas regionales -CARs, secretarías municipales de productividad y competitividad o unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria) podrían contribuir con este propósito.

Las cercas vivas, con una importancia cultural fundamental en los agroecosistemas ganaderos (productiva, alimenticia, estética) (Murgueitio & Calle, 1999; Murgueitio et al., 2009), albergan especies de escarabajos coprófagos asociados a bosque como a zonas abiertas, confirmando su importancia como conectores de agrobiodiversidad, por lo que los propietarios podrían fortalecerlos con la siembra de árboles de porte grueso, que mejoren la sombra y/o arbustos forrajeros, que aumenten su potencial productivo (Murgueitio et al., 2016).

Los potreros con siembra de árboles forrajeros, como la leucaena, parecen contribuir también con la conectividad y movimiento espacial de los escarabajos coprófagos en el agropaisaje de estudio (ver Tabla 4-3) (Arellano et al., 2008; Montoya-Molina et al., 2016; Duque-Vélez et al., 2022).

Los potreros sin árboles, aunque pierden especies bastante sensibles a la perturbación, pueden mantener especies como *C. subhyalinus*, *D. belus*, *C. susanae* y *Ontherus lunicollis* (ver Figura 4-6 y Anexo 4-1). A excepción de *C. subhyalinus*, la cual no tendría incidencia en la incorporación de estiércol bovino, por sus hábitos rodadores (R), tamaño pequeño (P) y poca preferencia de este recurso para su alimentación y la de sus crías (C.A. Medina, com. pers.), las demás especies podrían contribuir a reciclar importantes cantidades de M.O. en el agropaisaje de estudio, por sus hábitos tuneleros (T), tamaño (G) y biomasa (ver Capítulos 5 y 6).

## 4.4 Conclusiones

Las relaciones positivas observadas entre la configuración espacial y estructura de coberturas vegetales y la riqueza y composición faunística de las comunidades de escarabajos coprófagos, muestra que los conectores biológicos, como componentes importantes de la agrobiodiversidad de la finca, evaluados mediante la EAP, son fundamentales para aumentar la agrobiodiversidad funcional al interior de la finca. La posibilidad de mantener conectores biológicos y ecosistemas al interior del agroecosistema, podría potencializar las funciones ecosistémicas que realiza agrobiodiversidad en los sistemas productivos.

Los atributos ecológicos (especialmente la riqueza y composición faunística) de las comunidades de escarabajos coprófagos presentan una relación directa con la complejidad de la estructura florística de los conectores. Esto muestra un patrón anidado en la diversidad regional, donde la fauna presente en fragmentos de vegetación secundaria y sistemas productivos, son un subconjunto que aquel presente en los bosques de galería. La ausencia de bosques bien conservados y el patrón de distribución florística y faunística observado puede indicar que la diversidad original fue modificada durante las transformaciones que ha sufrido el bosque premontano en toda la región andina colombiana.

Los bosques de galería, como la cobertura natural más importante en términos de conservación, en el agropaisaje de estudio, no presentan las condiciones florísticas estructurales propias de bosque maduro; son más bien resultado de remanentes boscosos bastante alterados. Gracias a la *Percepción-conciencia* de ciertos propietarios, algunas continúan su proceso de regeneración natural. Es necesario aumentar las *Prácticas de conservación*, como la restauración activa, para acelerar la recuperación de estos remanentes boscosos y aumentar la calidad de los conectores biológicos para el movimiento de la agrobiodiversidad funcional y mantenimiento de funciones ecosistémicas en los agroecosistemas.

Aunque la riqueza de escarabajos coprófagos es baja en los potreros, es compensada por una biomasa importante de ciertas especies que se desplazan de los conectores biológicos a los potreros y pueden alimentarse de estiércol bovino. Esta posibilidad de conectividad biológica es favorecida por la configuración espacial de los conectores biológicos presentes en las fincas y en el agropaisaje de estudio.

La selección del área de influencia (AI) de la finca, como un delimitador físico y cultural de agropaisaje, aunque cargado de una ineludible subjetividad, puede facilitar visualizar las fincas como unidad de análisis pero que requiera una mirada de paisaje. Esto es particularmente importante en estudios que busquen entender patrones y procesos ecosistémicos en agroecosistemas y paisajes agrícolas.

Es posible conectar estudios a nivel de finca con una visión de paisaje en la evaluación de la agrobiodiversidad, tópicos que han sido muy poco abordados en estudios ecológicos clásicos o agroecológicos.

## 4.5 Bibliografía

Alvarado, F.; Portela, R.; Hernández-Rivera, A. & Lira, A.F.A. (2020). Different responses of dung beetles diversity and feeding guilds from natural and disturbed habitat across a subtropical elevational gradient. *Acta Oecologica* 104. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103533>

Andreazzi, C.S.; Pires, A.S. & Fernandes, F.A.S. (2009). Mamíferos e palmeiras neotropicais: interações em paisagens fragmentadas. *Oecologia Brasiliensis* 13(4), 554-574.

Andresen, E. & Feer, F. (2002). The role of dung beetle as secondary seed dispersers and their effect on plant regeneration in tropical rainforest. En: Forget, P.-M., Labert, J.E.; Hulme, J.E.; vader Wallm S.B. (Eds.) *Seed fate. Predation, dispersal and seedling establishment.* (pp. 331-350). CABI Publishing, Cambridge.

Altieri, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19-31.

Armenteras, D.; Gast, F. & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representivennes of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation* 113, 245-256.

Audino, L.D.; Louzada, J. & Comita, L. (2014). Dung beetles as indicadores of tropical forest restoration success: It is possible to recover species and functional diversity? *Biological Conservation* 169, 248-257.

Beynon, S.A.; Mann, D.; Slade, E. & Lewis, O.T. (2012). Species-rich dung beetle communities buffer ecosystem services in perturbed agro-ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 49, 1365-1372.

Bornemissza, G.T. & Williams, C.H. (1970). An effect of dung beetle activity on plant yield. *Pedobiology* 10, 1-7.

Brown, J.H.; Gillooly, J.F.; Allen, A.P.; Savage, V.M. & West, G.B. (2004). Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85, 1771-1789.

Calle, Z.; Guarguata, M.R.; Chará, E. & Chará, J. (2010). La producción de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Colombia: perspectivas para la conservación del hábitat a través del servicio de polinización. *Interciencia* 35(3), 207-2012.

Caro-Roa, A.M. (2020). Caracterización florístico estructural de 17 fincas ganaderas y/o en proceso de regeneración natural ubicadas en La Vega y Nocaima (Cundinamarca). Informe Técnico. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Chamorro, W.; Marín-Armijos, D.; Granda, V. & Vaz-de-Mello, F.Z. (2018). Listado de especies y clave de géneros y subgéneros de escarabajos estercoleros (Coleoptera:

---

Scarabaeidae: Scarabaeinae) presentes y presuntos para Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología* 44(1), 72-100.

Chao, A.; Colwell, R.; Lin, CW & Gotelli, N. (2009). Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. *Ecology* 90(4), 1125-1133.

Chaves, M.E.; Santamaría, M. & Sánchez, E. (2007). Alternativas para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.

Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas* 10(40), 221-268.

Cultid-Medina, C.A. & Escobar, F. (2016). Assessing the ecological response of dung beetles in an agricultural landscape using number of individuals and biomass in diversity measures. *Environmental Entomology*: 1-10. doi:10.1093/ee/nvv219

Cultid-Medina, C.A.; Medina, C.A.; Martínez-Quintero, B.; Escobar, A.F; Constantino, L.M. & Betancur, N. (2012). Escarabajos coprófagos (Scarabaeinae) del eje cafetero: guía para el estudio ecológico. Wildlife Conservation Society, Cenicafé y Federación Nacional de Cafeteros, Villa María.

Cultid-Medina, C.A.; Lobo, J.M.; Medina, C.A.; González, C.A.; Escobar, F. & Chacón-Ulloa, P. (2014). Completitud del inventario de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en al ecoregión del eje cafetero. *Revista Colombiana de Entomología* 40(1), 111-119.

Cultid-Medina, C.A.; Martínez-Quintero, B.; Escobar, F. & Chacon-Ulloa, P. (2015). Movement and population size of two dung beetles species in an Andean agricultural landscape dominated by sun-grown coffee. *Journal of Insect Conservation*. doi 10.1007/s10841-015-9784-3

Darling, J.D.G. & Génier, F. (2018). Revision of the taxonomy and distribution of the neotropical *Copris incertus* species complex (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae). *The Canadian Entomologist* 150, 539-577.

Davis, A.J.; Holloway, J.D.; Huibregts, H.; Krikken, J.; Kirk-Spriggs & Sutton, S.L. (2001). Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. *Journal of Applied Ecology* 38, 593-616.

Díaz, A.; Galante, E. & Favila, M.E. (2010). The effect of landscape matrix on the distribution of dung and carrion beetles in a fragments tropical rain forest. *Journal of Insect Science* 10, 8. <http://doi.org/10.1673/031.010.8101>

Doube, B.M. (2018). Ecosystem services provided by dung beetles in Australia. *Basic Applied Ecology* 26, 35-49.

Duque-Vélez, P.; Oliveira-Rangel, M. & Wolff, M. (2022). Sylvopastoral systems as an alternative for conservation of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a cattle landscape in Caucasia Colombia. *Caldasia* 44(1), <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v44n1.83102>

- Ewel, J.J. & Bigelow, S.G. (1996). Plant life-forms and tropical ecosystems functioning. Chapter 6. En: Orinas G.H.; Dirzo, R. & J.H. Cushman (Eds). Biodiversity and ecosystem processes in tropical ecosystems. Springer\_Verlag Publisher, Berlín.
- Ferrer-Paris, J.R.; Sánchez-Mercado, A. & Rodríguez, J.P. (2012). Optimización del muestreo de invertebrados tropicales: un ejemplo con escarabajos coprófagos en Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 61(1), 89-110.
- Fleishman, E.; Noss, R.N & Noon, BR. (2006). Utility and limitations of species richness metrics for conservation planning. *Ecological Indicators* 6, 543-553.
- Franco-Roselli, P.; Betancur, J. & Fernández-Alonso, J.L. (1997). Diversidad florística en dos bosques subandinos del sur de Colombia. *Calsadia* 19(1-2), 205-234.
- Gardner, T.A.; Medina-Hernández, M.L.; Barlow, J. & Peres, C.A. (2008). Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forest for neotropical dung beetles. *Journal of Applied Ecology* 45, 883-893.
- Gill, B. (1991). Dung beetles in tropical American forest. En: Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds.). *Dung Beetle Ecology*. (pp. 211-229). Princeton University Press, Princeton.
- Giraldo, C.; Montoya-Molina, S. & Escobar, F. (2018). Escarabajos del estiércol en paisajes ganaderos de Colombia, CIPAV, Cali.
- Giraldo, C.; Escobar, F.; Chará, J. & Calle, Z. (2010). The adoption of sylvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4, 115-122.
- Girón, Y.; Calderón, C. & Noriega, J. (2016). Estructura del ensamblaje de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) a lo largo de un gradiente altitudinal en el refugio de vida silvestre Laquipampa, Ferreñafe-Lambayeque, Perú. *Revista de Ciencia, Tecnología y Humanidades* 7(1), 83-98.
- Gómez-Cifuentes, A.; Giménez, V.C.; Moreno, C.E. & Zurita, G.A. (2019). Tree retention in cattle rancing systems partially preserves dung beetle diversity and functional groups in the semideciduous Atlantic forest: The role of microclimate and soil conditions. *Basic and Applied Ecology* 34, 64-74.
- Gómez-Cifuentes, A.; Vespa, N.; Sanmartín, M. & Zurita, G. (2020). Canopy cover is a key factor to preserve the ecological functions of dung beetles in the southern Atlantic forest. *Applied Soil Ecology* 154. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103652>
- Hamel-Leigue, A.C.; Herzog, S.K.; Mann, D.; Gill, B.; Edmonds, W.D. & Spector, S. (2009). Distribución e historia natural de escarabajos coprófagos de la tribu Phanaeini (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en Bolivia. *Kempffiana* 5(2), 43-95.
- Halffter, G. & Matthews, E.G. (1966). The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana* 12-14, 312.
- Harvey, C.; Komar, O.; Chazdon, R.; Ferguson, B.; Finegan, B.; Griffith, D. M.; Martínez-Ramos, M.; Morales, H.; Nigh, R.; Soto-Pinto, L.; van Breugel, M. & Wichnie, M. (2008). Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation Biology* 22(1), 8–15.

---

Hill, M.O. & Gauch, H.G. (1980). Detrended correspondence analysis: An improved ordenation technique. *Vegetatio* 43, 47-58.

Hosler, S.; Jones, H.P.; Nelson, M. & Barber, N.A. (2020). Management actions shape dung beetles community structure and functional traits in restored tallgrass prairie. *Ecological Entomology*. doi: 10.1111/een.12950

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia en escala 1:100.000, Bogotá.

Koster, N.; Friedrich, K.; Neider, J. & Barthlott, W. (2009). Conservation of epiphyte diversity in an Andean landscape transformed by human land use. *Conservation Biology* 23(4), 911-919.

León-Sicard, T. (2021). La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas. Perspectivas teórico-prácticas. IDEA. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Lozano-Zambrano, F. H. (Ed.). (2009). Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Bogotá.

Magurran, A. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Malden.

Matallana, C.; Areiza, A.; Silva, A.; Galán, S.; Solano, C. & Rueda, A.M. (2019). Voces de la gestión territorial: estrategias complementarias para la conservación de la biodiversidad en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Fundación Natura, Bogotá.

Medina, C.A.; Lopera, A.; Vítolo, A. & Gill, B. (2001). Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) de Colombia. *Biota Colombiana* 2(2), 131-144.

Mendevil, J.A.; Giraldo, C.; Quevedo, C.J.; Chará, J. & Medina, C.A. (2020). Escarabajos estercoleros asociados a sistemas de ganadería sostenible en diferentes regiones de Colombia. *Biota Colombiana* 21(2), 134-141.

Mendoza, J.E.; Lozano-Zambrano, F.H. & Kattan, G. (2006). Composición y estructura de la biodiversidad en paisajes transformados en Colombia (1998-2005), Tomo II. En: Chaves, M.E. & Santamaría, M. (Eds.). Informe nacional sobre el avance del conocimiento de la biodiversidad 1998-2004. (pp. 67-84). Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá.

Miranda-Flores, K.P; Chamorro-Florescano, I.A.; Favila, M.E., Alanís-Méndez, J.L. & Ortiz-Domínguez, M. (2020). Diversidad del paisaje y remoción del estiércol por escarabajos coprófagos en pastizales del norte de Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91:e912792.

Montoya-Molina, S.; Giraldo, C.; Montoya, J., Chará, J., Escobar, F. & Calle, Z. (2015). Land sharing vs. land sparing in the dry Caribbean lowlands: A dung beetle's perspective. *Applied Soil Ecology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.017>

Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 15, Article #78. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd15/10/murg1510.htm>

Murgueitio, E. & Ibrahim, M. (2004). Ganadería y medio ambiente en América Latina. *Memorias XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal*. (pp. 187-292). San Juan de Los Morros.

Murgueitio, E. & Calle, Z. (1999). Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. pp. 53-89. En: Sánchez, M. & Rosales, M. (Eds). *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. FAO, Roma.

Murgueitio, E.; Cuartas C.A. & Naranjo, J.F. (2009). *Ganadería para el futuro: investigación para el desarrollo*. Fundación CIPAV, Cali.

Murgueitio, E.; Uribe, F.; Molina, C.; Galindo, W.; Chará, J.; Flores, M.; Giraldo, C.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Solarte, L. & González, L. (2016). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena*. Fundación CIPAV, Cali.

Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2009). The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *PNAS* 107(13), 5786-5791.

Pimentel, D.; Stachow, U.; Takacs, D. A.; Brubaker, H. W.; Amy, R.; Meaney, J. J.; Neil, J. A. S. O.; Onsi, D. E.; Corzilius, D. B.; Dumas, A. R. & Neil, O. (1992). Conserving biological diversity in most biological diversity exists in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42(5), 354-362.

Ponce, E.F.; Aguirre, Z.; González, M. & Jordán, O. (2009). *Inventario forestal y de materia orgánica con línea base para la estimación de la cantidad de carbono fijado en la Cordillera del Cóndor (Ecuador)*. Fundación Natura, Macas-Morona.

Quintero, I. (1998). *Composición, diversidad y preferencias por el recurso alimenticio en una comunidad de escarabajos coprófagos en selva amazónica, Leticia-Amazonas-Colombia*. Tesis de Grado. Facultad de Biología. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.

Primavesi, A. (1980). *Manejo ecológico del suelo*. Ed. El Ateneo, Buenos Aires.

Raine, E. & Slade, E. (2019). Dung beetle-mammal associations: methods, research trends and future directions. *Proceedings of the Royal Society of London B* 286, 20182002.

Ramírez, J.M. (2018). *Distribución altitudinal y tolerancia térmica de los escarabajos coprófagos en la Orinoquia colombiana*. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad de Los Llanos, Villavicencio.

Renjifo, L.M.; Franco, A.M.; Amaya-Espinel, J.D.; Kattan, G. & López-Lanus, B. (2002). *Libro rojo de aves de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.

Rodríguez, N.; Armenteras, D. & Romero, M. (2006). *Ecosistemas de los Andes colombianos, segunda edición*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.

- Rodríguez-Lombana, A.R.; Beltrán-Gutiérrez, H.E. & Moreno, A.C. (2017). Caracterización florística del bosque subandino y algunas áreas disturbadas en San Barardo (Cundinamarca, Colombia). *Biota Colombiana* 18(2), 43-71.
- Rosenlew, H. & Roslin, T. (2008). Habitat fragmentation and the functional efficiency of temperate dung beetles. *Oikos* 117, 1659-1666.
- Saldanha-Dantas, Y.L.; Alves M.K.A.; Vieira Jr. M.C. & Pessoa, C.V. (2018). *Miconia albicans* (Sw.): Tratamiento de doenças inflamatórias articulares. *Mostra Científica da Farmácia* 5(1).
- Sanabria, C. & Chacón-de-Ulloa, P. (2011). Hormigas cazadoras en sistemas productivos del piedemonte amazónico colombiano: diversidad y especies indicadoras. *Acta Amazónica* 4(4), 503-512.
- Sarmiento-Garcés, R. & Medina-Hernández, M.L. (2021). A decrease in taxonomic and functional diversity of dung beetles impacts the ecosystems function of manure removal in altered subtropical habitats. *PLoS ONE* 16(1): e0244783.
- Vieira, E.M.; Pizo, M.A. & Izar, P. (2002). Fruit and seed exploitation by small rodents of the Brazilian Atlantic forest. *Mammalia* 67(2), 1-7.
- Torres L.; Rojas J.; Rondón M.; Morales, A. & Nieves, E. (2017). Insecticide activity of *Ageratina jahnii* and *Ageratina pichinchensis* (Asteraceae) against *Lutzomyia migonei* (Diptera: Psychodidae). *Advanced Biomedical Research* 6, 53.
- Vargas-Pérez, A. & Martínez-Revelo, D. (2016). Composición y estructura del ensamblaje de escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) en dos fragmentos de bosque del departamento de Antioquia. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia* 5, 114-123.
- Vaz-de-Mello, F.; Larsen, T.; Silva, F.; Gill, B.; Spector, S. & Favila, M. (2014). *Canthon subhyalinus*. En: The IUCN red list of threatened species. Version 2014.1. Disponible en: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)
- Villareal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M. & Umaña, A.M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Wezel, A.; Brives, H.; Casagrande, M.; Clément, C.; Dafour, A. & Vandenbroucke, P. (2016). Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 40(2), 132-144.
- Zona, S. & Herderson, A. (1989). A review of animal-mediated seed dispersal of palms. *Selbyana* 11, 6-21.

## 4.6 Anexos

### 4.6.1 Atributos de las especies colectadas durante el estudio

Especies	Código	Longitud (mm.) $\bar{X} \pm D.E.$	Peso (mg.) $\bar{X} \pm D.E.$	n	Tamaño	Periodo actividad	Grupo funcional
<i>Ateuchus</i> sp.1	A_sp1	5,38	11,1	1	P	_	T
<i>Canthon aequinoctialis</i> Harold, 1868	C_aeq	10,76 $\pm$ 0,55	66,55 $\pm$ 12,53	10	G	D	R
<i>Canthon</i> sp.09H	C_09H	5,35 $\pm$ 0,37	18,32 $\pm$ 4,06	7	P	D	R
<i>Canthon</i> sp.10H	C_10H	_	_		P	D	R
<i>Canthon subhyalinus</i> Harold, 1867	C_sub	5,38 $\pm$ 0,35	9,86 $\pm$ 4,03	30	P	D	R
<i>Canthidium</i> sp.02H	C_02H	_	_		P	D	T
<i>Canthidium</i> sp.06H	C_06H	5,16 $\pm$ 0,34	6,40 $\pm$ 2,28	20	P	D	T
<i>Canthidium</i> sp.29H	C_29H	8,28 $\pm$ 0,65	31,45 $\pm$ 6,78	14	P	D	T
<i>Canthidium</i> sp.1	C_sp1	_	_		P	D	T
<i>Copris susanae</i> Darling & Génier, 2018	C_sus	14,27 $\pm$ 1,10	83,66 $\pm$ 20,48	11	G	N	T
<i>Deltochilum</i> sp.1	D_sp1	12,03 $\pm$ 0,31	83,96 $\pm$ 4,84	3	G	D	R
<i>Diabroctis cadmus</i> (Harold, 1868)	D_cad	24,34	518,3	1	G	D	T
<i>Dichotomius belus</i> (Harold, 1880)	D_bel	15,73 $\pm$ 1,79	179,46 $\pm$ 35,94	30	G	N	T
<i>Dichotomius</i> sp.04H	D_04H	21,8	225,2	1	G	N	T
<i>Dichotomius</i> sp.13H	D_13H	17,85 $\pm$ 1,37	276,6 $\pm$ 53,83	10	G	N	T
<i>Dichotomius</i> aff. agenor	D_age	18,71 $\pm$ 1,74	320,92 $\pm$ 5,77	4	G	N	T
<i>Eurysternus caribaeus</i> (Herbst, 1789)	E_car	14,47 $\pm$ 1,03	_	3	G	D/N	E
<i>Eurysternus foedus</i> Guérin-Meneville, 1830	E_foe	14,90 $\pm$ 1,70	114,01 $\pm$ 12,98	6	G	N	E
<i>Eurysternus mexicanus</i> Harold, 1824	E_mex	10,25 $\pm$ 0,46	36,25 $\pm$ 8,97	12	G	D	E
<i>Eurysternus plebejus</i> Harold, 1880	E_ple	9,21 $\pm$ 0,61	34,04 $\pm$ 29,32	11	P	D	E
<i>Onthophagus accuminatus</i> Harold, 1880	O_ac	6,32 $\pm$ 0,28	12,22 $\pm$ 2,29	6	P	D	T
<i>Onthophagus bidentatus</i> Drapiez, 1819	O_bid	6,64 $\pm$ 0,60	11,16 $\pm$ 3,64	19	P	D	T
<i>Onthophagus curvicornis</i> Latreille, 1812	O_cur	_	_		P	D	T
<i>Onthophagus landolti</i> Harold, 1880	O_lan	5,88	28,1	1	P	D	T
<i>Onthophagus lebasii</i> Boucomont, 1932	O_leb	7,50	13	1	P	D	T
<i>Onthophagus marginicollis</i> Harold, 1880	O_mar	4,87 $\pm$ 0,01	6,98 $\pm$ 1,98	24	P	D	T
<i>Onthophagus</i> sp.01H	O_01H	5,79 $\pm$ 0,79	6,97 $\pm$ 1,68	20	P	D	T
<i>Onthophagus</i> sp.1	O_sp1	7,69	12,3	1	P	D	T
<i>Ontherus lunicollis</i> Génier, 1996	O_lun	12 $\pm$ 0,31	87,90 $\pm$ 17,30	6	G	N	T
<i>Oxysternon conspicillatum</i> (Weber, 1801)	O_con	28,32	1577,5	1	G	D	T
<i>Pseudocanthon</i> sp.1	P_sp1	4,25	6,60	1	P	_	R

(Fuente: Quintero, 1998; Ramírez, 2018).

Tamaño= P=pequeños, G=Grandes

Periodo actividad: D=Diurnos, N=Nocturnos, D/N=Crepusculares

Grupo o gremio funcional: T=Tuneleros, R= Rodadores

#### 4.6.2. Identificación de las coberturas y sitios (DCA)

1	El Cielo	Bosque de galería-BG	Bosques de cañada-GAL
2	El Hato		
3	El Mirador		
4	La Aldea		
5	La Cecilita		
6	Loma Larga		
7	Los Ameyes		
8	Los Ocobos		
9	Marbella		
10	El Mirador	Vegetación secundaria-VSB, VSA	Vegetación secundaria-VSB, VSA
11	La Cecilita		
12	Loma Larga		
13	Los Ameyes		
14	Los Ocobos		
15	Marbella		
16	Santa Marta		
17	Natautá		
18	La Cecilita		
19	El Cielo	Pastos Arbolados-PA	Cercas vivas - CV
20	EL Hato		
21	El Mirador		
22	LA Aldea		
23	La Cecilita		
24	Loma Larga		
25	Los Ameyes		
26	Los Ocobos		
27	Marbella		
28	El Cielo	Pastos Arbolados-PA	Potreros con árboles-PCA
29	El Mirador		
30	La Aldea		
31	La Cecilita		
32	Loma Larga		
33	Los Ameyes		
34	Los Ocobos		
35	Marbella		
36	El Cielo		
37	El Hato		
38	El Mirador		
39	La Aldea		
40	La Cecilita		
41	Loma Larga		
42	Los Ameyes		
43	Marbella		
44	Los Ocobos		

## **5. ¿La agrobiodiversidad de los agroecosistemas se relaciona con la cantidad de función ecosistémica? El caso de la EAP y la incorporación de estiércol bovino en el suelo en fincas ganaderas de los Andes colombianos**

### **Resumen**

Para asegurar la sustentabilidad de los agroecosistemas, es fundamental que sus propietarios garanticen las funciones ecosistémicas que benefician la producción, manteniendo/potenciando la agrobiodiversidad. Usando 360 masas fecales bovinas experimentales de un (1) kg en nueve (9) fincas ganaderas en La Vega y Nocaima y sus niveles de agrobiodiversidad, según la EAP, se determinó la cantidad de estiércol bovino incorporado al suelo por los escarabajos coprófagos, en potreros y cercas vivas y los factores ecosistémicos y culturales que afectan dicha función. La cantidad de estiércol incorporado fue mayor en fincas con mayores niveles de EAP. La distancia de los fragmentos al centro de la finca, extensión de conectores internos, rotación de potreros, arreglo del sistema de forrajeo, manejo sanitario del hato, percepción-conciencia y capacidad de gestión para el fortalecimiento de coberturas fueron variables predictoras de la función ecosistémica estudiada.

### **Abstract**

To ensure the sustainability of agroecosystems, is essential that their owners guarantee the ecosystem functions that benefit the production, maintaining agrobiodiversity. Using 360 experimental bovine manure units of 1 kg weight in nine (9) cattle farms in La Vega and Nocaima and their agrobiodiversity, according to EAP, the incorporation of dung in the soil by dung beetles and ecosystem and cultural factors that affect the function. The amount of incorporated cattle manure was higher in farms with better levels of EAP. The distance from the fragments to the center of the farm, extension of biological connectors, bovine rotation

in paddocks, foraging system, herd health, perception-awareness and management capacity were the predictor variables of the ecosystem function studied.

## 5.1 Introducción

Existe una percepción común que los agroecosistemas, especialmente ganaderos, poseen poca agrobiodiversidad y por lo tanto sus funciones ecosistémicas están reducidas. Esta interpretación se sustenta en el modelo de agricultura convencional, que transforma significativamente los ecosistemas naturales en extensos monocultivos de especies forrajeras, razas mejoradas y uso excesivo de productos químicos (MEA, 2005; Jackson et al., 2007). Esto ha llevado a falta de interés y desconocimiento de prácticas de manejo agropecuario de baja a media intensidad, que constituyen nuevas formas de agrobiodiversidad cultural (Toledo & Barrera-Bassols, 2008; Perfecto et al., 2009).

Existen productores tradicionales y campesinos que usan y manejan su agrobiodiversidad, mediante prácticas agroecológicas, manteniendo la productividad de sus agroecosistemas y paisajes agrícolas de forma sustentable (Altieri, 2004; Jarvis et al., 2008; de Haan et al., 2010; Kremen et al., 2012). Otros adaptan, de acuerdo a sus contextos geográficos, naturales y procesos de experimentación, las tecnologías convencionales que trae el extensionista agropecuario, vendedor de insumos para el campo u otro agente de la cadena productiva, innovando y minimizando los costos de producción (Acevedo-Osorio, 2015; Acevedo-Osorio & Jiménez, 2019). A su vez, conservan un grado “intermedio” de biodiversidad, suficiente para mantener un grado de funcionalidad importante en sus agroecosistemas (Jackson et al., 2007; Kremen et al., 2012; Correa et al., 2019).

En este sentido, es urgente desarrollar investigación en contextos propios del campo Latinoamericano, que permitan comprender las relaciones entre las tecnologías aplicadas para manejo de sistemas productivos, la cultura propia del productor y la complejidad del agropaisaje donde se insiere la finca, que moldean los procesos funcionales.

Como fueron discutidos en los capítulos 2, 3 y 4, la Estructura Agroecológica Principal o EAP es un índice ambiental que pretende evaluar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas, reconociendo la conectividad de la finca con el paisaje, la presencia y calidad de conectores biológicos, prácticas de manejo y conservación, la “disposición psicológica” y facilidades o limitaciones del productor para favorecer la agrobiodiversidad (León-Sicard, 2021).

Por otra parte, los escarabajos coprófagos son componentes clave de la agrobiodiversidad funcional en agroecosistemas ganaderos. En su actividad de remover el estiércol de las

pasturas y/o incorporarlo en el suelo<sup>37</sup>, mejoran su fertilidad y productividad, contribuyen a eliminar parásitos de importancia veterinaria, que desarrollan parte de su ciclo de vida en las boñigas, contribuyen a la dispersión de semillas excretadas por los bovinos y disminución de GEI (ver capítulo 1 para más detalles).

Para relacionar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas, evaluados a través de la EAP y la magnitud de la función ecosistémica (la incorporación de estiércol bovino en el suelo en los potreros realizada por los escarabajos coprófagos), en un conjunto de fincas ganaderas de los Andes colombianos, se plantearon las siguientes preguntas: ¿El grado de agrobiodiversidad de los agroecosistemas, evaluados mediante la EAP, se relaciona positivamente con la función ecosistémica estudiada? ¿Cuáles indicadores de agrobiodiversidad, valorados dentro de la EAP, tienen relación con la función ecosistémica?

## **5.2 Materiales y métodos**

El estudio se desarrolló en 10 agroecosistemas ganaderos en La Vega y Nocaima (Cundinamarca) (5°2'14"N-74°21'4"W) (Figura 1-1 y Tabla 1-2). La región presenta una temperatura anual de 22-24°C, precipitación promedio de 1.200-1.400 mm y zonas de vida de bosque húmedo y muy húmedo premontano (bh- PM, bmh-PM) según Holdridge (IGAC, 1985).

### **5.2.1 Estimación de la agrobiodiversidad los agroecosistemas**

La valoración de los 24 indicadores que conforman la EAP en las fincas ganaderas de estudio (ver Capítulo 3) constituye insumo para relacionar la agrobiodiversidad con la función de incorporación de estiércol bovino en el suelo por los escarabajos coprófagos.

### **5.2.2 Diseño de muestreo para la evaluación de la función de incorporación de estiércol bovino en el suelo**

Se consideran nueve (9) fincas para evaluar la función de incorporación de estiércol bovino en el suelo. En cada una se seleccionaron cinco sitios (potreros), distantes

---

<sup>37</sup> La remoción del excremento de la superficie del suelo es la función ecosistémica generalmente mencionada en estudios de ecología funcional con escarabajos coprófagos. En la mayoría de ecosistemas y agroecosistemas se encuentran, tanto especies rodadoras (R), las cuales retiran o remueven una porción del excremento sin construir galerías o estructuras de nidificación profundas, como tuneleras (T), las cuales incorporan el excremento en el suelo dentro de galerías poco a muy profundas. La presencia casi exclusiva de las especies tuneleras en los potreros de las fincas de estudio, permite suponer que la incorporación del estiércol bovino en el suelo es la función ecosistémica evaluada.

aproximadamente 200 m entre sí, con las siguientes características: área en cobertura de potrero sin árboles (o muy pocos árboles) distante aproximadamente 10 m de una cobertura de cerca viva (o en su defecto por carecer de esta cobertura, un conjunto de árboles arreglados no linealmente), en el que se dispuso un plot de ocho unidades de muestreo, cuatro (4) por cobertura, consistiendo en una masa fecal bovina de 1.000 gr<sup>38</sup> de peso fresco. La mitad de las unidades fue cubierta con una trampa excluyente, para prevenir la colonización de las masas fecales (control o SIN escarabajos coprófagos) y la otra masa fecal expuesta a la actividad biológica (experimental o CON escarabajos coprófagos) (Figura 5-1) (ver Capítulo 6 para especificaciones de la trampa).

Cada conjunto de trampas (CON y SIN escarabajos coprófagos) fue colocado de forma pareada y a una distancia de aproximadamente 1 m entre sí y una distancia de 30 y 50 m entre los juegos de trampas. El diseño llevó a la instalación de 360 unidades muestrales, cubriendo un área de 316 ha.

El estiércol fue recogido en la Finca Loma Larga, del potrero pastoreado por el mismo rebaño entre 24 y 32 h antes del experimento, homogeneizado, pesado y conducido en bolsas plásticas ziploc a las áreas de estudio. La selección de esta finca como “proveedora” de estiércol se debió a la necesidad de obtener boñigas frescas con tiempo de deposición conocido y montar el experimento bajo el mayor número posible de variables controladas.

Previo al pesaje se tomó una muestra de estiércol fresco para determinar la materia seca inicial, necesaria para los cálculos del valor de materia seca removida (Ecuación 5-1). Durante el pesaje y trasaso a las bolsas plásticas, los escarabajos que hubiesen sido atraídos al estiércol fueron retirados.

En cada conjunto de trampas experimentales instaladas en campo, se midió el porcentaje de cobertura arbórea (dosel) mediante un densiómetro, fabricado artesanalmente con un espejo retrovisor circular de motocicleta, de 7/8 pulgadas, dividido en 12 porciones iguales. Para obtener la medida se determinó el número de porciones cubiertas por vegetación sobre el total de porciones en que el espejo fue dividido. Se tomaron tres medidas para obtener un valor promedio.

Se determinó cualitativamente la consistencia del suelo (en seco) o la resistencia a la ruptura de los agregados, con apoyo de especialista<sup>39</sup> e IGAC (S.F.), realizando excavaciones en los primeros 15 cm de suelo alrededor de las trampas, dividiendo las observaciones en cuatro rangos de valoración.

---

<sup>38</sup> Se seleccionaron masas experimentales de 1.000 gr porque muchas boñigas con este peso son representativas de aquellas defecadas en los rebaños de estudio (ver capítulo 6). Adicionalmente es una medida (y su relación volumétrica) que pudo ser manejada bajo las condiciones logísticas del experimento.

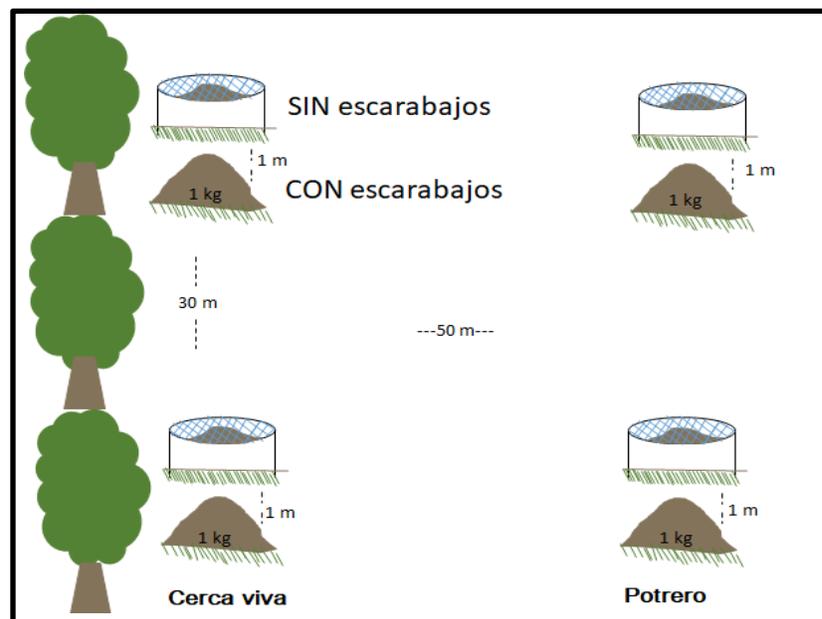
<sup>39</sup> Tomás Enrique León-Sicard, Agrólogo, director de tesis. E-mail: teleons@unal.edu.co

**Friable:** débilmente resistente a la presión, fácilmente rompible entre pulgar e índice.

**Firme:** moderadamente resistente a la presión. Puede romperse con las manos con facilidad, pero resulta difícil partirlo entre pulgar e índice.

**Muy firme:** muy resistente a la presión y con dificultad se logra romper con las manos.

**Extremadamente firme:** resistente en extremo. No se puede romper con las manos.



**Figura 5-1:** Distribución espacial de unidades experimentales aplicada en cinco sitios (potreros) de cada finca de estudio, para evaluar la incorporación de estiércol bovino en masas fecales CON escarabajos coprófagos y masas fecales SIN escarabajos, usando trampas de exclusión (Fuente: Elaboración propia).

Trascurrido el tiempo de exposición (90 h) a la acción de escarabajos coprófagos y a condiciones microclimáticas de cada sitio, las masas fecales fueron recogidas, pesadas en fresco y guardadas en bolsas herméticas para secado en laboratorio<sup>40</sup> y obtención del valor de materia seca en horno de convección, hasta alcanzar peso constante.

En cada unidad muestral, se determinaron materia seca y porcentaje de incorporación de estiércol bovino en el suelo, mediante las siguientes fórmulas:

<sup>40</sup> Laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, E:mail: labnuru\_fmfvzbogunal.edu.co

$$MSinc = PFI \times \%MSI - PFF \times \%MSF \quad (5-1)$$

$$\% \text{ incorporación de estiércol bovino} = PF - MSinc \times 100 \quad (5-2)$$

Donde:

*MSinc* = Materia seca incorporada

*PI* = Peso fresco inicial

*MSI* = Materia seca de la mezcla obtenida en la homogeneización del estiércol

*PF* = Peso fresco final de cada muestra después de 90 h de exposición

*MSF* = Materia seca final de cada muestra después de 90 h de exposición

Las masas fecales CON escarabajos fueron revisadas manualmente, se extrajeron y contaron individuos colonizando las masas fecales. Bajo ellas y 30 cm a la redonda se contaron las galerías y se tomaron medidas aproximadas de sus profundidades (debido a que las galerías son sinuosas y no rectas). Seguidamente se extrajeron, con pala y espátula de jardinería, los escarabajos que estuvieran alimentándose o elaborando estructuras de nidificación en el suelo. Para especies conspicuas y comunes como *D. belus* se determinó el sexo y biomasa (ver Capítulo 4 para metodología). Los ejemplares que no pudieron ser identificados fueron colectados y anexados a la colección de referencia del estudio. Los demás fueron liberados.

### 5.2.3 Análisis estadísticos

Para seleccionar los criterios e indicadores de la EAP que más contribuyeron a estructurar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas de estudio o recogieron la mayor varianza en los datos, se realizó un análisis no lineal de componentes principales (NLPCA por su sigla en inglés), utilizando redes neuronales artificiales (mediante un perceptrón multi capa – MLP).

Esta técnica es conceptualmente similar al PCA clásico, pero en vez de descomponer la matriz (*X*) a scores (*T*), pesos (*P*) y un error (*E*), se entrena una red neuronal autoreplicativa (mediante un algoritmo que generalice el resultado de encontrar los *m* componentes principales cuya varianza supere el umbral) para encontrar una curva a través del espacio multidimensional *X* que describe tanta varianza como sea posible, detectando componentes o factores no lineales (Scholz et al., 2005).

En este caso, la matriz fue transpuesta y los indicadores (variables) fueron ingresados como filas y las fincas (observaciones) como columnas, al programa R Studio v 4.1.1, en su librería *pcaMethods*. Para disminuir pérdida de precisión del método a medida que aumentan las variables que componen la matriz, fueron ingresados los criterios de diversidad de conectores (DCE y DCI) como variables (recordando que recogen los

indicadores de riqueza y estratificación) para finalmente ingresar 22 indicadores. La red se entrenó con 440 interacciones, determinando un intervalo de confianza del 95%, mediante el método de Hotelling (1953), suscrito a una elipse donde, es deseable, se encuentren incluidas las variables que componen los dos primeros componentes principales.

Con el ranking de pesos de los indicadores obtenidos en los dos componentes principales de los NLPCA, se seleccionaron las variables predictores de la incorporación de estiércol bovino o variable respuesta (gr de materia seca), mediante Modelos Lineales Generalizados (MLG), usando la función Gaussiana de enlace, sin transformación de datos debido a que las variables ya estaban escaladas entre 0 y 10 según la EAP. Se consideraron también la Finca (n=9), Tratamiento (n=2, CON y SIN escarabajos) y Cobertura (n=2, Cerca Viva - Potreros arbolados y potreros no arbolados) como variables predictoras. Se escogieron los modelos más parsimoniosos mediante la estimación de los delta del criterio de información de Akaike (AIC), sobre modelaciones sencillas que incluyeran una sola variable o complejas, en la que se incluyeran dos o más variables analizadas simultáneamente.

Los datos categóricos de número de túneles, biomasa de escarabajos coprófagos encontrados en el suelo bajo las masas fecales, porcentaje de cobertura arbórea y consistencia del suelo fueron correlacionados con la incorporación de estiércol bovino mediante modelación lineal simple, realizados en R Studio v 4.1.1.

## 5.3 Resultados y discusión

### 5.3.1 Relación entre función ecosistémica y agrobiodiversidad de los agroecosistemas

#### Valores de incorporación de estiércol bovino y EAP

La incorporación de estiércol bovino fue de  $63,23 \pm 40,19$  ( $\bar{x} \pm D.E.$ , gr) por masa fecal<sup>41</sup>, equivalente al  $37,48 \pm 23,33\%$  de la masa fecal incorporada al suelo, siendo las fincas Marbella y Loma Larga las que tuvieron el mayor porcentaje de incorporación y El Mirador y El Edén los menores valores (Tabla 5-1).

---

<sup>41</sup> La incorporación de la masa fecal de estiércol bovino de 1.000 gr de peso fresco, conteniendo 82% de humedad (en el caso de la Finca Loma Larga), equivalen a de 180 gr de materia seca.

**Tabla 5-1:** Valores totales y porcentaje de incorporación de estiércol bovino (gr de estiércol bovino seco) en las fincas y su valoración de agrobiodiversidad según EAP (Fuente: Elaboración propia).

Finca	EAP	Incorporación_grMS ( $\bar{X} \pm D.E.$ )	% incorporación ( $\pm D.E.$ )
El Cielo	43,99	66,92 $\pm$ 35,47	46,15 $\pm$ 16,41
El Eden	31,68	43,80 $\pm$ 40,88	19,65 $\pm$ 19,22
El Hato	46,62	70,41 $\pm$ 33,91	34,68 $\pm$ 15,62
El Mirador	46,88	46,61 $\pm$ 31,14	29,94 $\pm$ 22,96
La Aldea	47,85	58,65 $\pm$ 28,13	34,50 $\pm$ 14,54
Loma Larga	62,73	89,47 $\pm$ 56,89	56,47 $\pm$ 32,87
Los Armeys	53,19	47,38 $\pm$ 24,04	27,08 $\pm$ 13,46
Los Ocobos	60,64	55,06 $\pm$ 38,61	34,41 $\pm$ 23,80
Marbella	65,98	98,61 $\pm$ 51,63	58,64 $\pm$ 20,05

\*Su incorporación difiere en una significancia del 0,055 según MLG= incorporación ~ finca. \*\* Su incorporación difiere en una significancia del 0,053 según MLG= incorporación ~ finca.

Estos resultados indican que existe una relación directa entre la EAP y la incorporación promedio de materia seca de estiércol bovino en el suelo ( $R^2=0,68$  según la correlación de Pearson). Es decir, que la función ecosistémica de incorporar estiércol bovino en el suelo en los potreros estuvo relacionada con el grado de agrobiodiversidad presente en los agroecosistemas de estudio (a la escala de finca) y sus áreas de influencia (a la escala del paisaje), valorados mediante el índice.

### 5.3.2 Variables estructurantes de la agrobiodiversidad en los agroecosistemas de estudio

El análisis de componentes principales no lineal fue realizado seis veces, generando seis modelos que recogieron una varianza del 76,46; 79,20; 80,20; 80,90; 81,71 y 82,02%, respectivamente, en los dos primeros componentes principales, revelando un conjunto de indicadores “fijos”, apareciendo en todos los modelos y unos indicadores de tipo “casuístico”, apareciendo entre dos a cinco veces, como estructurantes de los dos primeros componentes principales (Tabla 5-2). En la reducción de la multidimensionalidad a dos componentes principales, se perdió menos del 20% de la varianza total.

Los indicadores ecosistémicos con mayor peso en estructurar el primer componente principal fueron la extensión de conectores externos, extensión de conectores internos y la distancia entre fragmentos al centro de la finca. Los culturales percepción-conciencia,

capacidad tecnológica y técnica, rotación de potreros y arreglo del sistema forrajero. El segundo componente principal fue estructurado por la diversidad de conectores internos, distancia de los cuerpos de agua a la finca, como los ecosistémicos y manejo de aguas, capacidad de gestión y manejo sanitario, en el orden cultural.

**Tabla 5-2:** Criterios e Indicadores de la EAP y el número de veces que aparecieron como estructurantes de los dos primeros componentes principales en los NLPCAs y los que recogen la mayor varianza de los datos (Fuente: Elaboración propia).

Sigla	Criterio/Indicador	Aparición	Scores del modelo 5	
			CP1	CP2
DCa	Distancia de los cuerpos de agua al centro de la finca	5	-0,4378	-0,2978
DFr	Distancia de los fragmentos al centro de la finca	5	-0,6146	-0,3075
AFrCa	Área de fragmentos y cuerpos de agua	0	-0,3322	-0,5014
ECE	Extensión de conectores externos	6	2,4856	-0,2945
ECl	Extensión de conectores internos	6	1,6933	0,5416
DCE	Diversidad de conectores externos	3	0,6808	-1,1416
DCI	Diversidad de conectores internos	6	0,0812	-1,1987
US	Usos del suelo	0	-0,0448	0,0765
PSu	Preparación del suelo	1	0,2870	-0,5315
ASi	Arreglo del sistema de forrajeo	4	-0,6471	0,1718
RPo	Rotación de potreros	4	-0,6462	-1,4614
MSa	Manejo sanitario del ganado	3	0,2008	0,5676
MAg	Manejo de aguas	4	0,2602	1,0517
PCs	Prácticas de conservación de suelos	4	-1,6944	0,2671
PCa	Prácticas de conservación del agua	0	0,3137	0,2085
PCb	Prácticas de conservación de la biodiversidad	2	0,0939	-0,6445
PeCo	Percepción-conciencia	6	-0,6573	0,0996
COñ	Conocimiento	1	-0,0781	0,6834
CEf	Capacidad económica y financiera	2	0,4289	1,2280
CLo	Capacidad logística	2	0,2969	-0,0919
CGe	Capacidad de gestión	6	-1,0353	0,3870
CTt	Capacidad tecnológica y técnica	5	-0,7418	-0,1218

---

CP1= componente principal 1, CP2= componente principal 2

Los indicadores que recogieron la mayor varianza (evaluados mediante los scores más altos dentro de los dos primeros componentes principales) y aparecieron tres o más veces en los cinco modelos obtenidos, fueron pre-seleccionadas como variables predictoras de la incorporación de estiércol bovino.

### **5.3.3 Variables predictoras de la incorporación de estiércol bovino en las fincas de estudio**

La modelación lineal, mediante el uso de los modelos lineales generalizados, indica que la presencia de escarabajos coprófagos fue la variable predictora que tuvo mayor efecto en la incorporación del estiércol bovino en las áreas de estudio (Tabla 5-3), confirmando que la exclusión de estos insectos significa una incorporación mínima del estiércol en las pasturas durante las primeras 90 h de exposición de las boñigas. Es por eso que fue excluida como combinatoria en la modelación de las demás variables.

La distancia de fragmentos al centro de la finca (DFr), extensión de conectores internos (ECI), arreglo del sistema forrajero (ASi), rotación de potreros (RPO), manejo sanitario (MSa), percepción-conciencia (PeCo) y capacidad de gestión (CGe) fueron las variables que resultaron predictores de la incorporación de estiércol bovino en las condiciones de estudio.

La construcción de modelos más complejos, mediante la combinación de estas variables llevaron a la selección de tres “grupos” de indicadores con mejor ajuste, según el criterio de información AIC: los de tipo ecológico, de manejo del sistema productivo y de percepciones y capacidades. Los modelos que consideraron la percepción-conciencia y la capacidad de gestión, resultaron levemente más “ajustados” según el AIC, aunque no resultaron modelos “mejores” que otros (deltas AIC menores que 9).

**Tabla 5-3:** Modelos Lineales Generalizados en función de las variables predictoras de la incorporación de estiércol bovino en el suelo (Fuente: Elaboración propia).

Factor		T valor	P	Delta AIC
CON escabajos		13,93	<0,0001	
Cobertura- Potreros abiertos		1,96	0,049	10,6
	DFr	2,19	0,028	9,6
	ECI	2,12	0,034	9,9
	MSa	2,52	0,012	8,1
	RPo	3,72	0,001	3,1
	ASi	2,77	0,006	6,8
	PeCo	3,53	0,004	1,9
	CGe	4,07	<0,0001	3,9
DFr+ECI	DFr	2,31	0,021	6,6
	ECE	2,24	0,025	
MSa+RPo+ASi	MSa	1,92	0,459	3,1
	RPo	2,55	0,057	
	ASi	-0,74	0,450	
PeCo+CGe	PeCo	0,37	0,705	0,0
	CGe	2,03	0,040	
GL	1, 339*			
	1, 337**			

\* Para factores modelados individualmente, \*\* Para factores combinados

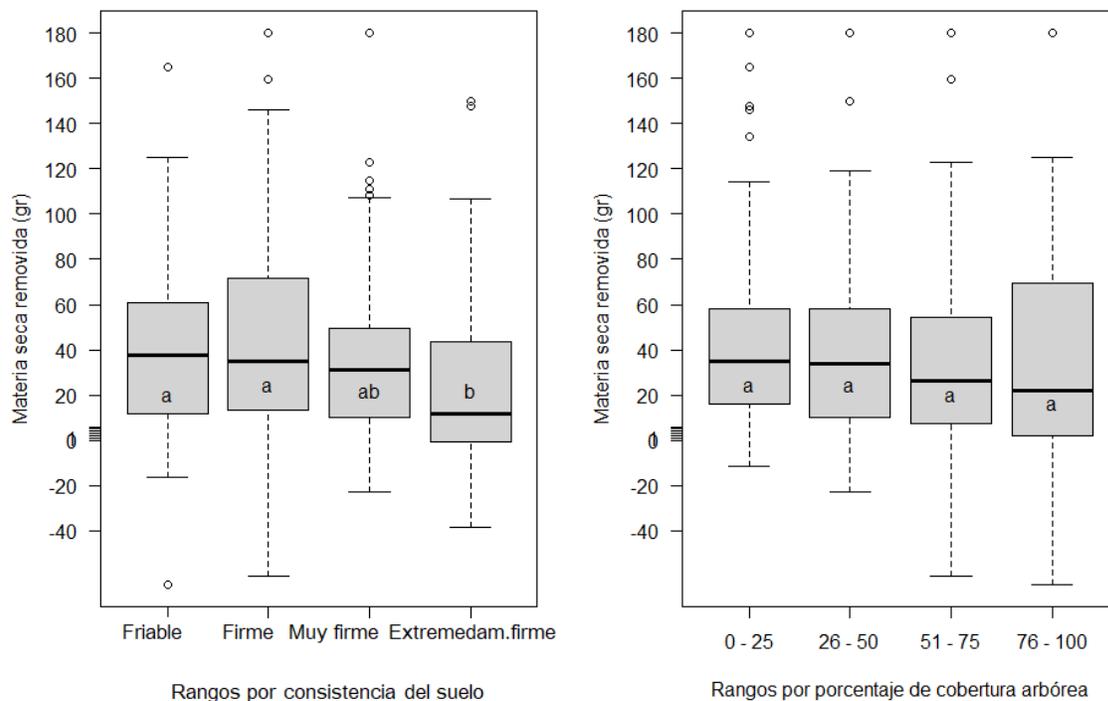
### Aspectos microlocales que afectan la función

A nivel microlocal, las masas fecales fueron colonizadas por  $10,30 \pm 11,40$  ( $\bar{x} \pm D.E.$ , individuos), siendo *Dichotomius belus* Har., tunelera (T), grande (G) y nocturna (N), la más abundante (n total=1.873 individuos; 865 machos y 1.008 hembras) en todas las fincas de estudio y con mayor biomasa ( $1901,86 \pm 2085,23$ ) ( $\bar{x} \pm D.E.$ , mg/masa fecal), cuyos individuos elaboraron  $5,98 \pm 5,23$  ( $\bar{x} \pm D.E.$ , túneles) de 1 - 16 cm de profundidad.

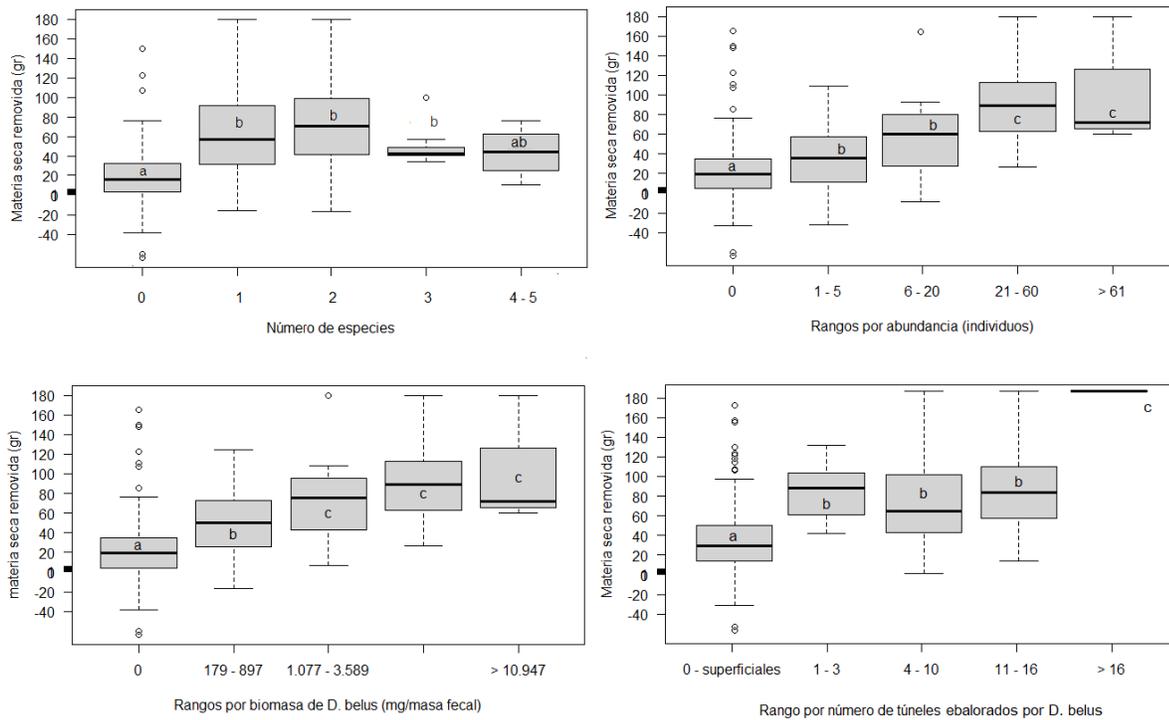
El 3,21% restante de la biomasa fue compartida entre *D. agenor*, *Ontherus lunicollis* y *C. susanae*, tuneleras (T), grandes (G), nocturnas (N); *Onthophagus curvicornis*, *O. bidentatus*, y *O. sp 01H*, tuneleras (T), pequeñas (P), diurnas (D) y *Eurysternus foedus* y *E. mexicanus*; residentes (Re), grandes (G), diurnas (D).

Los análisis de regresión lineal mostraron una asociación entre los gramos de estiércol incorporados y la compactación del suelo ( $F_{3,350}=2,69$ ,  $R^2=0,02$ ,  $p=0,045$ ) pero no entre los gramos incorporados y el porcentaje de cobertura arbórea ( $F_{3,350}=1,003$ ,  $R^2=0,08$ ,  $p=0,39$ ). La cantidad de estiércol incorporado fue afectado por la riqueza ( $F_{4,350}=79,94$ ,  $R^2=0,18$ ,  $p=2,2 \times 10^{-16}$ ), abundancia de especies tuneleras ( $F_{4,350}=48,83$ ,  $R^2=0,36$ ,  $p=2,2 \times 10^{-16}$ ),

biomasa de *D. belus* ( $F_{4,350}=50,83$ ,  $R^2=0,36$ ,  $p=2,2 \times 10^{-16}$ ) y número de túneles elaborados por esta especie ( $F_{4,350}=43,21$ ,  $R^2=0,33$ ,  $p=2,2 \times 10^{-16}$ ) (Figuras 5-2 y 5-3).



**Figura 5-2:** Diagrama de cajas evidenciando los valores medianos y rangos intercuartílicos para los factores edafo-microclimáticos que inciden sobre la masa fecal. Letras diferentes dentro de las cajas refieren a grupos homogéneos a partir de sus medias mediante prueba *post-hoc* LDS, previa verificación de supuestos. Dos medias compartiendo letras no difieren “significativamente” de las otras (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 5-3.** Diagrama de cajas evidenciando los valores medianos y rangos intercuartílicos (medidas de tendencia central dispersión) para las factores ecológicos y comportamentales analizados a nivel de masa fecal que afectaron la incorporación. Letras diferentes dentro de las cajas se refieren a grupos homogéneos de sus medias a partir de comparaciones pareadas mediante prueba *post-hoc* LDS. Dos medias compartiendo letras no difieren “significativamente” de las otras (Fuente: Elaboración propia).

Se puede argumentar bajo estos resultados, que existe un conjunto de factores analizados en tres escalas diferentes, que inciden sobre la incorporación de estiércol bovino en el modelo de estudio, actuando simultáneamente y que pueden ser evaluados mediante la EAP.

En la primera de ellas se encuentra la estructura espacial de las coberturas en el paisaje donde la finca está inmersa, especialmente con la cercanía de fragmentos de vegetación natural (DFr), que se mide dentro del criterio de conexión de la finca con la estructura ecológica del paisaje (CEEP).

En una segunda escala, a nivel de finca, la presencia de conectores de vegetación al interior de la misma, evaluada mediante el indicador de extensión de conectores internos (ECI). Así mismo, las prácticas de manejo del sistema productivo (ASi, MSa y RPo), que reflejan los aspectos “intangibles” de naturaleza humana, ligadas a la dimensión simbólica del productor (cosmogonía, espiritualidad, ética y estética) (PeCo), que se trasladan en

---

acciones concretas (CGe) para favorecer las estructuras y por lo tanto, los procesos de la biodiversidad en el agroecosistema.

En una tercera escala a nivel de sitio, donde la boñiga es depositada por el ganado, estaría la consistencia del suelo (como una medida indirecta de la compactación) que afecta la capacidad de las especies de elaborar galerías e incorporar el estiércol en suelo. A su vez es afectada, parcialmente (ya que existe una alta heterogeneidad en las condiciones edafológicas entre sitios) por las prácticas de conservación del suelo (PCs) que favorecen la agrobiodiversidad.

Una hipótesis útil para mantener un hilo conductor de los procesos (sin que exista causalidad) por lo cuales los escarabajos coprófagos remuevan cantidades importantes estiércol bovino, especialmente aquellos sitios con mayor agrobiodiversidad, sería la siguiente:

Las especies de escarabajos coprófagos asociadas al estiércol bovino, bastante móviles, encontrarían en la extensión continua de los conectores internos un elemento de conectividad biológica importante, que les permitiría moverse desde fragmentos o bosques de galería, dispersos en el paisaje y en la finca hacia las boñigas excretadas por el ganado en los potreros (ver discusión Capítulo 4). En este caso, la presencia más que la calidad de los conectores sería un factor clave para garantizar dicho movimiento pues *D. belus*, *O. lunicollis*, *Onthophagus bidentatus*, *O. accuminatus* y *O. sp. 01H* son bastante tolerantes a las condiciones de poca cobertura arbórea. Sí es importante que el sistema de pastoreo esté acompañado de árboles, con forrajeras de poca sombra o medianamente aislados, facilitando el movimiento entre potreros (Arellano et al., 2013; Giraldo et al., 2015; Molina et al., 2018; Gómez-Cifuentes et al., 2020; Duque-Vélez et al., 2022).

Un manejo altamente rotativo del ganado en los diferentes potreros, además de sus efectos sobre la conservación de las propiedades físicas del suelo, resultaría en una mayor concentración de boñigas frescas, atrayendo alta densidad de individuos ubicados dentro de su radio de atracción (ver Capítulo 6). Estas especies elaborarían galerías e incorporarían hasta el 58% de la boñiga en solo 90 h (ver Tabla 5-1).

Es conocido, a partir de los estudios de Roslin (2001), Rosenlew & Roslin (2008), Nervo et al., (2017) y Piccini et al., (2018; 2019) que una mayor densidad y riqueza de especies afecta positivamente las funciones ecosistémicas, en los sistemas de pastoreo y que la biomasa es una variable moduladora de la incorporación de estiércol bovino (Alvarado et al., 2019; Piccini et al., 2019).

En el sistema de estudio, las especies mencionadas presentan alta abundancia y biomasa e incorporan grandes fracciones de estiércol bovino, lo que mantendría el funcionamiento de estos agroecosistemas en niveles altos e intermedios. Estas condiciones “tan afortunadas” no se presentan en otras regiones del neotrópico, como en la Península de Yucatán (México), donde la intensificación del sistema de pastoreo ha llevado al remplazo de especies grandes y de hábitos tuneleros por especies pequeñas y de hábitos rodadores,

que remueven e incorporan poco estiércol bovino, ejerciendo mínimo efecto sobre la función ecosistémica (Alvarado et al., 2019). Esto afectaría el ciclaje de nutrientes, mantenimiento de pasturas, control biológico de moscas y helmintos (Nichols et al., 2008).

Aunque el propósito de estudio fue evaluar la incorporación de estiércol bovino, se observó de manera sistemática que en las masas fecales donde los escarabajos ejercían actividad funcional (tratamiento CON escarabajos), la porción que no era enterrada presentaba una mayor concentración de fibra que humedad, comparadas con masas fecales donde no hubo actividad (tratamiento SIN escarabajos) (Modelo Lineal= MSF ~ Tratamiento,  $F_{1,353} = 42,27$   $p = 6,94 \times 10^{-11}$ ).

Al colonizar las boñigas, cierto porcentaje es consumido directamente en la superficie de la pastura. Las pequeñas partículas en suspensión (de 8-50 nm de diámetro) que contiene el estiércol bovino fresco (bacterias y células epiteliales del intestino del bovino) son filtradas de los fragmentos vegetales a través de su aparato bucal, adaptado para la ingestión de alimento líquido y semilíquido (Halffter & Edmonds, 1982; Holter et al., 2002). El excedente, en su mayoría hierba, al mezclarse con el suelo excavado en la elaboración de galerías, se reincorpora muy rápidamente al ciclo de descomposición de la materia orgánica en el suelo y es el fertilizante biológico que los productores llaman el “oro negro del ganadero” (J.R. Giraldo, com. pers<sup>42</sup>).

Estos resultados plantean la posibilidad de que la desestructuración de la boñiga, o parte de ella, depositada en las pasturas y no incorporada en el suelo, pueda ser considerada como una función complementaria a la remoción e incorporación de estiércol bovino en el suelo, en agroecosistemas ganaderos (ver Nichols et al., 2008 para revisión de las funciones ecosistémicas realizadas por los escarabajos coprófagos, llamadas por estos autores “funciones ecológicas”).

Al considerar las variables de manejo es importante apreciar su relación con la percepción-conciencia y/o conocimiento del productor o los administradores de los agroecosistemas, sobre las funciones que realiza la agrobiodiversidad, la importancia de los conectores internos para el mantenimiento de la conectividad biológica y los efectos adversos que tienen los medicamentos sintéticos de uso veterinario sobre los atributos ecológicos y funcionales del agroecosistema (ver discusión Capítulo 4).

Herd (1995), realizó una revisión de los efectos ecotóxicos de la Ivermectina y Moxidectina en una dosis estándar de Ivermectina (al 1%) de 0,2 mL/kg de peso vivo, que podía representar una concentración residual de 9 ppm en las masas fecales excretadas por el ganado tratado y detectarse trazos hasta 15 días después de la aplicación. En Tanzania y Dinamarca los trazos fueron detectados 45 días después de la aplicación. Ensayos por

---

<sup>42</sup> Juan Ramón Giraldo, propietario Finca Chuguacá (San Francisco, Cundinamarca), E-mail: [chulajuan@hotmail.com](mailto:chulajuan@hotmail.com)

Ridsdill-Smith (1989) y Krüger & Schotlz (1997) indicaron que esta misma dosis de Ivermectina e Avermectina B1, aplicadas al ganado generaron mortalidad total en estados inmaduros de moscas y escarabajos coprófagos. Verdú et al., (2018a) encontraron que ambos medicamentos tienen efectos letales y subletales en la respuesta antenal y ataxia en *Scarabaeus cicatricosus* Luc., dificultando la detección de alimento, comunicación intraespecífica, locomoción e intercambio con el exterior.

Estudios de campo evaluando el efecto de residuos químicos de la Ivermectina, presentes en el estiércol de vacunos tratados, entre dos a cuatro dosis anuales de 0,2 -10 mL/kg de peso vivo, comparados con un grupo control no tratado, mostraron modificaciones en la riqueza de especies, abundancia, composición faunística, descomposición y remoción de estiércol, transferencia de nutrientes al suelo y relaciones con ciclos biogeoquímicos de elementos minerales, dinámicas temporales en la función y emisión de GEI de las boñigas (Euroussi & Lumaret, 2010; Beynon et al. 2102; Basto-Estrella et al., 2014; Verdú et al., 2018a; 2018b, entre otros). Verdú et al., (2018b) argumentan que las modificaciones causadas por estos residuos podrían ser responsables del incremento en las extinciones locales de ciertas especies, observadas por Lobo (2001) en la península ibérica durante las últimas décadas del siglo XX.

En hatos ganaderos de aproximadamente 400 UG en la sabana de Bogotá, el programa básico de saneamiento antiparasitario, asesorado por un veterinario convencional, incluye una dosis mensual de Ivermectina al 1% de 1 mL/50 kg de peso vivo, durante los primeros siete meses de vida, luego una dosis bimensual hasta cumplir los 15 meses, dosis menos frecuentes durante el ciclo productivo de la vaca, pero siempre antes de los partos y al realizar la práctica de “secado de ubres” (Juan R. Giraldo, com. pers.). Los propietarios de los hatos y sus administradores, han observado una disminución notable en la remoción del estiércol de las pasturas y presencia de escarabajos coprófagos en los potreros, comparado con décadas pasadas cuando estos medicamento se usaban en baja frecuencia o no se usaban (L. Buitrago, com. pers.<sup>43</sup>).

En la región de La Vega y Nocaima es frecuente que los ganaderos no sigan exactamente las recomendaciones de los médicos veterinarios, pero sí toman en cuenta las experiencias de otros ganaderos o agentes de la cadena productiva. Esto ha llevado a la aplicación de cuatro “purgas” al año como la regla general, en una dosis de 0,1 mL/50 kg de Ivermectina, establecida por las casas farmacéuticas, contenida en las indicaciones del producto y de venta libre en cualquier almacén de insumos para el campo (Orlando Niño, com. pers.) (ver Capítulo 3).

En las fincas donde los propietarios o sus administradores tenían conocimiento y comprendían la importancia de los escarabajos coprófagos para el sistema productivo, aplicaban menos dosis anuales que la regla anteriormente mencionada o usaban productos complementarios, resultando en mayores valores de incorporación de estiércol.

---

<sup>43</sup> Pedro Leonardo Buitrago, administrador Finca Chuguacá (San Francisco, Cundinamarca), E-mail: [leobuik@hotmail.com](mailto:leobuik@hotmail.com)

Por ejemplo, el administrador de la finca Loma Larga, con una larga experiencia en el manejo de hatos ganaderos en diversas regiones del país, un trato “muy humano” con los animales y una relación estrecha con la naturaleza, con consentimiento del propietario, realiza dos aplicaciones obligadas de Ivomec: al nacimiento del becerro y en la vaca después del destete, para “no perjudicar al cucarrón”. Si necesitan desparasitación adicional usa otros productos<sup>44</sup>. Solo realiza aplicaciones adicionales si observa indicios de infestación o infección importantes en animales individuales.

Desafortunadamente, no se han realizado estudios que permitan comparar tasas de incorporación de estiércol observadas en La Vega y Nocaima con otras localidades del país, con mayor tradición ganadera y número de dosis aplicadas de Ivermectina. Sin embargo, en estas hipotéticas comparaciones (dosis en función de la cantidad de gr incorporados) también deben ser considerados el efecto de la estructura espacial del paisaje sobre el agroecosistema (Beynon et al., 2012), la ecología de las especies (riqueza, relaciones de distribución-abundancia, dinámicas poblacionales, aspectos comportamentales) (Beynon et al., 2012; Verdú et al., 2018b) y la capacidad de gestión del territorio y apropiación de la agrobiodiversidad por parte de las comunidades rurales (Argumedo, 2008; Kaartinen et al., 2013).

El paisaje bastante conectado y complejo en coberturas (hábitats disponibles) donde se encuentran las fincas (Capítulos 3 y 4), en parte, resultado de la gobernanza de sectores sociales mediante la gestión de juntas veredales de acción comunal y redes de reservas naturales privadas en torno a la conservación del agua, biodiversidad y producción agroecológica (Daza-Cruz, 2020; M. Santamaría, com pers<sup>45</sup>), permitiría un flujo continuo de escabajos coprófagos hacia las fincas, disminuyendo la probabilidad de extinción local, por eventos estocásticos (Wiegand et al., 1999; Roslin, 2001; Tschardt et al., 2005). Como lo serían el uso de hasta cuatro dosis de Ivermectina al año (Verdú et al., 2018b).

En la sabana de Bogotá, muchas fincas presentan una baja conexión con la estructura ecológica del paisaje y baja capacidad de asociatividad comunitaria para liderar procesos de conservación o producción agroecológica (León-Sicard, 2021; G. Fajardo, com. pers.<sup>46, 47</sup>). Esta situación dificultaría la re-colonización de potreros por la fauna coprófaga, proveniente de los pocos relictos de bosque, dispersos en la matriz de agroecosistemas, para remplazar o alimentar con propágulos las poblaciones aisladas, reducidas y/o extintas

---

<sup>44</sup> Panacur o Cooperosol (ambos de Merk & Co.)

<sup>45</sup> Marcela Santamaría Gómez, directora técnica de la Red de Reservas Naturales de la Sociedad Civil (Resnatur) y propietaria de la reserva La Disculpa en La Vega, que produce agroecológicamente.

<sup>46</sup> Gonzalo E. Fajardo, estudiante doctoral del Programa de Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia, quien desarrolla su tesis doctoral con mariposas asociadas a relictos de bosque altoandino en la sabana de Bogotá y matriz de agroecosistemas. E-mail: [gfajardo@unal.edu.co](mailto:gfajardo@unal.edu.co)

<sup>47</sup> Existen notables excepciones como el caso del nodo de conservación La Laja (Subachoque, Cundinamarca) de Resnatur (Drews et al., 2019).

---

localmente (Hanski, 1998; Hanski et al., 2017; Howell et al., 2018), por el uso de hasta ocho (8) dosis anuales del medicamento.

Desde otra perspectiva de análisis de los resultados es importante resaltar, a pesar de la significancia estadística de los modelos lineales para siete variables predictoras de la función, los valores AIC fueron bajos ( $3.458,08 \pm 22,10$ ) y las devianzas residuales muy altas ( $509063,20 \pm 29.635,67$ ). Esto demuestra que los modelos individuales son poco explicativos de la varianza total y que existe sobredispersión de los datos.

Considerando la complejidad de ecosistemas y agroecosistemas a través del tiempo y del espacio, es poco probable que el conjunto de variables, tanto ecosistémicas como culturales, que determinan sus niveles de funcionalidad, actúen conjuntamente de manera lineal y muestren las respuestas esperadas bajo los supuestos teóricos clásicos establecidos (Morin, 2003; Gustafson, 1998, Vigizzlo et al., 2004; Vardemeer, 2011).

El hecho expuesto cobra aún mayor relevancia cuando se considera que las fincas de estudio se localizan en la región andina tropical, con su alta heterogeneidad natural y cultural (clima, topografía, altitud, aspectos socio-económicos y tecnológicos) en distancias muy cortas. Características que dificultan enormemente la formulación de un diseño experimental o semi-experimental clásico para evidenciar patrones ecológicos.

Esto se ilustra en la siguiente situación: de las 10 fincas evaluadas en su EAP, fue posible realizar los experimentos de actividad funcional en nueve (9) de ellas. El propietario de la finca La Cecillita retiró el ganado, sin previo aviso, tres meses antes de iniciar los experimentos. Esto obligó a eliminarla del estudio para evitar introducir una variable confundidora (ausencia de estiércol bovino).

Uno de los pocos estudios conocidos, evaluando, con escarabajos coprófagos, funciones ecosistémicas en agroecosistemas ganaderos neotropicales en función de factores de manejo del sistema productivo, no encontraron asociaciones estadísticas "significativas". Los autores argumentaron razones metodológicas (Carvalho et al., 2021).

Para subsanar el "ruido", debido a la alta variabilidad al interior de las unidades de observación, es indispensable un número muy alto de muestras para reducir la varianza y aumentar la potencia de las pruebas (E. Darghan, com. pers.<sup>48</sup>); condición ideal que, generalmente, no puede cumplirse pues excede el presupuesto, tiempo y disposición de investigadores y financiadores. En este estudio, el análisis de 360 masas fecales de 1.000 gr de peso fresco, recogiendo la alta heterogeneidad ambiental propia de cada finca y potreros, permitió observar los patrones descritos previamente.

---

<sup>48</sup> Aquiles Enrique Darghan, profesor titular de Estadística de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: aedarghanc@unal.edu.co

Aun así, fue imposible controlar totalmente la tasa de incorporación de estiércol pues se observaron valores positivos en unidades muestrales del tratamiento control (SIN escarabajos) y valores negativos en el tratamiento experimental (CON escarabajos) (outliers) (ver Figuras 5-3 y 5-4). Entre los sesgos metodológicos detectados se podrían considerar: contaminación de masas fecales con trazos de suelo, ataque por escarabajos coprófagos rompiendo mallas protectoras de las trampas de exclusión que cubrían el tratamiento control, modificación diferencial de la ganancia de peso por efecto de la lluvia, colonización de lombrices, pérdida de precisión de la balanza en condiciones de campo y percolación del estiércol en días de excesiva precipitación.

La naturaleza no lineal de ciertas variables predictoras como DFr, ECI, ASi y CGe que modificaban su respuesta inicial al ser modeladas de forma conjunta, sería la razón principal del bajo poder de predicción de los modelos aplicados. Este comportamiento estadístico indica gran complejidad de interacciones entre las variables predictoras a las tres escalas espaciales analizadas. Seguramente otras variables, no consideradas dentro de la EAP, podrían tener un efecto en la función, con muy bajo valor predictivo. Este hecho demuestra la red compleja de interacciones ambientales (ecológicas y culturales) que se tejen en las fincas como sistemas energéticamente complejos, dinámicos, abiertos, autoregulados y autoorganizados (Hart, 1985; Noe & Alroe, 2004; Darnhofer et al., 2010; Vandermeer & Jackson, 2018; Yang et al., 2020). No obstante el conjunto de indicadores propuestos en el índice recogen, de forma satisfactoria, los componentes agrobiodiversos del agroecosistema y afectan la función estudiada.

La incorporación de estiércol bovino en los agroecosistemas de estudio podría ser analizada a partir de la modelación no lineal en función de las variables anteriormente mencionadas. La aplicación de estas técnicas requiere un conocimiento avanzado en métodos probabilísticos, propios de la estadística bayesiana; propósito que supera las expectativas de esta tesis doctoral. Ciertamente, sería una herramienta valiosa para modelar con mayor precisión estas variables y entender mejor cómo podrían afectarla.

Finalmente, la revisión de la bibliografía pone en evidencia la ausencia de variables predictoras de tipo cultural (a excepción del manejo del sistema productivo) que se relacionan con las prácticas de conservación, percepción-conciencia y conocimiento o capacidades para la acción dentro de los contextos sociogeográficos que se encuentren los productores. Como fue observado, son factores que tienen influencia en la respuesta funcional (Jackson et al., 2007; Petersen et al. 2020).

## 5.4 Conclusiones

La Estructura Agroecológica Principal-EAP como un índice que evalúa agrobiodiversidad en agroecosistemas puede predecir, con cierto grado de incertidumbre, la cantidad de función ecosistémica realizada por la agrobiodiversidad en sus sistemas productivos; en el caso concreto de estudio, la incorporación de estiércol bovino en el suelo por los escarabajos coprófagos de la subfamilia Scarabaeinae.

La distancia de fragmentos de vegetación natural presentes en el área de influencia de la finca a su centro (DFr), extensión de conectores de vegetación al interior de la misma (ECI), arreglo de especies forrajeras (ASi), frecuencia de rotación del ganado entre potreros (RPo), manejo de la salud del hato (MSa), percepción-conciencia del productor sobre los beneficios que recibe de la agrobiodiversidad y su importancia (PeCo) y su capacidad de gestión para mantener y/o mejorar la conectividad estructural y funcional de la agrobiodiversidad, presente en su agroecosistema y área de influencia (CGe), son los indicadores de la EAP que predicen la incorporación de estiércol bovino realizada por los escarabajos en los potreros de las fincas de estudio.

Esta es la primera investigación conocida, que relaciona la incorporación de estiércol bovino en el suelo en los agroecosistemas ganaderos con variables del orden cultural, ofreciendo una perspectiva más completa (completud) de los factores que modulan esta relación ambiental. La inclusión de la dimensión cultural dentro de un índice que evalúe la agrobiodiversidad, no solo permite entender mejor como se relacionan estos diferentes componentes del sistema (agroecosistema), también abre espacios para la integración de las ciencias naturales y sociales, necesaria para abordar preguntas complejas que contribuyan a la sustentabilidad de los agroecosistemas.

El bajo valor predictivo de las variables que afectaron la incorporación de estiércol bovino, la no linealidad en algunas de ellas y la contradicción en su respuesta de acuerdo a cómo fueron modeladas, muestra la complejidad subyacente en las interacciones ambientales que modelan la función ecosistémica estudiada en los agroecosistemas de estudio. Seguramente, otras variables relacionadas con la densidad, comportamiento y biomasa de las especies funcionalmente importantes, entre otras, influyen conjuntamente y de formas diversas.

Los resultados de estos estudios refuerzan la hipótesis de la importancia y dominancia funcional de pocas especies (por sus atributos poblacionales o comportamentales), las cuales controlan los procesos centrales del ecosistema. Su desaparición o extinción local llevaría a disminución de estas funciones y la pérdida de los beneficios asociados.

La pérdida sistemática de humedad en la porción de la boñiga que no es incorporada en el suelo por los escarabajos coprófagos y queda sobre la superficie del suelo, es consumida en sus partículas nutritivas en suspensión, desestructura y rápidamente reciclada. Es actividad de desestructuración parcial abre la posibilidad que sea considerada como una función complementaria a la remoción de estiércol bovino e incorporación en el suelo.

## 5.5 Bibliografía

Acevedo-Osorio, A. (2015). Revaloración de las funciones múltiples de las agriculturas del campesinado como estrategia de resistencia y adaptación en la cuenca del río Guaguarco,

sur del Tolima-Colombia. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Acevedo-Osorio, A. & Jiménez, N. (Comps.) (2019). Agroecología - Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia. Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO, Editorial Universidad del Rosario. doi.org/10.12804/tp9789587842236

Alvarado, F.; Andrade E.; Santos B.; Prescott, G.; Souza, G. & Escobar, F. (2018). Forest cover is more important than farmland heterogeneity and livestock intensification for the retention of dung beetle phylogenetic diversity. *Ecological Indicators* 93, 524-532.

Alvarado, F.; Dáttilo, W. & Escobar, F. (2019). Linking dung beetle diversity and its ecological function in a gradient of livestock intensification management in the Neotropical region. *Applied Soil Ecology* 143, 173-180.

Altieri, M. (2004). Linking ecologist and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers of Ecology and Environment* 2(1), 35-42.

Arellano, L.; León-Cortés, J.L.; Halffter, G. & Montero, J. (2013). Matorrales de *Acacia*, vacas y escarabajos del estiércol (Coleoptera; Scarabaeinae) en un paisaje silvopastoril mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84, 650-660.

Argumedo, A. (2008). The Potato Park, Peru: Conserving agrobiodiversity in an Andean indigenous biocultural heritage area. En: Amend, T.; Brown, J.; Kothari, A.; Philips, A & Stolton, S. (Eds). *Protected landscapes and agrobiodiversity values. Volume 1, Protected landscapes and seascapes series*, IUCN & GTZ. Kasperek Verlag, Heidelberg.

Basto-Estrella, G.; Rodríguez-Vivas, R.; Delfín-González, H. & Reyes-Novelo, E. (2014). Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) diversity and seasonality in response to use of macrocyclic lactones at cattle ranches in the Mexican neotropics. *Insect Conservation and Diversity* 7, 73-81.

Beynon, S.A.; Mann, D.; Slade, E. & Lewis O.T. (2012). Species-rich dung beetle communities buffer ecosystem services in perturbed agro-ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 49, 1365-1372.

Braga, R.F.; Korasaki, V.; Andresen, E. & Louzada, J. (2013). Dung beetles community and functions along habitat-disturbance gradient in the Amazon: A rapid assesment of ecological functions associated to biodiversity. *PLoS ONE* 8(3), e57786. doi:10.1371/journal.pone.0057786

Cabell, J.F. & Oelofse, M. (2012). An indicator framework fo assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society* 17(1), 18. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04666-170118>

Carvalho, R.L.; Andresen, E.; Anjos, D.; França, F. & Vasconcelos, H.L. (2021). Dung beetle functions in tropical planted pastures were barely explained by management variables and not at all by community metrics. *Ecological Indicators* 125, 107598.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC (Sin Fecha). Libreta de anotaciones de trabajo de campo para el reconocimiento de suelos, Bogotá.

---

Correa, C.M.; Braga, R.; Louzada, J. & Menéndez, R. (2019). Dung beetle diversity and functions suggest no major impacts of cattle grazing in the Brazilian Pantanal wetlands. *Ecological Entomology*. doi: 10.1111/een.12729

Cultid-Medina, C.A. & Escobar, F. (2016). Assessing the ecological response of dung beetles in an agricultural landscape using number of individuals and biomass in diversity measures. *Environmental Entomology*: 1-10. doi:10.1093/ee/nvv219

Darnhofer, I.; Fairweather, J. & Moller, H. (2010). Assessing a farm's sustainability: insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability* 8(3), 186-198.

Daza-Cruz, Y.X. (2020). Apropiación humana de la producción primaria neta en sistemas de agricultura ecológica y convencional. Tesis de Maestría. Instituto de Estudios Ambientales. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

De Haan, S.; Núñez, J.; Bonierbale, M. & Ghislain, M. (2010). Multinivel agrobiodiversity and conservation of Andean potatoes in Central Peru. *Mountains Research and Development* 30, 222-231.

Duque-Vélez, P.; Oliveira-Rangel, M. & Wolff, M. (2022). Sylvopastoral systems as an alternative for conservation of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae) in a cattle landscape in Caucasia Colombia. *Caldasia* 44(1). <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v44n1.83102>

Erroussi, F. & Lumaret, J.P. (2010). Field effects of faecal residues from ivermectin slow-release boluses on the attractiveness of cattle dung to dung beetles. *Medical and Veterinary Entomology* 24, 433-440.

Giraldo, C.; Montoya-Molina, S. & Escobar, F. (2018). Escarabajos del estiércol en paisajes ganaderos de Colombia. Fundación CIPAV, Cali.

Gómez-Cifuentes, A.; Giménez, V.C.; Moreno, C.E. & Zurita, G.A. (2019). Tree retention in cattle rancing systems partially preserves dung beetle diversity and functional groups in the semideciduous Atlantic forest: The role of microclimate and soil conditions. *Basic and Applied Ecology* 34, 64-74.

Gustafson, E.J. (1998). Quantifying landscape spatial patterns: Whats is the state of the art? *Ecosystems* 1(2), 143-156.

Halffter, G. & Edmonds W.D. (1982). The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae): an ecological and evolutive approach. *Man and the Biosphere Program UNESCO*, México D.F.

Hanski, I. (1998). Metapopulation dynamics. *Nature* 396, 41-49.

Hanski, I.; Schulz, T.; Chong Wong, S.; Ahola, V.; Ruokolainen, A. & OJanen, S. (2017). Ecological and genetic basis of metapopulation persistence of the Glanville fritillary butterfly in fragmented landscape. *Nature Communications* 8:14504. doi: 10.1038/ncomms14504

Hart, R. (1985). Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba.

Herd, R. (1995). Endectocidal drugs: ecological risks and counter-measures. *International Journal for Parasitology* 24(8), 875-885.

Hotelling, H. (1953). New light on the correlation coefficient and its transforms. *Journal of the Royal Statistical Society* 15(2), 193-232.

Howell, P.E.; Maths, E.; Hossack, B.R.; Sigafus, B.H. & Chandler R.B. (2018). Increasing the connectivity between metapopulation ecology and landscape ecology. *Ecology* 99(5). doi: 10.1002/ecy.2189

Instituto Geográfico Agustín Codazzi- ICAG (1985). Estudio general de suelos y zonificación de Tierras. Tomo I. Departamento de Cundinamarca, Bogotá.

Jackson, L.E.; Pascual, U. & Hodgkin, T. (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 121, 196-201.

Jarvis, D.I.; Brown, A.H.; Coung, P.H.; Collado-Panduro, L.; Latournerie, L.; Gyawali, S.; Tanto, T.; Sawadogo, M.; Lar, I.; Sadiki, M. & Hue, N.T.H. (2008). A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities. *Proceedings of Natural Academy of Science of USA* 105, 5326-5331.

Kaartinen, R.; Hardwick, B. & Roslin, T. (2013). Using citizen scientist to measure an ecosystem service nationwide. *Ecology* 94(11), 2645-2652.

Krüger, K. & Scholtz, C.H. (1997). Lethal and sublethal effects of ivermectin on the dung-breeding beetles *Euoniticellus intermedius* (Reiche) and *Onitis alexis* Klug (Coleoptera: Scarabaeidae). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 61, 123-131.

León-Sicard, T. (2021). La Estructura Agroecológica Principal de los agroecosistemas. Perspectivas teórico-prácticas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Lobo, J. (2001). Decline of roller dung beetles (Scarabaeinae) populations in the Iberian Peninsula during 20th century. *Biological Conservation* 97(1), 43-50.

Millenium Ecosystem Assesment- MEA (2005). Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resource Institute, Washington D.C.

Montenegro, H & Malagón, D. (1990). Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección Agrológica, Bogotá.

Montoya-Molina, S.; Giraldo, C.; Montoya, J., Chará, J., Escobar, F. & Calle, Z. (2015). Land sharing vs. land sparing in the dry Caribbean lowlands: A dung beetle´s perspective. *Applied Soil Ecology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.017>

Morin, E. (2003). Introducción al pensamiento complejo. Editorial Gedisa, Barcelona.

Nervo, B.; Caprio, E.; Celi, L.M; Lonati, M.; Lombardi, G.; Falsone, G.; Iussig, G.; Plaestrini, C.; Said-Pullicino, D. & Rolando, A. (2017). Ecological functions provided by dung beetles are interlinked across space and time: Evidence from 15N isotope tracing. *Ecology* 98(2), 433-446.

---

Nichols, E.; Spector, S.; Louzada, J.; Larsen, T.; Amezcua, S.; Favila, M.E. & The Scarabaeinae Research Network. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*. doi: 10.1016/j.biocon.2008.04.11

Noe, E. & Alroe, H.F. (2004). Farm enterprises as self-organizing systems: A new transdisciplinary framework for studying farm enterprise? *International Journal of Sociology of Agriculture and Food* 11(1), 3-14.

Penttilä, A.; Slade, E.M.; Simojoki, A.; Riutta, T.; Minkkinen, K. & Roslin, T. (2013). Quantifying beetle-mediated effects on gas fluxes from dung pats. *PLoS ONE* 8(8): e71454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071454>

Perfecto, I.; Vandermeer, J. & Wright, A. (2009). *Nature's matrix: Linking agriculture, conservation and food sovereignty*. Earthscan, London.

Petersen, P.; Silveira, L.; Biaconi, G. & Gomes de Almeida, S. (2020). *Lume: A method for economic-ecological analysis of agroecosystems*. Reclaiming Diversity and Citizenship Series. Centre for Agroecology, Water and Resilience, Coventry University, Coventry.

Piccini, I.; Nervo, B.; Forshage, M.; Celi, L., Palestini, C.; Rolando, A. & Roslin, T. (2018). Dung beetles as drivers of ecosystems multifunctionality: Are response and effect traits interwoven? *Science of the Total Environment* 616-617, 1440-1448.

Piccini, I.; Caprio, E.; Palestini, C. & Rolando, A. (2019). Ecosystem functioning in relation to species identity, density and biomass. *Ecological Entomology*. doi: 10.1111/een.12802

Ridsdill-Smith, T.J. (1988). Survival and reproduction of *Musca vetustissima* Walker (Diptera: Muscidae) and Scarabaeinae dung beetles in dung of cattle treated with Avermectin B1. *Journal of Australian Entomological Society* 27, 175-178.

Rosenlew, H. & Roslin, T. (2008). Habitat fragmentation and the functional efficiency of temperate dung beetles. *Oikos* 117, 1659-1666.

Roslin, T. (2001). Spatial population structure in a patchily distributed beetle. *Molecular Ecology* 10, 823-837.

Scholz, M.; Kaplan, F.; Guy, C.; Kopka, J. & Selbig, J. (2005). Non-linear PCA: A missing data approach. *Bioinformatics* 21(20), 3887-3895.

Toledo, V.M. & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria editorial. Barcelona.

Tscharntke, T.; Clough, Y.; Wanger, T.C.; Jackson, L.; Motzke, I.; Perfecto, I.; Vandermeer, J. & Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* 151, 53-59.

Vandermeer, J. (2011). The inevitability of surprise in agroecosystems. *Ecological Complexity* 8, 377-382.

Vandermeer, J. & Jackson, D. (2018). Stabilizing intrasensitive loops: self-organized spatial structure and disjoint time frames in the coffee agroecosystems. *Ecosphere* 9(12): e02489.10.1002/ecs2.2489

Verdú, J.R.; Cortes, V.; Martínez-Pinna, J.; Ortíz, A.; Lumaret, J.P.; Lobo, J.M.; Sánchez-Piñero, F. & Numa, C. (2018a). First assesment of the comparative toxicity of ivermectin and moxidectin in adult dug beetles: Sub-lethal symptoms and pre-lethal consequences. *Scientific Reports* 8, 14885. doi: 10.1038/s41598-018-33241-0

Verdú, J.R.; Lobo, J.M.; Sanchez-Piñero, F.; Gallego, B.; Numa, C.; Lumaret, J.P.; Cortez, V.; Ortiz, A.J.; Tonelli, M.; García-Teba, J.; Rey, A.; Rodríguez, A. & Durpan, J. (2018b). Ivermectin residues disrupt dung beetles diversity, soil propierties and ecosystem functioning. *Science of the Total Environment* 618, 219-228.

Viglizzo, E.F.; Pordomingo, A.J., Castro, M.G.; Létora, F.A. & Bernados, J.N. (2004). Scale-dependent controls on ecological funcions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 101, 39-51.

Walker, B.; Holling, C.S.; Carpenter, S.R. & Kinzing, S.R. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9(2), 5. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>

Wiegand, T.; Moloney, K. A.; Naves, J. & Knauer, F. (1999). Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: A spatially explicit perspective. *American Naturalist* 154(6), 605–627. <https://doi.org/10.1086/303272>

Yang, H.; Idriwati, Y.M.; Suyker, A.E.; Lee, J.; Lee, K. & Kin, Y. (2020). Radiation, energy, and entropy exchange in an irrigated-maize in Nebraska, USA. *Korean Journal of Agricultural and Forest Metereology* 22(1), 26-46.

Zimmerer, K.S. (2014). Conserving agrobiodiversity amid global change, migration, and nontraditional livelihood networks: The dynamic use of cultural landscape knowledge. *Ecology and Society* 19, 1-5.

## **6. Importancia funcional del escarabajo coprófago *Dichotomius belus* (Harold, 1880) sobre la fertilidad del suelo en agroecosistemas ganaderos de los Andes de Colombia**

### **Resumen**

Como resultado del manejo convencional de la ganadería en regiones andinas, los suelos están perdiendo su fertilidad y potencial productivo. Es necesario, implementar prácticas agroecológicas que potencien los procesos funcionales mediados por la agrobiodiversidad y que benefician al productor y a la sociedad, partiendo de estudios que midan y cuantifiquen funciones ecosistémicas. Mediante el conteo de las boñigas colonizadas por la población de *D. belus* y su efecto en la incorporación de estiércol bovino en el suelo sobre el pH, nitrógeno total, carbono orgánico, materia orgánica y microorganismos del suelo, en la finca Loma Larga, se estimaron los beneficios para el propietario. En suelos donde hubo actividad funcional se observaron mayores valores en las variables químicas y biológicas, a excepción de las bacterias mesófilas, comparados con los tratamientos control. Los beneficios de la función ecosistémica implican una reposición comparable al uso de 32,61 kg/ha<sup>-1</sup> de fertilizante nitrogenado (urea) y 141 kg/ha<sup>-1</sup> de materia orgánica seca al año, 17.607 L de agua incorporada, bioturbación del suelo y desintegración de la porción de las boñigas no incorporadas en el suelo.

### **Abstract**

Conventional handling of livestock production in Andean regions results in the loss of soil fertility and productive potential. Agroecological practices based on studies that measure and quantify ecological functions to potentiate functional processes and benefit both producer and society must be implemented. Counting the droppings daily colonized by *D. belus* in the Loma Larga farm and the positive changes on pH, total nitrogen and soil microorganisms, observed in experimental fecal units exposed to functional activity, the benefits to owner was stimate. The natural fertilization carried out by the dung beetle implies a reposition comparable to the use of 32,61 dry kg/ha<sup>-1</sup> of nitrogenized fertilized (urea) and

141 dry kg/ha<sup>-1</sup>per year, 17.607 L of water and the destructuring and dehydration of a portion of the dung not incorporated into the soil.

## 6.1 Introducción

Mantener la fertilidad de suelos ganaderos en la región andina, representa un desafío, no solamente en aspectos tecnológicos, también en otras variables culturales y ecosistémicas (Fonte et al., 2012). Además de la poca vocación productiva que naturalmente poseen (pendientes elevadas, susceptibilidad a la erosión, compactación y poca profundidad efectiva), se suman dificultades de acceso y financieras para implementar prácticas convencionales, como el mejoramiento genético, fertilización química y pastoreo en monocultivo, que aun así han resultado ser poco efectivas (Mantilla et al., 2001; Mahecha et al., 2002; Murgueitio & Ibrahim, 2009; FAO, 2011).

Una de las dificultades para adaptar tecnologías acordes con las particularidades de la región, fundamentadas en la conservación y uso de la biodiversidad, radica parcialmente en la falta de conocimiento de las especies presentes en los agroecosistemas y su importancia funcional para facilitar procesos ecológicos que facilitan la producción de alimentos. Un mejor conocimiento de la agrobiodiversidad y de su papel como moduladora de la productividad, puede impulsar a los propietarios a tomar acciones, de bajo costo, para desarrollar sistemas ganaderos más biodiversos y sustentables (Murgueitio & Calle, 1999; FAO, 2011).

Al introducir materia orgánica en el suelo, los escarabajos coprófagos, de la subfamilia Scarabaeinae, inician una “cascada” de reacciones de transformación de corto y mediano plazo en las que intervienen muchos de sus componentes, los cuales contribuyen sustancialmente a mejorar sus propiedades biológicas, químicas y físicas (Holter, 1979; Lavelle et al., 1993, Lavelle & Spain, 2001). Esto los hace organismos funcionalmente importantes en los agroecosistemas (Halffter & Matthews, 1966).

Durante la evaluación de la incorporación de estiércol bovino en el suelo en agroecosistemas ganaderos de La Vega y Nocaima, Cundinamarca (ver Capítulo 5), *Dichotomius belus* Harold resultó ser la especie más importante en densidad y biomasa. Específicamente, para la finca Loma Larga la densidad fue calculada en 20,15±19,84 ( $\bar{x}$ ±DE) individuos/masa fecal de 1.000 gr y biomasa en 36.238,96±35.681 mg/masa fecal (n=20).

Esta observación y las consideraciones teóricas expuestas permiten plantear las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el impacto de *D. belus* sobre la incorporación de estiércol bovino en el suelo en los potreros de la Finca Loma Larga? ¿Cuáles son los cambios cuantitativos en el pH, contenido de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y actividad de *Rhizobium* sp., *Azotobacter* sp., bacterias y hongos mesófilos o de vida libre, en los suelos expuestos a dicha actividad, con respecto a tratamientos control donde los escarabajos coprófagos fueron excluidos? ¿Cuánto

beneficio recibiría el productor, en forma de fertilización biológica por dicha actividad funcional?

## 6.2 Materiales y métodos

### 6.2.1 Área de estudio

El estudio fue desarrollado en la Finca Loma Larga, ubicada en la vereda del mismo nombre en el municipio de Nocaima (Cundinamarca, Colombia) (ver Figura 1-2), entre 1.000 y 1.100 m de altitud, zona de vida bosque húmedo tropical (bh-PM) según Holdridge. El régimen de lluvias es bimodal, presentando pico máximo en el mes de octubre, temperatura media anual de 24°C y precipitación media anual de 1.760 mm (IGAC, 1985).

La finca de 38 ha fue reconvertida a usos ganaderos en el 2009, inicialmente dedicada al cultivo de caña de azúcar. En la actualidad, 24 ha son pasturas y 14 ha son pequeños parches de vegetación secundaria y bosques de galería. Los potreros fueron sembrados con braquiaria y enriquecidos con 20.000 árboles de leucaena, de los cuales se conservan en la actualidad menos de 20 ind//ha<sup>-1</sup>, con inclusiones de maní forrajero (*Arachis pintoi* Krapov & Greg.) en áreas menos pendientes (ver Capítulos 3 y 4).

La finca mantiene un rebaño regular de 90-100 UG de la raza Bragus. El sistema de rotación de los potreros (1/2 ha en promedio) es intensivo, con periodos de ocupación de 24 h y periodos de descanso de 30-40 días (que pueden variar según la estación y las condiciones de la pastura). La productividad es de 2 kg de materia fresca de forraje/m<sup>2</sup> en época de lluvias. Se usan dos aplicaciones obligadas de Ivermectina (Ivomec®) para el control de parásitos, al nacimiento y al destete de la vaca, en una dosis de 1 mL/50 kg<sup>-1</sup> de tejido vivo.

### 6.2.2 Caracterización de suelo

La información inicial sobre suelos se obtuvo a partir del “Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca” (IGAC, 1985a; b). Sirvió de base para un chequeo posterior realizado con barreno hasta 1,2 m de profundidad en seis sitios dentro del área de estudio, observación de taludes y apertura de dos cajuelas de muestreo de 20x20x20 cm. Los cateos con barreno incluyeron datos de profundidad, textura, color en húmedo y reacción al fluoruro de sodio (NaF). En las cajuelas se realizaron observaciones de estructura, porosidad y compactación. El pH del horizonte Ap (agrícola) fue determinado mediante un kit para evaluaciones en campo (LaMotte, serie STH-4). Se tomó una muestra compuesta en cuatro (4) puntos localizados a 20 m y equidistantes

dentro del área experimental en el lote Brujas II, para realizar la caracterización edafológica del suelo en laboratorio<sup>49</sup>.

### **6.2.3 Fenología de *D. belus***

Durante octubre de 2019 y noviembre de 2020, en el lote Brujas II, fueron instaladas mensualmente cuatro trampas de caída (pitafall) (ver Capítulo 3 para especificaciones). Conociendo los hábitos nocturnos de la especie, las trampas permanecieron activas 14 horas, de las 5:30 pm a 7:30 am de la mañana siguiente. Los sitios de instalación se modificaron en algunas oportunidades debido al ciclo rotativo del ganado dentro de los potreros del lote, pero estuvieron ubicados dentro de un radio de 200 m. La evaluación mensual fue realizada durante la primera semana del mes.

### **6.2.4 Estudios semi-experimentales de evaluación de la actividad funcional de *D. belus***

#### **Colonización de boñigas**

Durante octubre y noviembre de 2019, se seleccionaron cuatro potreros donde se contaron las boñigas excretadas diariamente. Fueron geo-referenciadas individualmente (GPS Garmin 60CS), determinando las siguientes variables: 1) *consistencia*, adaptando la clasificación de Flechtmann et al. (1995a), para edades de las boñigas y evaluando porcentaje de humedad por categoría; 2) *peso*, expresado en kg, usando balanza romana x 25 kg (Tabla 6-1). La actividad funcional fue determinada por observación de suelo excavado, presencia de escabajos y/o conteo de galerías. Se evaluó la proporción de boñigas con alguna evidencia de actividad funcional y se clasificaron según las variables mencionadas.

---

<sup>49</sup> Laboratorio de Suelos Dr. Calderón, asistencia técnica agrícola. [www.drcalderonlabs.com](http://www.drcalderonlabs.com)

**Tabla 6-1:** Categorías de clasificación de boñigas en la finca Loma Larga (Elaboración propia).

Variables	Categoría	Descripción
Consistencia	MF <sub>1</sub>	<b>Masa fecal con consistencia 1:</b> entre 0 y 24 h de ser excretada, sin costra superficial y/o rehumedecida por lluvia, humedad entre el 95-88%.
	MF <sub>2</sub>	<b>Masa fecal con consistencia 2:</b> entre 24-72 h de ser excretada, con costra fina, humedad entre el 87-72%.
	MF <sub>3</sub>	<b>Masa fecal con consistencia 3:</b> entre 60-120 h de ser excretada, con costra significativamente más rígida, humedad entre el 71-68%.
	MF <sub>4</sub>	<b>Masa fecal con consistencia 4:</b> con más de 90 h de ser excretada, con costra totalmente rígida y humedad menor del 68%.
Peso*	L	<b>Livianas:</b> (100-500 gr]
	R	<b>Regulares:</b> (500-1.500 gr]
	P	<b>Pesadas:</b> (1.500-3.500 gr]

\*La variable peso solo fue evaluada en dos potreros

## Estimación de la importancia funcional de *D. belus*

A partir del número de boñigas colonizadas por *D. belus* en los potreros diariamente, el número de boñigas clasificadas en livianas (500 gr), regulares (1.000 gr) y pesadas (2.500 gr) y la cantidad de estiércol bovino seco incorporado en masas fecales experimentales de 1.000 gr en la finca Loma Larga (Tabla 5-1), se estimó la cantidad de kg de estiércol bovino seco que los escarabajos coprófagos podrían incorporar anualmente en sus suelos.

## Incorporación de estiércol bovino y su efecto sobre propiedades químicas y biológicas del suelo

Durante la misma temporada, se planteó un diseño unifactorial completamente al azar y balanceado de 27 unidades de muestreo, dividido en tres tratamientos y nueve repeticiones dispuesto en forma de grilla. El diseño ocupó un área de 125,44 m<sup>2</sup> para tratar de controlar la alta heterogeneidad y variabilidad de los suelos (Farley & Fitter, 1999; Manzoni & Porporato, 2009) (Figuras 6-2A y 6-2B). Se describen a continuación los tratamientos:

**Tratamiento T1;** suelo bajo masas fecales bovinas de 500 gr expuestas a la colonización natural de escarabajos coprófagos por 72 h (tiempo estimado para el arribo, colonización y realización de la actividad funcional). El estiércol bovino fue recogido del potrero donde el rebaño había defecado 24-40 h antes del experimento, homogeneizado en consistencia blanda (81,16 ± 1,48% de humedad; categoría 3 según Bavera & Peñaford, 2006) y depositado en la superficie del suelo (Figura 6-2C). La muestra para análisis se tomó entre los 5 y 20 cm de profundidad.

**Tratamiento T2 control positivo;** suelo bajo masas fecales con características similares, pero excluyendo a los escarabajos coprófagos (u otros artrópodos). Para ello la masa fecal (y el suelo bajo y alrededor de ella) se cubrió con una estructura o trampa de exclusión circular de plástico de 32 cm de diámetro x 17 cm de alto (modificada de Rosenlew & Roslin, 2008) envuelta en su lado superior con una tela de tul ajustada con una banda de goma ancha, enterrada a una profundidad de 10 cm en el suelo y fijada al mismo con alambres de metal (Figura 6-2B). La muestra fue tomada a la misma profundidad que T1.

**Tratamiento T3 control negativo;** muestra de suelo representativa, tomada a 0,40 m de distancia y equidistante a los otros dos tratamientos, sin masas fecales ni escarabajos coprófagos. La muestra fue tomada a la misma profundidad que T1 y T2.

Transcurrido el tiempo de exposición a la actividad de *D. belus*, la porción de masas fecales no incorporadas de T1 y T2 (n=18) fue recogidas, pesadas en fresco y conservadas en bolsas herméticas individuales. Se verificó la presencia de individuos y galerías bajo las masas fecales T1 (Figura 6-1C).

El estiércol bovino de T1, introducido por los escarabajos en sus galerías, estuvo expuesto 28 días a condiciones naturales del suelo, determinado en una relación de compensación entre: 1) el tiempo necesario para la formación de fracciones más estables y difíciles de mineralizar (humificación); 2) la rapidez en que ocurren procesos de mineralización de M.O. en suelos ecuatoriales cultivados con braquiaria; 3) la posibilidad de medir trazos de nitrógeno en laboratorio por su alta movilidad en el estiércol (Tisdall & Oades, 1982; Buschbacher, 1987; Sotomayor-Ramírez et al., 2006).

Cumplido el tiempo, el suelo bajo las masas fecales T1 fue separado en monolitos de 70x70x30 cm y asilados por un surco de 15 cm (modificando de Anderson & Ingram, 1993) (Figura 6-1E). Luego de los primeros 5 cm del suelo, retirado para evitar contaminación y permitir comparaciones fiables entre tratamientos, se identificaron las entradas de las galerías, cuyo diámetro es un buen indicador de la identidad de la especie y se siguieron sus trayectorias centímetro a centímetro, despejando el suelo cada 5 cm hasta llegar al final de las mismas. Con una microcuchara de laboratorio se realizó un raspado del contenido en el interior de las galerías para extraer la mezcla de material orgánico-mineral presente, tanto en la cavidad como en la superficie de sus paredes (Figura 6-1F).

Para obtener el suelo correspondiente a los tratamientos T2 y T3 (en el T2 justo debajo de las masas fecales), se obtuvieron las muestras con un soil corer sampler (11/2" x 12") (AMS, Inc.), a una profundidad entre 5-25 cm, eliminando también los primeros 5 cm del horizonte Ap.

El sustrato extraído de las galerías, correspondiente al T1, fue conservado en bolsas herméticas y llevadas al laboratorio<sup>50</sup> para el análisis de las siguientes variables:

---

<sup>50</sup> Laboratorios de Suelos y Microbiología del Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Chía, Cundinamarca, microbiologia.lab@utadeo.edu.co



**Figura 6-1:** Experimento de evaluación de propiedades químicas y biológicas del suelo expuesto a la actividad funcional de *D. belus*. A) Grilla con nueve puntos de muestreo y tres (3) tratamientos evaluados; B) Conjunto de tratamientos; C) Características de la masa fecal (MF) (T1); D) Entradas a las galerías efectuadas por *D. belus*; E) Monolito de suelo aislado; F) Procedimiento de extracción manual del sustrato presente en las galerías (Archivo propio).

**Variables químicas;** 1) pH en agua (1:1); 2) carbono orgánico (CO) a través del método de Walkey Black; 3) materia orgánica (MO) a través de la multiplicación del valor de las fracciones de carbono contenida en la muestra de suelo por el factor de corrección de von Bemmelen (1,72); 4) Nitrógeno total (NT) por el método de Kjeldahl, considerando el nitrógeno orgánico en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) (Sparks et al., 1996).

**Variables microbiológicas;** recuento de unidades formadoras de colonia por gramo (UFC/g) de *Rhizobium* sp. (Rh), bacterias aerobias mesófilas o de vida libre (Bac), hongos mesófilos o de vida libre (Hon) y *Azotobacter* sp. (Az), presentadas en unidades porcentuales, obtenidas mediante la técnica de diluciones seriadas en base 10, siembra en medio de cultivos específicos, incubación y recuento en placa (Sparks et al., 1996).

## **Análisis de la información**

La cantidad de sustrato analizado presente en las galerías construidas por *D. belus* fue más bajo de lo recomendado para realizar pruebas de laboratorio, en cuatro de las nueve repeticiones (mínimo 40 gr de peso fresco para las pruebas microbiológicas), lo que obligó a considerar cinco repeticiones por tratamiento (n=15).

Los resultados fueron valorados mediante estadística descriptiva. Las medias fueron separadas mediante pruebas de análisis de varianza unifactorial (ANOVAs), una vez cumplidos los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro) y homocedasticidad (prueba de Barlett) sobre los residuales de los modelos y se compararon tratamientos mediante los intervalos de confianza (IC) de la prueba de Tukey. Se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para las variables que no cumplieron los supuestos. Se realizaron transformaciones logarítmicas para los datos de conteo de UFC de *Rhizobium* sp., hongos y bacterias mesófilas.

Las variables que tuvieron valores superiores al umbral de significancia ( $\alpha < 0,05$ ), para las pruebas ANOVA y discriminaron los tratamientos (especialmente entre T1 y T2), fueron ajustadas a un modelo lineal multivariante, evaluando el ajuste mediante el coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Luego, una prueba de análisis de varianza de múltiples factores (MANOVA) para verificar la correlación y covarianza de estas variables de forma simultánea, después de la verificación del cumplimiento de los supuestos estadísticos multivariantes sobre los residuales (pruebas de Royston y MBox). Para verificar el efecto del tamaño de muestra y la potencia de las pruebas inferenciales para separar medias, se realizaron las pruebas F de Cohen y  $1-\beta$ eta, respectivamente.

Los análisis fueron realizados en el paquete estadístico R Studio v 4.1.1, usando las librerías dplyr, biotools, MVN, Vegan, lsmmeans, FactoMineR, principalmente, así como G\*Power v 3.1.9.2 para detectar la potencia y efecto del tamaño.

---

## 6.3 Resultados y discusión

### 6.3.1 Caracterización de suelos

Los suelos de la finca Loma Larga, se ubican en un paisaje montañoso de crestones con relieve escarpado y pendientes entre 25-75%. Han evolucionado a partir de rocas clásticas limo arcillosas con intercalaciones de carbonatos en algunos sectores y depósitos localizados de ceniza volcánica, bajo un clima medio húmedo. En general son suelos profundos a ligeramente profundos, bien a excesivamente drenados, con texturas finas a medias, reacción extremada a fuertemente ácida y fertilidad baja (IGAC, 1985).

El sitio del experimento dentro del lote llamado Brujas II presenta un suelo *Humic Dystrudept* con un juego de horizontes Ap/Bw1/Bw2. El horizonte Ap superficial varía entre 20 - 30 cm de espesor y presenta textura arcillosa a franco arcillosa en una relación 60/40 (limo/arcilla); coloraciones pardo a pardo oscuro (10 YR 3/3 a 3/4); estructura moderada a débilmente desarrollada en bloques subangulares gruesos a medios; consistencia friable en húmedo, ligeramente pegajosa y plástica; regulares poros medios y reacción negativa al NaF.

Este horizonte subyace a un Bw1 de 35 cm de espesor, que se extiende hasta 60 - 65 cm de profundidad, de color pardo amarillento oscuro (10YR 4/6-5/6), arcilloso, ligeramente pegajoso y plástico a ligeramente plástico, con abundantes poros finos y reacción negativa al NaF. A partir de esta profundidad, aparece un horizonte Bw1, entre 45 - 55 cm de espesor, de color pardo amarillento (10 YR 5/8); franco a franco arcillo arenoso; poco pegajoso y plástico; firme en húmedo; estructura en bloques subangulares medios fuertemente desarrollada; regulares poros finos y reacción negativa al NaF.

Químicamente son suelos ácidos, con pH valorados entre 5,0 y 5,6, baja a moderada saturación de bases y niveles bajos de capacidad de intercambio de cationes (CIC) (Tabla 6-2). Se presentan niveles excesivos de hierro y zinc y deficientes de fósforo disponible. Aunque no se realizaron análisis específicos de meso o macrofauna, la inspección ocular permitió observar abundante actividad de lombrices de tierra, hormigas, larvas de himenópteros y colémbolos.

**Tabla 6-2:** Análisis del suelo en el lote Brujas II de la Finca Loma Larga (Cundinamarca, Colombia) (Fuente: Laboratorio Dr. Calderón, 2021).

PARÁMETROS							
	meq/100 cc		%	g/cc			
<b>pH</b>	<b>CIC</b>	<b>Sat. bases</b>	<b>Sat. humedo</b>	<b>Dens. aparente</b>			
5,0	6,74	91,10	52,00	1,00			
MICROELEMENTOS							
Ppm							
<b>P</b>	<b>NNO3</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>
2	60	49	571	42	0,70	31,60	0,6
ELEMENTOS							
meq/100 cc							
<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>Al</b>			
0,54	1,07	1,22	3,08	0,60			

Estas características químicas les imprimen a los suelos de la finca una condición de media a baja fertilidad, ratificando los resultados de los estudios de suelos realizados en la región (IGAC, 1985).

### 6.3.2 Fenología de *D. belus*

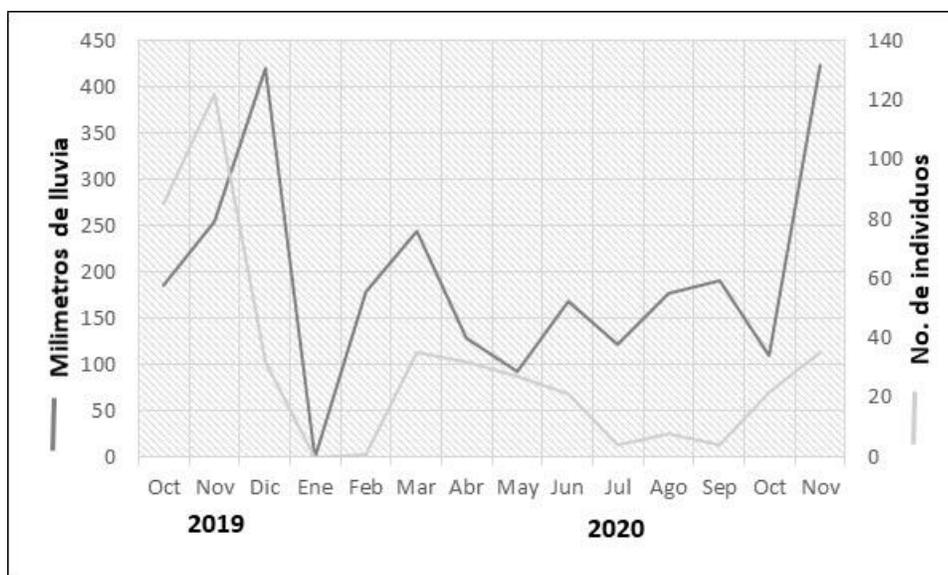
Existe una correlación lineal débil ( $R^2= 0,32$ , según el índice de Pearson) entre la abundancia de *D. belus* y la cantidad de precipitación a lo largo del año de muestreo, sin embargo es claro que existe una relación entre el régimen bimodal de lluvias de la región y la emergencia de adultos en campo y colectados en las trampas de caída (Figura 6-2). La especie presentó un pico poblacional entre octubre y noviembre, al comienzo de la estación de mayores lluvias y disminuyó drásticamente hacia enero, cuando comienza la temporada seca en la región. Hacia marzo aumenta el número de ejemplares, cuando regresan nuevamente las lluvias, que disminuyen nuevamente hacia junio-septiembre, la segunda temporada seca.

Estos datos coinciden con las observaciones realizadas sobre las boñigas. Al iniciar las lluvias de octubre, la especie experimenta una explosión demográfica, siendo quizás la humedad del suelo uno de los factores que disparan la emergencia de adultos, ayudando a debilitar la dura bola de cría donde se desarrollan las larvas (Medina & Quintero, en elaboración). En este periodo se observaron muchos tenerales (adultos jóvenes) alimentándose dentro de las boñigas, iniciando su maduración pre-reproductiva

elaborando galerías poco profundas (Halffter & Matthews, 1966; Halffter & Edmonds, 1982; Edwards & Aschenborn, 1987).

En las siguientes semanas la especie inicia su periodo reproductivo, quizás hasta finales de diciembre, cuando comienza la estación seca. En esta fase elaboran galerías profundas y depositan sus huevos en estructuras de nidificación elaboradas con estiércol, dando inicio a la larga fase de desarrollo larval de hasta nueve meses (Medina & Quintero, en elaboración).

En enero-febrero, principalmente, y junio-julio, los más secos del año, el suelo está muy seco y duro (cuando la mayoría de larvas están creciendo en el suelo), se observó poca actividad de adultos en las boñigas (en tres ciclos anuales que duró la investigación).



**Figura 6-2:** Cambios mensuales en la abundancia de *D. belus*, evaluados y su relación con la precipitación mensual, en los potreros de la finca Loma Larga, según estación pluviométrica local (Fuente: Elaboración propia).

### 6.3.3 Estudios semi-experimentales de evaluación de la actividad funcional de *D. belus*

#### Colonización de boñigas

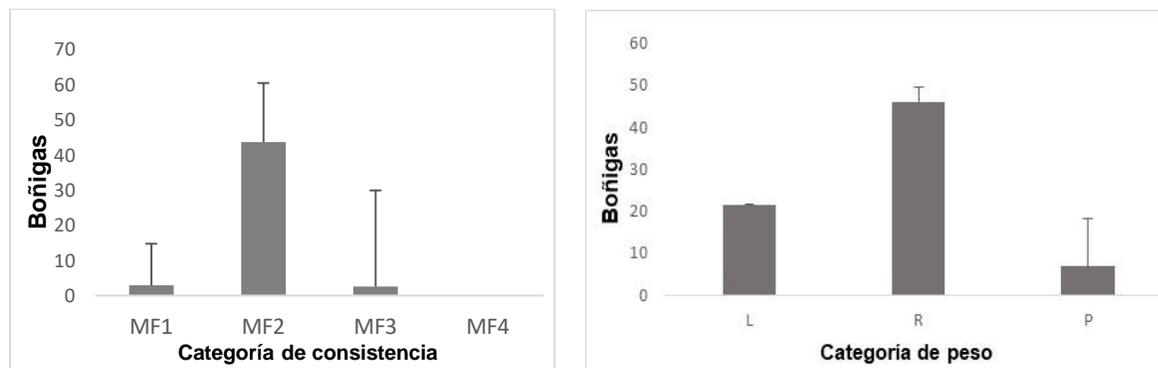
866 boñigas fueron evaluadas en cuatro potreros de  $\frac{1}{2}$  ha (Tabla 6-3). Debido a las fuertes precipitaciones en los días del experimento, uno de los potreros solo fue evaluado hasta la mitad de su extensión, en el que se registraron 182 boñigas, siendo necesario realizar una aproximación de la cantidad ( $=nx2$ ) esperada en los 3.200 m<sup>2</sup> faltantes. Esta

aproximación permitió estimar en promedio 252 boñigas excretadas por el rebaño diariamente.

**Tabla 6-3:** Total de boñigas evaluadas en cuatro potreros de la Finca Loma larga (Fuente: Elaboración propia).

Potrero	Número de Boñigas	Boñigas colonizadas	Superficie evaluada (m <sup>2</sup> )
1	232	92	6.400
2	176	67	6.400
3	182	102	3.200
4	276	60	6.400

La proporción media de boñigas colonizadas por *D. belus* fue de  $0,38\pm 0,08$ , siendo la actividad funcional más frecuente en boñigas con consistencia 2 (MF<sub>2</sub>) y peso regular (R) (Figura 6-3).



**Figura 6-3.** Valores medios (y sus barras de desviación estándar) de las categorías en que las boñigas colonizadas por *D. belus* fueron clasificadas; A) consistencia (n=322); B) peso (n=135) (Fuente: Elaboración propia). Categoría de consistencia MF<sub>1</sub>=consistencia 1, MF<sub>2</sub>=consistencia 2, MF<sub>3</sub>=consistencia 3, MF<sub>4</sub>=consistencia 4; categoría de peso L=livianas, R=regulares, P=pesadas.

Los resultados planteados anteriormente respaldan la decisión de seleccionar masas fecales, con estiércol bovino en consistencia y edad MF<sub>2</sub> (Figura 6-BA), para realizar experimentos de colonización, como los discutidos en el capítulo 5 y en apartados posteriores de este capítulo.

Las condiciones de humedad y edad de estas boñigas MF<sub>2</sub>, también atrajo mayor número de especies asociadas a la descomposición del estiércol en pasturas de braquiaria (*U. decumbens*) en Brasil (Flechtmann et al., 1995b), soportando la idea que la diversidad faunística de escarabajos coprófagos alcanza su máxima expresión durante los primeros

días de su exposición a la sucesión ecológica, siendo la humedad el principal factor conductor (Hanski, 1980; Lumaret & Kirk, 1991; Palestini et al., 1995).

El tiempo que el estiércol bovino es atractivo para la fauna de escarabajos coprófagos está relacionado con su “capacidad” de dispersar el olor, resultado de la emisión de ácidos grasos volátiles, compuestos aromáticos, sulfuros y aminas/amonios, principalmente, productos de la fermentación anaeróbica parcial de los compuestos orgánicos presentes en este estiércol fresco. A su vez, es afectado por el contenido de agua, que aumenta la solubilidad de los compuestos y su disponibilidad para los microorganismos (Dormont et al., 2010; Miller & Varel, 2011). Cuando la boñiga se va cubriendo con una costra gruesa, debido a la exposición al sol y su interior se envejece perdiendo su calidad nutritiva (Figuras 6-4C y 6-4D), son atraídos menos individuos de *D. belus* (Ridsdill-Smith, 1991; Gittings & Giller, 1998; Errouissi et al., 2004).

Si la boñiga tiene exceso de humedad, superior al 88% en aquellas clasificadas como MF<sub>1</sub> (Figura 6-4A y 6-4E) también limita su atraktividad. Cantidades elevadas de agua en las masas fecales podrían ser “percibidas” por los adultos como “inapropiadas” en sus procesos de nidificación, por su facilidad de contaminación fúngica (Halffter & Edmonds, 1982; obs. pers. de la autora) y por la dificultad de construir estructuras reproductivas cuando el estiércol presenta una consistencia pastosa (consistencia 2 Bavera & Peñaford, 2006).



**Figura 6-4:** A) Boñigas con consistencia MF<sub>1</sub>; B) Boñigas MF<sub>2</sub>, donde se observan individuos de *D. belus* colonizando; C) Boñigas MF<sub>3</sub>; D) Boñigas MF<sub>4</sub>; E) boñigas MF<sub>1</sub> excretadas 24 h antes y rehumedecidas por la lluvia; F) boñiga desestructurada y parcialmente incorporada en el suelo (Archivo propio).

### Efecto poblacional de la actividad funcional de *D. belus*

Aproximadamente 95 boñigas son colonizadas diariamente por *D. belus* en la finca Loma Larga, lo que representaría 35.029 boñigas incorporadas total o parcialmente al suelo. Adicionalmente, si el 27,33% de las boñigas colonizadas eran livianas, 57,86% tenían un peso regular y 14,81% eran pesadas (en 135 boñigas en las que se registró esta variable) y considerando que, en promedio, 89,47 gr de estiércol bovino fue incorporado en masas

---

fecales de 1.000 gr, se podrían estimar 3.402 kg de estiércol bovino seco incorporados anualmente en toda la finca o 141 kg/ ha<sup>-1</sup>.

Considerando que 1.000 gr de estiércol bovino seco puede contener en media 106 gr/kg<sup>-1</sup> de nitrógeno total (Christensen & Sommer, 2013), esta fertilización natural periódica sería equivalente a la adición anual de 782,73 kg de urea<sup>51</sup> en toda la finca o 32,61 kg/ha<sup>-1</sup>.

Para contrarrestar la deficiencia en nutrientes en los suelos de la finca (ver Tabla 6-2), los expertos en productividad de suelos<sup>52</sup> aconsejaron al propietario adicionar materia orgánica y urea en dosis de 105 kg/ha<sup>-1</sup> y 100 kg/ha<sup>-1</sup>, respectivamente, al momento de sembrar leucanea y/o mantener una buena productividad de sus pasturas. *D. belus* podría estar contribuyendo a suplir más de la dosis de materia orgánica recomendada y la tercera parte de compuesto nitrogenado.

Además, ingresan al suelo aproximadamente 17.607 L de agua al año, valor calculado a partir del número de boñigas livianas, regulares y pesadas que podrían incorporar los escarabajos coprófagos, el porcentaje promedio de incorporación de estiércol bovino (56,74%, Tabla 5-1) y su porcentaje de agua (82%) (en aquellas clasificadas como MF<sub>2</sub>). Otras beneficios de esta actividad funcional son la desestructuración de la porción de boñiga que no es incorporada (Figura 6-4F) (ver Capítulo 5) y bioturbación del suelo al elaborar sus galerías (Tysdall & Oades, 1982; Manzoni & Porporato, 2009).

### **Incorporación de estiércol bovino y su efecto sobre propiedades químicas y biológicas del suelo**

La distribución de los datos, presentados en las Tablas 6-4 y 6-5 y Figura 6-4, para los tres tratamientos y las variables analizadas, muestra que los valores de las medianas de pH, carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, *Rhizobium* sp., *Azotobacter* sp. y hongos mesófilos, resultaron mayores en T1 con respecto a los tratamientos control. La excepción fue el número de UFC/gr de bacterias mesófilas que fue mayor en T2.

---

<sup>51</sup> La urea es el compuesto nitrogenado de mayor concentración encontrado en el mercado colombiano, que posee 46% de nitrógeno o ácido ureico (Nutrición de Plantas S.A., 2021).

<sup>52</sup> Laboratorio de Suelos Dr. Calderón, asistencia técnica agrícola. Números consecutivos de muestra 56089 de 2010 y 101865 de 2021. [www.drcaalderonlabs.com](http://www.drcaalderonlabs.com)

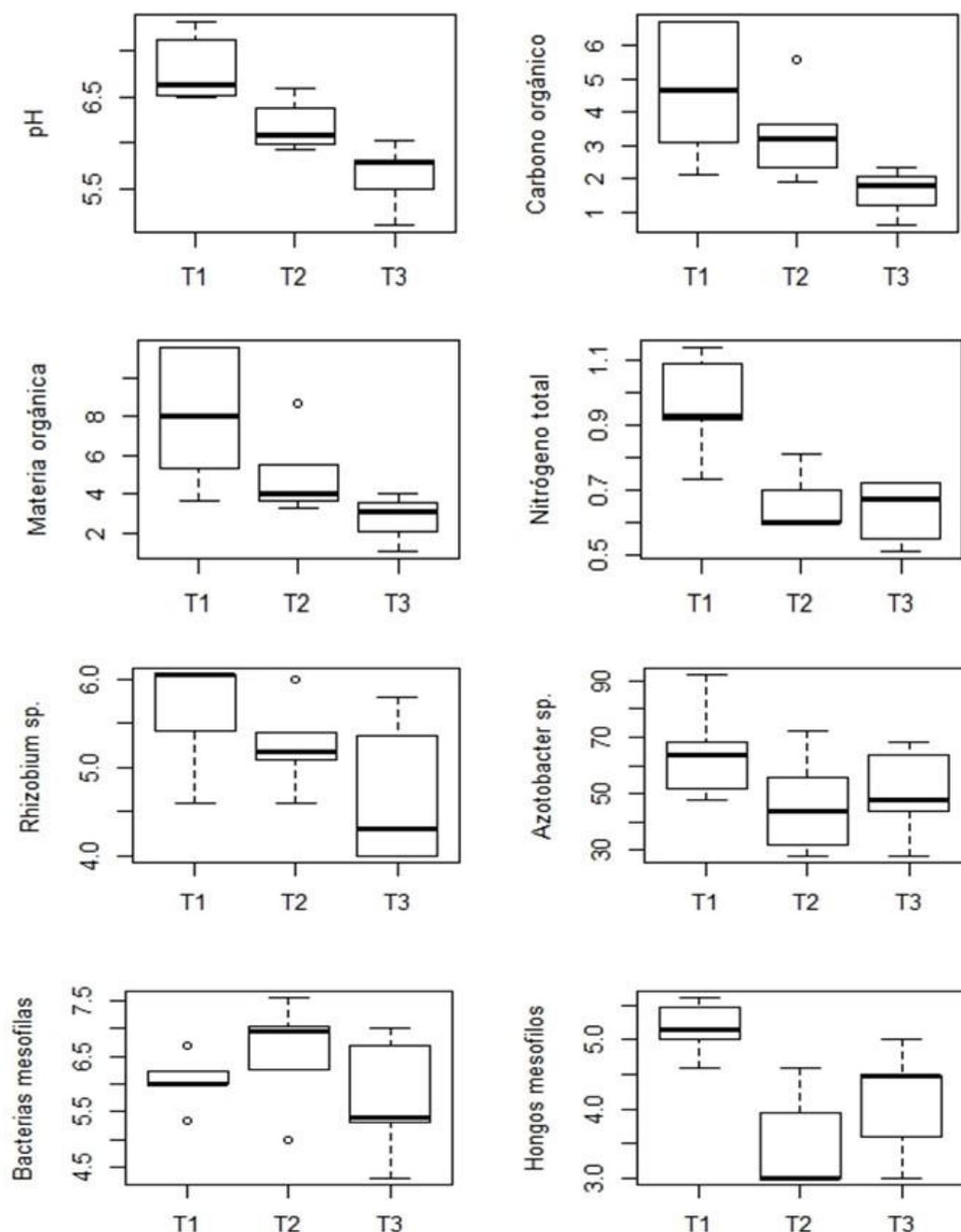
**Tabla 6-4:** Parámetros químicos y biológicos del sustrato presente en las galerías (T1) y del suelo sin la actividad de los escarabajos coprófagos (T2 y T3) en la Finca Loma Larga (Cundinamarca, Colombia) (Fuente: Elaboración propia).

	Variables								
	Sustrato	pH	CO*	MO	NT	Rh	Az	Bac	Hon
<b>T1</b>	134,46	6,63	3,12	5,36	0,73	260.000	52	1.000.000	100.000
	44,3	7,3	4,68	8,05	0,92	1.000.000	64	220.000	400.000
	57,45	6,49	2,13	3,66	0,93	1.000.000	92	1.700.000	300.000
	196,92	6,51	6,7	11,52	1,09	1.000.000	48	1.000.000	40.000
	73,07	7,11	6,7	11,53	1,14	40.000	68	5.000.000	140.000
<b>T2</b>		5,98	3,61	3,61	0,6	1.000.000	32	35.000.000	1.000
		6,37	3,22	5,55	0,59	40.000	44	100.000	9.000
		6,59	1,9	3,27	0,7	150.000	56	1.800.000	40.000
		5,93	2,35	4,04	0,6	120.000	28	11.000.000	1.000
		6,08	5,6	8,7	0,81	250.000	72	9.000.000	1.000
<b>T3</b>		5,12	0,62	1,07	0,72	20.000	44	20.000	4.000
		5,5	1,78	3,06	0,67	620.000	64	200.000	30.000
		5,8	2,08	3,58	0,72	230.000	48	250.000	100.000
		5,81	1,22	2,1	0,55	10.000	28	10.000.000	30.000
		6,02	2,31	3,98	0,51	10.000	68	5.000.000	1.000

Las pruebas inferenciales aplicadas para discriminar los tratamientos (ANOVAs y Kruskal Wallis con la aplicación de las pruebas *post hoc*) revelaron que los valores de las medias difieren entre tratamientos, en un nivel de significancia superior a 0,05, especialmente para el pH, nitrógeno total y hongos mesófilos en las comparaciones pareadas entre T1 y T2 (Tabla 6-4), los cuales indican efectos positivos en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo cuando los escarabajos introducen el estiércol bovino en el suelo.

El MANOVA analizando las tres variables de forma multivariante, resultaron diferentes en sus medias y su varianzas (pH, nitrógeno total y hongos mesófilos), lo que revela que los efectos de los tratamientos actuaron simultáneamente ( $F_{2,20} 4,43$   $\lambda Wilks = 0,11$   $p = 0,04$ ), en una correlación lineal positiva fuerte ( $R^2 = 0,65$ ).

Las pruebas para evaluar el efecto del tamaño de la muestra y la potencia de las pruebas inferenciales indicaron que las diferencias entre las medias de los tratamientos, en la mayoría de los casos, fueron muy superiores al nivel de significancia del 0,05 y la probabilidad de cometer error tipo II casi inexistente ( $FCohen > 1,76$  y  $1 - \beta > 0,99$ ).



**Figura 6-5:** Diagramas de caja representando la distribución de los datos (asimetría, dispersión en torno a la mediana, rango intercuartílico) comparando los tratamientos T1 (suelo con actividad), T2 (sin actividad) y T3 (sin actividad y sin masas fecales) en todas las variables de suelo analizadas. Los valores de nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica están representados en unidades porcentuales y *Azotobacter* sp., *Rhizobium* sp., bacterias y hongos mesófilos en UFC/gr, con datos transformados ( $\text{Log}_{10}X$ ).

Estos resultados permiten concluir que la actividad que realizan los escarabajos coprófagos al remover el estiércol bovino de los potreros, incorporarlos en el suelo dentro de sus galerías y transformarlo en parte de su bioestructura, mejora los valores de pH, nitrógeno total y microorganismos del suelo, especialmente *Rhizobium*, *Azotobacter* y hongos mesófilos, con respecto a los tratamientos control, en la finca Loma Larga, región de los Andes de Colombia.

Cuando el estiércol bovino fue introducido a las galerías, presenta consistencia MF<sub>2</sub> (categoría 3 según Bavera & Peñaford, 2006) y coloración verde oliva amarillosa (5Y 6/6-6/8). Una vez en el interior de las galerías, se adhirieron pequeñas partículas de suelo desprendidas durante la fracturación mecánica de sus capas laminares y sellado de paredes, deyecciones de escarabajos coprófagos y lombrices habitando galerías, después de su construcción (Figura 6-6A). Esta mezcla rica en energía y nutrientes contribuyó a que microorganismos participaran, por un lado, en la mineralización del nitrógeno (de ahí el aumento de *Azotobacter* y *Rhizobium*) y, por otro, en procesos de humificación y bioagregación (Tisdall & Oades 1982). Esto resultó, al final del tiempo de exposición, en un sustrato grumoso, de coloración pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6-5/6) y poco soluble en agua, típico de la M.O. (Figuras 6-65B y 6-6C) (Primavesi, 1980; Cambardella & Elliot, 1992). Ello estaría explicando los mayores niveles de hongos mesófilos, microorganismos que participan de sus procesos de degradación (Guo et al., 2019).

En un proceso más avanzado, se esperaría que ciertas fracciones húmicas más estables se mineralizaran, liberando nutrientes para la disposición y crecimiento de las pasturas, en ciclos rápidos de descomposición<sup>53</sup>.

La fertilidad de estos suelos dependería del balance entre los procesos de mineralización del nitrógeno y del carbono, principalmente y la humificación de la M.O., afectada directamente por la actividad microbiana y mediada por la actividad funcional de los escarabajos coprófagos (Verhoef & Brussaard 1990; Li et al., 2019).

Los múltiples efectos positivos observados sobre las propiedades evaluadas (pH, nitrógeno total y hongos mesófilos), serían el resultado de la función ecosistémica que realiza *D. belus*, incorporando estiércol bovino al suelo.

Estos hallazgos concuerdan con lo registrado en varios estudios, bajo condiciones controladas que muestran que dicha actividad funcional aumenta el pH del suelo, concentración de elementos químicos esenciales para la nutrición de las plantas como N, P, K, Ca, C, y Mg y porcentajes de microorganismos descomponedores (Bornemissza &

---

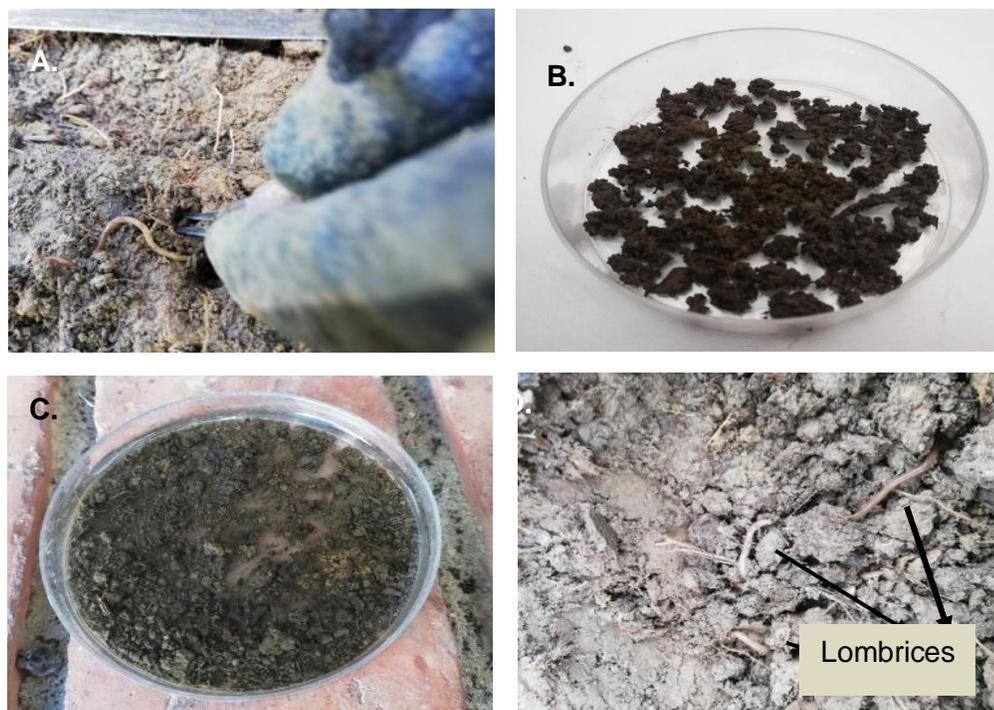
<sup>53</sup> La revisión galerías bajo otras masas fecales expuestas al ataque, revisadas 71 días después de su instalación (no se realizaron análisis en laboratorio), mostró que el material presente dentro de las galerías ya no mostraba ninguna distinción visual del suelo arcilloso circundante, pero había alta abundancia de lombrices grandes y capullos (Figura 6-6D). Bajo ciertas condiciones las lombrices pueden consumir rápidamente la M.O. (Lavelle et al., 2004), lo que permitiría asumir que el ciclo de descomposición, presente en las galerías, sería muy rápido.

Williams 1970; Yokohama et al. 1991; Mittal 1993; Galbiati et al. 1995; Yamada et al. 2007; Doube 2018). Esto puede verse reflejado en una mayor proporción de elementos dentro del tejido de la planta, proporcionando una mejor digestibilidad y/o mayor productividad de las gramíneas sujetas a experimentación (Bang et al. 2005; Doube 2018). Como consecuencia de la construcción de galerías e incorporación de grandes cantidades de agua, contenida en las boñigas, estos suelos contienen altas concentraciones de humedad y mejores condiciones de permeabilidad y densidad aparente (Bang et al. 2005; Brown et al. 2010; Doube 2018).

**Tabla 6-5:** Valores de las medias ( $\bar{x}$ ) y varianzas (SD), estadísticos de prueba para contraste de hipótesis e intervalos de confianza (IC) mediante prueba de Tukey para las variables del suelo analizadas en cada comparación de los tres tratamientos, T1 (suelo con actividad de escarabajos), T2 (sin actividad) y T3 (sin actividad y sin masas fecales). Cuando los intervalos de confianza (IC) contienen el 0, no se presentan diferencias entre tratamientos.

Variables	$\bar{x} \pm SD$	Prueba	Comparación pareada	IC inferior	IC superior
pH	T1: 6,81±0,32	F14,92**	T1-T2	-1,18	-0,05
	T2: 6,19±0,28		T1-T3	-1,72	-0,59
	T3: 5,63±0,35		T2-T3	-1,107	0,02
NT	T1: 0,96±0,12	F11,11*	T1-T2	-0,50	-0,09
	T2: 0,66±0,07		T1-T3	-0,32	-0,53
	T3: 0,63±0,08		T2-T3	-0,23	0,18
MO	T1: 8,02±2,81	F5,20*	T1-T2	-3,87	1,21
	T2: 5,03±1,67		T1-T3	-5,60	-0,52
	T3: 2,75±0,93		T2-T3	-4,27	0,80
CO	T1: 6,66±1,63	F5,50*	T1-T2	-7,23	1,25
	T2: 3,33±1,01		T1-T3	-9,51	-1,01
	T3: 1,602±0,54		T2-T3	-6,52	1,97
Hon	T1: 5,14±0,29	F6,37*	T1-T2	0,08	7,61
	T2: 3,45±0,61		T1-T3	-1,37	6,23
	T3: 3,98±0,64		T2-T3	-5,18	2,41
Rh	T1: 5,56±0,49	F2,39			
	T2: 5,21±0,35				
	T3: 4,58±0,70				
Az	T1: 64,80±12,16	F1,58			
	T2: 46,40±14,08				
	T3: 50,40±12,48				
Bac	T1: 6,02±0,32	W10,4			
	T2: 6,42±0,74				
	T3: 5,56±0,88				

Variables: NT= Nitrogeno total, CO= Carbono orgánico, MO= materia orgánica, Hon= hongos mesófilos, Rh= *Rhizobium sp.*, Az= *Azotobacter sp.*, Bac= bacterias mesófilas (Bac). Códigos de significancia 0 \*\*\*\*, 0,001 \*\*\*, 0,05\*\*, 0,1' .



**Figura 6-6:** A) Presencia de lombrices en las galerías construidas por *D. belus*; B) Material grumoso retirado de las galerías; C) Grumos diluidos en agua por 20 h sin perder su estructura floculada; D) Profusión de lombrices grandes saliendo de las galerías, 71 días después de iniciar el experimento (Archivo propio).

Los porcentajes de C.O. y M.O. y número de UFC de *Rhizobium* sp., observados en T2, fueron menores que aquellas T1 y menos de suelos que T3 (aunque se observaron diferencias estadísticas en la comparación T1-T3 de *Rhizobium* sp., como lo indican los intervalos de confianza presentados en la Tabla 6-5). Estos resultados, no esperados, pudieron ser consecuencia, tanto la translocación de compuestos orgánicos presentes en las masas fecales del T2 hacia capas más profundas del suelo, favorecido por abundante precipitación durante los días del experimento, como por las texturas relativamente medias a gruesas del juego de horizontes (Buschbacher, 1987).

Existe también la probabilidad que la actividad de las lombrices al introducir estiércol bovino en el suelo bajo las masas del T2 haya modificando los niveles de carbono y la relación microbiana, especialmente en *Rhizobium* sp. Esto demuestra que otros macroinvertebrados del suelo, especialmente lombrices, jugarían un papel tan importante como *D. belus* en la deestructuración del estiércol bovino, formación de la bioestructura del suelo y/o su fertilidad bajo las particularidades de estudio (Holter, 1979; Lavelle & Spain, 2001; Rosenlew & Roslin, 2009).

Muchos estudios que evalúan la diversidad del suelo, utilizan el protocolo estandarizado TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), desarrollado por Anderson & Ingram (1993), que

permite comparar la riqueza, densidad y biomasa de macro invertebrados edáficos habitando suelos tropicales. Es una metodología muy utilizada y apreciada por los biólogos del suelo. Dos ejemplos en el país lo demuestran: Feijoo et al. (1999), usando los monolitos de dicho protocolo, en un potrero de braquiaria (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick)), en la cuenca del río Cabuyal (Valle del Cauca), encontraron una biomasa total de macroinvertebrados de 73,4 mg/m<sup>2</sup>, siendo la lombriz *Periscolex corethrarus* L., la más abundante, con el 77,9% del total, seguida del orden Coleoptera con el 16%. Pardo-Locarno et al. (2017), en un sistema silvipastoril de leucaena, pasto estrella y guinea, en la finca El Hatico (Valle del Cauca), durante la estación de lluvias, encontraron en cuatro (4) monolitos (0,071 m<sup>3</sup> en total), 112 lombrices, dos (2) coleópteros y cuatro (4) individuos clasificados como Otros, equivalente a una biomasa de 12.409, 0,892 y 8.532 mg/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Ambos estudios con esta metodología muestran que el número de lombrices por área y su biomasa superan a los coleópteros, en una relación de 50:1. En el caso de la metodología planteada en este estudio, aunque se consideraron nueve (9) monolitos y se separaron capas de 5 cm para sustraer el material órgano-mineral presente en las galerías elaboradas por *D. belus*, no se sistematizó la abundancia de macroinvertebrados asociados al suelo presente dentro de la unidad de muestreo, por razones de logística y otras limitaciones del estudio pero, fundamentalmente, por el interés de evaluar únicamente el efecto de esta especie en las propiedades biológicas y químicas del suelo. Para responder las preguntas de investigación, se modificó la metodología de Anderson & Ingram (1993), direccionada a coleccionar únicamente el suelo que estuviese afectado por la actividad de *D. belus* dentro de las galerías elaboradas en el área correspondiente al monolito y complementarla con la estimación de la importancia de la especie en los potreros de la finca, a partir de las boñigas colonizadas diariamente.

Los altos valores de densidad y biomasa de *D. belus*, usando como unidad de muestreo masas fecales experimentales de 1.000 gr, muy superior a la biomasa de todas las lombrices encontradas en los estudios de Feijoo et al., (1999) y Pardo-Locarno et al., (2017), corrobora la idea que este método de colecta, junto con las trampas de caída con cebo, ofrece muchas posibilidades para el estudio de la diversidad, estructura y biomasa de escarabajos coprófagos (Lobo et al., 1988; Villarreal et al, 2004; Roslin & Heliövaara, 2007). La preferencia de los investigadores que estudian estas especies por métodos de colecta activos (conteniendo cebos atractivos como excremento o material en descomposición), radica en el comportamiento de forrajeo tan selectivo de estas especies y en la distribución parchada de su recurso alimenticio, especialmente de boñigas excretas por el rebaño bovino en el potrero (Halffter & Matthews, 1966; Peterson et al., 1956).

Por otro lado, a pesar de reconocer, mediante una revisión exhaustiva de la literatura, los beneficios derivados de la actividad funcional realizada por los escarabajos coprófagos en el suelo, Nichols et al., (2008) resaltan la dificultad de evaluar independientemente sus funciones ecosistémicas, debido a los efectos confundidores de variables no controladas y/o correlacionadas. En este caso, el diseño experimental propuesto y el número de réplicas tomadas, aunque aplicado en un espacio muy pequeño del lote Bujas II permitieron cubrir la heterogeneidad especial de su suelo y generaron valores muy altos en las pruebas de efecto de tamaño y potencia, confirmando los efectos positivos de *D. belus* en el suelo.

El argumento de Nichols et al. (2008), sin embargo, entraña una posición epistemológica que sería importante reconsiderar. La dificultad de evaluar las funciones que realizan los escarabajos coprófagos, desde una visión reduccionista, radica no solamente en los problemas metodológicos que implican este tipo de estudios, sino la complejidad del sustrato en el que se desarrollan la mayoría de las especies. Primavesi (1980), Nannipieri et al., (2013), Sánchez et al., (2012) y Lavelle et al., (2016) comparan al suelo con un ser vivo, un cuerpo complejo, dinámico y auto-organizado, cuyas “partes”, tanto orgánicas, como no-orgánicas, vivas como no vivas, íntimamente relacionadas y difícilmente disgregadas, interactúan en múltiples niveles para su síntesis y funcionamiento. La incorporación de materia orgánica sería un “disparador” de muchos procesos funcionales en los que estas especies participan, que suceden de forma simultánea y se traducen en efectos positivos sobre su fertilidad.

## 6.4 Conclusiones

En este trabajo se evalúa la importancia de la actividad funcional del escarabajo coprófago nativo *Dichotomius belus* Har. en la incorporación de nutrientes en el suelo, contenidos en el estiércol bovino, bajo procesos de colonización natural. Específicamente, estima cuantitativamente los beneficios que esta actividad funcional representa para el propietario de la finca Loma Larga y determina los mecanismos a nivel microlocal, mediados por esta especie, que permite el ingreso de M.O. al ciclo de descomposición y ciclaje de nutrientes en el suelo, con cambios evidentes en sus propiedades químicas y biológicas.

Con cautela y cierto grado de incertidumbre, considerando el escenario de acción continua, la reducción poblacional en época de menores lluvias y el efecto de otras variables no analizadas sobre la actividad funcional, estas cifras podrían ser usadas y adaptadas para generar estimativos que permitan evaluar la importancia de la agrobiodiversidad. Estas cifras podrían ser usadas para realizar estimaciones confiables de impacto que las poblaciones de escarabajos coprófagos, con características biológicas y comportamentales similares, sobre la fertilidad del suelo en agroecosistemas ganaderos de la región andina.

Los resultados de estos experimentos ratifican la importancia de los escarabajos coprófagos en el funcionamiento de los agroecosistemas ganaderos en la región de los Andes colombianos, por lo que es importante considerarlos como aliados de la producción ganadera. Un alto grado de fertilización biológica del suelo sería resultado de un manejo agrobiodiverso del agroecosistema, facilitado por una adaptación de tecnologías agropecuarias convencionales a las realidades y necesidades del productor.

Un mayor conocimiento de las funciones ecosistémicas que realizan las especies, sus ciclos fenológicos, ciclos de vida y la evidencia de sus beneficios económicos (los llamados Servicios Ecosistémicos según la Economía Ambiental), podría cambiar las percepciones del ganadero e incentivarlo a realizar un manejo más consciente de sus agroecosistemas. Por ejemplo, realizar una planificación sistemática de las aplicaciones obligadas de

Ivermectina u otros medicamentos antiparasitarios, considerando periodos de menor actividad poblacional. Esto podría disminuir el impacto de uso y garantizar sus funciones ecosistémicas que estas especies realizan. Por ejemplo, en el caso de *D. belus*, evitar el uso de Ivermectinas entre octubre-diciembre y si es necesario desparasitar durante esa época, usar medicamentos con otros principios activos o recurrir a medicina veterinaria alternativa.

## 6.5 Bibliografía

Anderson, J.M. & Ingram, J.S.I. (1993). Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. CAB International. Oxford.

Bang, H.S.; Lee, J.H.; Kwon, O.S.; Na, Y.S. & Jang, W.H. (2005). Effects of paracoprid dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) on the growth of pasture herbage and on the underlying soil. *Applied Soil Ecology* 29, 165–171.

Bang, H.S.; Na, Y.E; Jung, M. P.; Kim, M.H.; Han, M.S.; Kang, K.K. & Lee, D.B. (2009). Interaction between earthworms and dung beetles on cattle dung decomposition. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 28(3), 238-242.

Bavera, G.A. & Peñaford, C.H. (2006). Lectura de la bosta del bovino y su relación con la alimentación, Cursos PBC. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/61-heces\\_del\\_bovino\\_y\\_relacion\\_con\\_la\\_alimentacion.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/61-heces_del_bovino_y_relacion_con_la_alimentacion.pdf)

Bertone, M.A. (2006). The contribution of tunneling dung beetles to pasture soil nutrition. *Forage Grazin*. 10.1094/FG-2006-0711-02-RS

Bornemissza, G.F. & Williams, C.H (1970). An effect of dung beetle activity on plant yield. *Pedobiology* 10, 1-7.

Brown, J.; Scholtz, C.H.; Janeau, J.L.; Grellier, S. & Podwojewski, P. (2010). Dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) can improve soil hydrological properties. *Applied Soil Ecology*. doi:10.1016/j.apsoil.2010.05.010

Buschbacher, R.J. (1987). Cattle productivity and nutrient fluxes on an Amazon pasture. *Biotropica* 19(3), 200-207.

Cambardella, C.A. & Elliot, T.E. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science and Society Ammerican Journal* 56, 777-783.

Christensen, M.L. & Sommer, S.G. (2013). Manure characterisation and inorganic chemistry. En: Sommer S.G.; Christensen, M.L.; Schmidt, T. & Jensen, L.S. (Eds.). *Animal manure recycling. Treatment and management*. (pp. 41-66). John Willey & Sons Ltd., West Sussex.

Dormont, L.; Jay-Robert, P.; Bessiere, J.M.; Rapior, S. & Lumaret, J.P. (2010). Innate olfactory preferences in dung beetles. *Journal of Experimental Biology* 213, 3177-3186.

Doube, B.M. (1991). Dung beetles of Southern Africa. En: Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds.). *Dung beetles ecology*. (pp. 133-155). Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Doube, B.M. (2018). Ecosystem services provided by dung beetles in Australia. *Basic Applied Ecology* 26, 35-49.

Edwards, P.B. & Aschenborn, H.H. (1987). Patterns of nesting and dung burial in *Onitis* dung beetles: implications for pasture productivity and fly control. *Journal of Applied Ecology* 24(3), 837-851.

Errouissi, F.; Haloti, S.; Jay-Robert, P.; Janati-Idrissi, A. & Lumaret, J.P. (2004). Effect of the attractiveness for dung beetles of dung pat origin and size along a climatic gradient. *Environmental Entomology* 33, 45-53.

Farley, R.A. & Fitter, H. (1999). Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland. *Journal of Ecology* 87, 688-696.

Feijoo, A.; Knapp, E.B; Lavelle, P. & Moreno, A. (1999). Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. *Pedobiologia* 43, 513-517.

Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO. (2011). *Biodiversity for food and agriculture. Contributing to food security and sustainability in a changing world*. Platform for Agrobiodiversity Research, Roma.

Flechtmann, C.A.H.; Rodrigues, S.R. & Zocoller, M.C. (1995a). Controle biológico da mosca-dos-chifres (*Haematobia irritans*) em Selvíria/MS. 1. Metodologia de seleção. *Revista Brasileira de Entomologia* 39(1), 1-11.

Flechtmann, C.A.H.; Rodrigues, S.R. & Zarate, H.T. (1995b). Controle biológico da mosca-dos-chifres (*Haematobia irritans*) em Selvíria/MS. 2. Análise de massas fecais em campo. *Revista Brasileira de Entomologia* 39(2), 237-247.

Fonte, S.J.; Vanek, S.J.; Oyarzun, P.M.; Parsa, P.; Quintero, D.; Rao, I.M. & Lavelle, P. (2012). Pathways to agroecological intensification of soil fertility management by smallholder farmers in the Andean highlands. *Advances in Agronomy* 116, 125-184.

Galbiati, C.; Bensi, C.; Conceição, C.H.C.; Florcovski, J.L.; Calafiori, M.H. & Tobias, A.C.T. (1995). Estudo comparativo entre besouros do esterco *Dichotomius analypticus* (Mann, 1829). *Ecosistema* 20, 109-118.

Gittings, T. & Giller, P.S. (1998). Resource quality and colonisation and succession of coprophagous dung beetles. *Ecography* 21, 581-592.

Girón, M.; Molina, J. & Aguirre, O.A. (2010). Cambios en las propiedades químicas del suelo con la utilización de *Dichotomius satanas* (Harold, 1967) (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae) en condiciones de invernadero. *Revista de Investigación de la Universidad del Quindío* 21, 43-54.

Guo, J.; Ling, N.; Chen, Z.; Xue, C.; Li, L.; Gao, L.; Wang, M.; Ruan, J.; Guo, S.; Vandenkoornuyse, P. & Shen, Q. (2020). Soil fungal assemblage complexity is dependent of soil fertility and dominated by deterministic process. *New Phytologist* 226, 232-243.

Hafany, H.E.M. & El-Sayed, W. (2012). Soil nutrient as affected by activity of dung beetles, *Scarabaeus sacer* (Coleoptera: Scarabaeidae) and toxicity of certain herbicide on beetles. *Journal of Applied Science Research* 8(8), 4752-4758.

Halffter, G. & Matthews, E.G. (1966). The natural history of dung beetles of the subfamily Scarabaeinae (Coleoptera, Scarabaeidae). *Folia Entomológica Mexicana* 12-14, 312.

Halffter, G. & Edmonds, W.E. (1982). The nesting behavior of dung beetles (Scarabaeinae). An ecological and evolutive approach. Instituto de Ecología, México, D.F.

Hanski, I. (1980). Patterns of beetle succession in droppings. *Annals Zoology Fennica* 17, 17-25.

Herrick, J.E & Lal, R. (1996). Dung decomposition and pedoturbation in a seasonally dry tropical pasture. *Biology and Fertility Soils* 23, 177–181.

Holter, P. (1979). Effect of dung beetles (*Aphodius* spp.) and earthworms on the disappearance of cattle dung. *Oikos* 32(3), 393-402.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. (1985). Estudio general de suelos y zonificación de Tierras. Departamento de Cundinamarca. Tomo I, Bogotá.

Kononoff, P.; Heinrichs, J. & Varga, G. (2019). Using manure evaluation to enhance dairy cattle nutrition. College of Agricultural Science. Cooperative extension. Pennsylvania.

Lavelle, P. & Spain, A. (2001). *Soil ecology*. Kluwer Academic Publisher, New York.

Lavelle, P.; Blachart, E., Martin, A.; Martin, S. & Spain, A. (1993). A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soil of the humid tropics. *Biotropica* 25(2), 130-150.

Lavelle, P., Charpentier, F.; Villenave, C.; Rossi, J.P.; Derouard, L.; Pashanasi, B.; André, P.; Ponge, J.F. & Bernier, N. (2004). Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics at a landscape scale over decades. En: Edwards, C.A. (Ed.). *Earthworm Ecology* (pp. 145-160). CRC Press. BocaRaton. doi: 10.1201/9781420039719.pt4. hal-00497245

Lavelle, P.; Spain, A.; Blouin, M.; Brown, G.; Decaëns, T.; Grimaldi., M.; Jiménez, J.J.; McKey, D.; Mathieu, J.; Velasquez, E. & Zangerlé, A. (2016). Ecosystems engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. *Soil Science* 181, 91-109.

Li, Z.; Tian, D.; Wang, B.; Wang- Song, J.; Han, W.; Chen, Y.H.; Xu, X.; Wang, C; He, N. & Niu, S. (2019). Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability. *Global Change Biology* 25(3), 1078-1088.

Lobo, J.M.; Martín-Pieira, F.; Veiga, C.M. (1988). Las trampas pitfall con cebo, sus posibilidades en el estudio de las comunidades coprófagas de Scarabaeoidea (Col.). I. Características determinantes de su capacidad de captura. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol* 25, 77-100.

Lumaret, J.P. & Kirk, A.A. (1991). South temperate dung beetles. En: Hanski, I. & Cambefort, Y. (Eds). *Dung beetle ecology*. (pp. 97-115). Princenton Univesity Pess. Princenton.

Mahecha, L.; Gallego, L.A. & Peláez, J.F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su productividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2), 213-225.

Mantilla, G.; de la Torre, L.S.; Gómez, C.E.; Ordoñez, N.; Ceballos, J.L.; Euscátegui, C.; Pérez, P.; Pérez, S.; Martínez, N.; Sánchez, R.; Maldonado, N.; Pérez, J.; Gaitán, R.; Chávez, L.; Chamorro, C. & Flórez, A. (2001). Los suelos: estabilidad, productividad y degradación. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (Ed.) *El medio ambiente en Colombia*. (pp. 228-277). Bogotá.

Mazoni, S. & Porporato, A. (2009). Soil carbon and nitrogen mineralization. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 1355-1379.

Miller, D.N. & Varel, V.H. (2011). Origins and identities of key manure odor components. En: He, Z. (Ed.). *Environmental chemistry of animal manure*. Environmental Science, Engineering and Technology. (pp. 153-178). Nova Science Publishers, Inc., New York.

Mittal, I. (1993). Natural manuring and soil conditioning by dung beetles. *Tropical Ecology* 34, 150-159.

Murgueitio, E. & Calle, Z. (1999). Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. pp. 53-89. En: Sánchez, M.D. & Rosales, M. (Eds.). *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. FAO, Roma.

Murgueitio, E. & Ibrahim, M. (2004). Ganadería y medio ambiente en América Latina. *Memorias XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal*. (pp. 187-292). San Juan de Los Morros.

Nannipieri, P.; Ascher, J.; Ceccherini, M.T.; Landi, L.; Pietramellara, G. & Renella, G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 54, 655-670.

Nichols, E.; Spector, S.; Louzada, J.; Amezcua, S. & Favila, M.E. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*. doi:10.1016/j.biocon.2008.04.011

Nutrición de Plantas S.A. (2021). Urea. Ficha técnica. Disponible en: <https://www.nutriciondeplantas.com.co/tecnologia-premium/clasificacion-de-productos>.

Palestrini, C.; Rolando, A. & Barbero, E. (1995). Analysis of temporal segregation in a dung-inhabiting beetle community at a low-altitude area of the Italian Alps. *Italian Journal of Zoology* 62, 257-265.

Pardo-Locarno, L.C.; Sevilla-Guio, F. & Amézquita, E. (2017). Macroinvertebrados edáficos en cultivos de caña de azúcar, ganadería silvopastoril y un relicto forestal en el valle del río Cauca. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 60, 301-312.

Peterson, P.R.; Lucas, H.L.; Woodhouse, W.W.H.J. (1956). The distribution of excreta of freely grazing cattle and its effect on pasture fertility. I. Excreta distribution. *Agronomy Journal* 48; 440-448.

Primavesi, A. (1980). Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. El Ateneo, Buenos Aires.

- Ridsdill-Smith, J. (1991). Competition in dung-breeding insects. En: Bailey, B. & Ridsdill-Smith, J. (Eds.) Reproductive behavior of insects: individuals and populations. (pp. 264-292). Chapman and Hall, London.
- Rosenlew, H. & Roslin, T. (2008). Habitat fragmentation and the functional efficiency of temperate dung beetles. *Oikos* 117, 1659-1666.
- Roslin, T. & Heliövaara, K. (2007). Suomen lantakuoriaiset. Opas santiaisista. Helsinki University Press. Helsinki.
- Sánchez P.M.; Prager, M.; Naranjo, R.E. & Sanclemente, O.E. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología* 7, 19-34.
- Shahabuddin; Manuwoto, S.; Hidayat, P.; Noerdjito, W.A. & Schulze, C. (2008). The role of coprophagous beetles on dung decomposition and enhancement of soil fertility: effect of body size, species diversity and biomass. *Journal of Biology of Indonesia* 5(2), 109-119.
- Siri, G. & Ernst, O. (2010). Manejo del suelo y rotación con pasturas: Efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos. *IPNI Informaciones Agronomicas*, 22-26.
- Sparks, D.L.; Page, A.L.; Helmke, P.A. & Loeppert, R.H. (1986). *Methods of soil analysis, Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America, Madison.
- Sotomayor-Ramírez, D.; Espinoza, Y. & Ramos-Santana, R. (2006). Short-term tillage practices on soil organic matter pools in a tropical Ultisol. *Australian Journal of Soil Research* 44, 687-693.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141-163.
- Verhoef, H.A. & Brussaard, L. (1990). Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry* 11, 175-211.
- Villareal, H.; Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M. & Umaña, A.M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. Instituto Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Wright, S.F. & Upadhyaya, U. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198, 97-107.
- Yamada, D.; Imura, O.; Shi, K. & Shibuya, T. (2007). Effect of tunneler dung beetles on cattle dung decomposition, soil nutrients and herbage growth. *Grassland Science* 53, 121-129.
- Yokoyama, K.; Kai, H.; Koga, T. & Aibe, T. (1991). Nitrogen mineralization and microbial populations in cow dung, dung balls and underlying soil affected by paracoprid dung beetles. *Soil Biology and Biochemistry* 23, 649-653.

## 7. Conclusiones generales y consideraciones finales

Las principales conclusiones se presentan y relacionaran con los cinco objetivos específicos planteados en la investigación doctoral.

### Conclusiones generales

**Objetivo específico 1:** *Describir* la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos, localizados en la vertiente occidental de la cordillera oriental de los Andes orientales de Colombia, mediante los criterios e indicadores propuestos en el índice de la Estructura Agroecológica Principal.

1. La reestructuración del índice de la Estructura Agroecológica Principal, como un descriptor de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas, en la que se redefinieron criterios e incluyeron nuevos indicadores y categorías de valoración, recoge importantes componentes de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas. Es posible valorar la agrobiodiversidad presente en los conectores biológicos y su configuración espacial para conectar la diversidad funcional hacia los sistemas productivos. Así mismo, valora las prácticas de manejo agroecológico o no y de conservación de suelos, aguas y especies cultivadas o asociadas. Complementado al índice, esta la agrobiodiversidad intangible, representada por los factores culturales presentes en el agroecosistema, que también la modulan.

2. En la mayoría de los casos, los indicadores de la EAP son sencillos de medir, reproducibles, robustos, costoefectivos y útiles para tomar decisiones. En el caso de que alguno de sus criterios o indicadores sea confuso o tenga una importancia mayor que otros, según el criterio del investigador, la flexibilidad del índice permite eliminar ciertas variables, ponderarlas o adicionar nuevos indicadores, coservando su estructura jerárquica; indicadores dentro de criterios y estos a su vez dentro de las dimensiones ecosistémica y cultural.

Es un índice con amplias aplicaciones, no solamente para generar un valor único de agrobiodiversidad para fines comparativos, sino que, acompañado de métodos complementarios podría relacionarse con otros atributos o propiedades emergentes en los agroecosistemas; resiliencia, productividad, funcionalidad, autoorganización, homeóstasis, entre otros.

2. Los agroecosistemas ganaderos de estudio presentan, en general, una agrobiodiversidad *moderada*. Los aspectos “mejor valorados” fueron: la *Conexión con la estructura ecológica del paisaje (CEEP)* donde se localizan los agroecosistemas. Existen dentro de su matriz de potreros para uso productivo, remanentes de vegetación secundaria, en barbecho, minifundios campesinos con una variada producción agrícola y predios campestres arbolados; y la *Extensión de conectores*, con cercas vivas medianamente diversas y continuas y bosques asociados a cuerpos de agua (*ECE, ECI*).

Los aspectos o condicionantes “menos valorados” fueron: *Prácticas de conservación del suelo (PCs)* y *Percepción-conciencia y Conocimiento sobre la agrobiodiversidad (PCC)*. Los propietarios en su mayoría no tienen arraigo y conexión emocional con la finca o sistema productivo que la ocupa, las tierras se encuentran en zonas no aptas para la ganadería, por lo que el suelo ha sufrido procesos de erosión moderada y/o no conocen la importancia de las coberturas para favorecer los procesos funcionales de la biodiversidad. Si las conocen, no aplican acciones para protegerla o no realizan prácticas agroecológicas para potenciar sus servicios.

Según la Matriz de Estructura de Diseño aplicada a la EAP de las fincas de estudio y desde la perspectiva de una EAP potencial, es importante mejorar la *Percepción-conciencia* sobre los componentes de la agrobiodiversidad, pues es el indicador que “dinamiza” el sistema y puede generar mayores cambios y relaciones positivas en otros indicadores, que aportan menos al sistema. Esto es importante, considerando el riesgo que poseen los agroecosistemas de estudio frente cambios en el uso del suelo en la región.

3. Las *Prácticas de manejo sanitario (MSa)* confirman que el uso inadecuado de las tecnologías convencionales para el control parasitario del ganado (Ivermectina, Moxidectina, Cipermetrina, Alfametrina) aplicadas localmente, reflejan las dinámicas globales del modelo económico dominante: Existe facilidad en su difusión, transferencia tecnológica y extencionismo rural, proveniente del sector privado hacia los pequeños y medianos productores. Las entidades municipales con compromisos misionales ejercen poco protagonismo y ofrecen mínima asistencia tecnológica y técnica y capacitación en producción limpia, agroecológica y/o que favorezcan la agrobiodiversidad y sus beneficios derivados.

**Objetivo específico 2:** *Relacionar* la diversidad, composición y estructura de la fauna de escarabajos coprófagos, como subrogados de la agrobiodiversidad funcional de los agroecosistemas de estudio, con la riqueza, composición y estructura florística de los conectores biológicos, evaluada dentro de la dimensión ecosistémica de la EAP.

4. La conectividad biológica del agropaisaje de estudio (40%), que corresponde a conectores biológicos (bosques de asociados a cuerpos de agua o galería, fragmentos de vegetación secundaria, cercas vivas y potreros arbolados), contribuye a mantener una alta diversidad regional de escarabajos coprófagos ( $S_{Total} = 31$  especies). De estos conectores, los que poseen una estructura vertical más compleja, representada por individuos con un mayor diámetro a la altura del pecho (DAP) y coberturas más arboladas, donde la temperatura y humedad relativa son similares a las condiciones naturales del bosque,

albergan una mayor riqueza y comparten una composición faunística similar, que aquellos conectores con menor cobertura arbórea y humedad relativa y mayor temperatura.

Así, la *conexión de la finca con la estructura ecológica del paisaje y la diversidad de conectores (externos e internos)*, evaluados mediante la EAP, estructuran la riqueza y la composición faunística de los escarabajos coprófagos (subrogados de la agrobiodiversidad funcional) en los conectores biológicos de los agroecosistemas de estudio. Más aún, la conectividad del paisaje considerada dentro de la EAP está permitiendo que especies de escarabajos coprófagos grandes y de hábitos tuneleros, más tolerantes a condiciones de poca cobertura arbórea, colonizen los potreros aumentando la diversidad local y realizando funciones ecosistémicas en los sistemas productivos.

Es necesario aumentar las *prácticas de conservación* de conectores biológicos (por ejemplo la restauración activa, regeneración pasiva, enriquecimiento de coberturas con especies que producen frutos u ofrecen sombra para los escarabajos o fauna asociada como *Geonoma* sp., *J. obtusifolia* y *F. kurokovii*, entre otras), mejorando la *Percepción-conciencia* de los productores sobre la importancia de los conectores biológicos.

**Objetivo específico 3:** *Determinar* la relación entre la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos de estudio, evaluados mediante la EAP y la función ecosistémica; en el caso de la incorporación de estiércol bovino en el suelo por los escarabajos coprófagos en los potreros de los agroecosistemas de estudio.

5. La agrobiodiversidad de los agroecosistemas, evaluados mediante la AEP, se relacionó de manera fuerte y positiva con la función ecosistémica estudiada. En general, en los agroecosistemas donde se observó mayor agrobiodiversidad, los escarabajos coprófagos incorporaron más estiércol bovino (gr de materia seca) y en los agroecosistemas menos agrobiodiversos se observó una menor cantidad de estiércol incorporado. Es decir, la cantidad de agrobiodiversidad presente en el agroecosistema podría precedir la magnitud de las funciones ecosistémicas.

**Objetivo específico 4:** *Definir* cuáles indicadores que evalúan la agrobiodiversidad de los agroecosistemas y que conforman la EAP son variables que predicen la función ecosistémica estudiada.

6. La *distancia de fragmentos* de vegetación secundaria dentro del área de influencia *al centro de la finca* (DFr), *extensión de conectores internos* (ECI), frecuencia en la *rotación de potreros* (RPO), *arreglo del sistema de forrajeo* (ASi), *número de aplicaciones de medicamentos veterinarios* para el control de plagas y enfermedades (MSa), *percepción-conciencia* sobre la importancia de la agrobiodiversidad (PeCo) y *capacidad de gestión comunitaria e institucional* para el mantenimiento/fortalecimiento de coberturas (CGe), afectaron la incorporación de estiércol bovino en el suelo en los sistemas productivos de los agroecosistemas de estudio.

7. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, un número elevado de aplicaciones de Ivermectina (cuatro o más) reduce la remoción de estiércol bovino de las pasturas y su incorporación en el suelo, sea por afectar la riqueza, abundancia, diversidad

o composición faunística de las comunidades de escarabajos coprófagos asociados al estiércol bovino en los potreros. La conectividad de la finca con el paisaje y de potreros con conectores biológicos arbolados de diversa índole, afectan la posibilidad de movimiento de individuos hacia las boñigas y su consumo e incorporación en el suelo. Un manejo altamente rotativo contribuye a conservar la calidad de los suelos, facilitando la construcción de galerías profundas y “concentrando” el estiércol para facilitar la actividad de búsqueda y forrajeo de estas especies. Además, la percepción y conciencia, acompañada por el conocimiento del productor o sus trabajadores sobre diversos componentes de la agrobiodiversidad y la capacidad de gestionar e incidir en su comunidad para el fortalecimiento de las coberturas alrededor de la finca, en una escala de paisaje, afectan dicha función.

La inclusión de variables culturales es novedoso y pone en evidencia la necesidad de incluirlas como variables predictoras de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas y sus funciones ecosistémicas.

**Objetivo específico 5:** Estimar la importancia funcional de *Dichotomius belus* Har., al incorporar estiércol bovino en suelo de los potreros de la Finca Loma Larga y modificar sus propiedades químicas y biológicas, aumentando su fertilidad.

8. El conteo de la proporción de boñigas colonizadas por *Dichotomius belus* Har., y la estimación de su peso, el estudio fenológico de la especie a lo largo del año y las modificaciones observadas en el pH, nitrógeno total y hongos mesófilos en el suelo, expuesto a su actividad funcional, permitió estimar su efecto en la fertilidad química y biológica del suelo.

Los valores estimados de materia orgánica seca y nitrógeno incorporados por *D. belus* en la totalidad de la finca serían equivalente a 3.482 kg de estiércol bovino seco/año y 33,42 kg de nitrógeno por ha/año. Estas cifras son cercanas a las sugeridas por los asesores técnicos, para mantener la productividad de las pasturas de braquiaria y un SSPi de *Leucaena leucocephala*. Los beneficios que *D. belus*, con un subrogado de la agrobiodiversidad, ofrece al productor pueden ser fácilmente traducidos en una mayor fertilidad química y biológica, incorporación de agua, desestructuración de parte de la boñiga que no es incorporada y la bioturbación del suelo, que mejora fertilidad física.

Estos beneficios serían, principalmente, el resultado de la alta *Percepción-conciencia* y *conocimiento* del productor (propietario/administrador de la finca) sobre la importancia de los escabajos coprófagos al sistema productivo, un *Manejo sanitario* que limita al máximo posible las dosis de Ivermectina y *Capacidad de gestión* con vecinos y entidades municipales para mantener y conservar coberturas o conectores biológicos dentro del agropaisaje o área de influencia (AI) de la finca.

## Consideraciones finales

Al analizar el **Objetivo general**, que es *Comprender* en un conjunto de agroecosistemas ganaderos, localizados en la vertiente occidental de la región oriental de los Andes colombianos, la relación de ciertos factores ecológicos y/o culturales que estructuran su

agrobiodiversidad, afectan la diversidad y composición de la fauna de escarabajos coprófagos (Insecta: Scarabaeinae) y su función ecosistémica de incorporar estiércol bovino en el suelo en los potreros, modificando positivamente su fertilidad y generando beneficios al productor; se proponen las siguientes consideraciones:

Desde el punto de vista teórico en el campo de la agroecología, la aplicación del índice de la Estructura Agroecológica Principal es una herramienta que permite condensar, en un valor único, un conjunto de métricas que consideran aspectos tangibles e intangibles de la agrobiodiversidad. Aunque limitada pero flexible en su conformación y expresión, es útil para comparar agroecosistemas y relacionarlo con otras propiedades del mismo. También podría complementar las propuestas metodológicas para la evaluación de la sustentabilidad a nivel de finca, ofreciendo una medida concreta de los aspectos agrobiodiversos que la amenazan, debilitan o fortalecen, en un tiempo y espacio determinado.

Los escarabajos coprófagos, como subrogados de la agrobiodiversidad de los agroecosistemas ganaderos de estudio, presentes en los conectores biológicos y potreros, realizan importantes funciones ecosistémicas que benefician la fertilidad del suelo y la productividad primaria de bosques y pasturas.

La conectividad biológica y funcional que ofrecen las coberturas arbóreas en el agropaisaje, evaluadas mediante la distancia de los fragmentos de la finca (*DFr*); presencia y calidad de conectores (*ECl*, *DCE*, *DCI*); las prácticas de manejo (*MSa*, *RPO*, *ASi*) y conservación del suelo (*PCs*); la percepción-conciencia y conocimiento (*PeCo*, *COñ*); y capacidad de gestión (*CGe*) del propietario o administrador para mejorar y mantener buenas prácticas de manejo y conservación, evaluados dentro de la EAP, afectaron la estructura las comunidades de escarabajos coprófagos, la función de incorporación de estiércol bovino en el suelo en los sistemas productivos y la fertilización natural de potreros.

No obstante estas relaciones ambientales dentro de los agroecosistemas no siempre son lineales y las variables predictoras pueden tener baja capacidad de predicción. Estos resultados confirman los supuestos teóricos que sostienen que los agroecosistemas son sistemas energéticamente complejos, dinámicos, autoregulados y autoorganizados. Para comprender estas relaciones es necesario desarrollar acercamientos holísticos en su percepción e indagación, incluyendo tanto metodologías cuantitativas como cualitativas, provenientes de diversas disciplinas científicas como la agronomía, zootecnia, botánica, ecología experimental, sociología rural, ecología del paisaje, geomática y/o estadística no lineal.

Como los agroecosistemas, el estudio del suelo requiere un enfoque holístico e integrador, entendiendo que cualquier intervención negativa, como el uso de tecnologías poco apropiadas para la producción agropecuaria sobre cualquiera de los componentes, puede comprometer su integridad ecosistémica y disminuir su potencial productivo.

Otros aportes teóricos de esta investigación fueron:

. Mejorar la línea base de conocimiento de la flora nativa presente en los bosques subandinos de la vertiente occidental de la cordillera oriental, como los pocos remanentes de vegetación que conectan la biodiversidad presente en los bosques andinos de la sabana de Bogotá hacia el valle interandino del río Magdalena.

. Crear la línea base de conociendo sobre la diversidad de escarabajos coprófagos de la región del Gualivá presente en sus bosques y agroecosistemas ganaderos.

. Generar una propuesta metodológica para la medición de funciones ecosistémicas en agroecosistemas ganaderos andinos de Colombia, que conecte con beneficios cuantificables para el productor (o *servicios ecosistémicos* según plantea la Economía Ambiental).

**2.** Desde el punto de vista aplicado, en el campo de la agroecología como práctica, los resultados pueden contribuir al diseño de agroecosistemas ganaderos sustentables y productivos en la región andina, fundamentados en los procesos ecológicos que realiza la agrobiodiversidad, implementando herramientas tecnológicas y prácticas apropiadas que:

. Protejan el suelo y disminuyan su erosión; p.e. alta frecuencia de rotación de potreros y largos periodos de descanso, preparación del suelo en contrapendiente, acueductos cerrados que lleven el agua hasta cada potrero evitando el desplazamiento del ganado hacia las fuentes de agua, labranza mínima o sin el uso de maquinaria pesada, manejo intencional de arvenses.

. Mantengan la materia orgánica del suelo y la agrobiodiversidad; p.e. enriquecimiento de potreros y siembra de cercas vivas con especies forrajeras multiestrato que produzcan hojarasca, sombra y frutos para los escarabajos coprófagos y fauna asociada, uso muy regulado (en número de aplicaciones y dosaje) de medicamentos antiparasitarios.

. Aumenten la conectividad biológica; p.e. restauración activa de conectores biológicos mediante la siembra de plantas típicas de estadios sucesionales tardíos que restauren la condiciones microclimáticas pre-disturbio, regeneración pasiva de vegetación secundaria a partir del banco de semillas original, protección de los bosques asociados al agua con cercas vivas o en su defecto con cercas de alambre de púas o eléctricas.

. Creen conciencia en los propietarios de la importancia de los conectores biológicos y de la implementación de prácticas agroecológicas para mejorar la agrobiodiversidad de los agroecosistemas y aumentar su autoregulación, productividad y resiliencia; p.e. charlas de educación ecológica y ambiental que contribuyan a la reconversión ganadera.

. Mejoren el conocimiento técnico de los productores; p.e. cursos cortos para la formación de capacidades en el manejo de la producción y restauración agroecológica.

. Motiven el aumento de capacidades de gestión; p.e. apoyo a procesos de asociatividad de propietarios con vecinos, productores y entidades con responsabilidades misionales para fortalecer conectores biológicos y producción agroecológica.