

Identificación de indicadores biológicos del suelo en el modelo productivo de ganadería sostenible



AGROSAVIA
EDITORIAL


Agricultura



Identificación de indicadores biológicos del suelo en el modelo productivo de ganadería sostenible

| Colección Alianzas AGROSAVIA |

AUTORES

Diana Beatriz Sánchez López
Manuel Ramón Espinosa Carvajal
Lily Lorena Luna Castellanos
Liliana Margarita Atencio Solano

AGROSAVIA
EDITORIAL



Identificación de indicadores biológicos del suelo en el modelo productivo de ganadería sostenible. / Diana Beatriz Sánchez López [y otros tres] – Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2025.

104 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, gráficos y tablas.

ISBN e-Book: 978-958-740-819-5

1. Ganadería 2. Sostenibilidad 3. Muestreo del suelo 4. Fauna del suelo 5. Indicador biológico 6. Microorganismo del suelo.
I. Sánchez López, Diana Beatriz II. Espinosa Carvajal, Manuel Ramón III. Luna Castellanos, Lily Lorena IV. Atencio Solano, Liliana Margarita.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA

Centro de Investigación Turipaná, km 13 vía Montería–Cereté, Córdoba. Código postal 230550, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto
“Evaluación multilocacional de germoplasma forrajero”
y “Plan de vinculación territorial para los Montes de
María y Córdoba”, desarrollado por la Corporación
Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Colección: Prácticas Agropecuarias
Tipología: Manual

Fecha de recepción: 12/03/2024
Fecha de evaluación: 3/10/2024
Fecha de aceptación: 26/11/2024

Primera edición: Agosto de 2025

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co

Líder editorial:
Verónica Bermúdez Díaz

Editora:
Liliana Gaona García

Corrección de estilo:
Nathalie De la Cuadra N.

Diseño:
Mónica Cobiativa Daza

Diagramación:
María Paula Berón Ramírez

Ilustraciones:

Juan Felipe Martínez Tirado

Fotografías:

Diana Beatriz Sánchez López, Manuel Ramón Espinosa Carvajal y Lily Lorena Luna Castellanos

Citación sugerida: Sánchez López, D. B., Espinosa Carvajal, M. R., Luna Castellano L. L., & Atencio Solano, L. M. (2025). *Identificación de indicadores biológicos del suelo en el modelo productivo sostenible de ganadería*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7408195>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno con relación a los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co



https://co.creativecommons.org/?page_id=1

Contenido

- 9 | Agradecimientos
- 10 | Autores
- 13 | Introducción
- 17 | Modelo productivo de ganadería sostenible
- 19 | Métodos de muestreos para los organismos del suelo
 - 19 Métodos para la determinación de la microflora
 - 23 Métodos para el muestreo de microfauna
 - 28 Método para el muestreo de la densidad aparente del suelo
 - 30 Métodos para el muestreo o la captura de mesofauna y macrofauna
 - 32 Muestreo para la identificación de fauna edáfica

37	Fauna edáfica del modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA
37	Microflora y microfauna en el modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA
56	Microfauna en el modelo productivo sostenible
71	Mesofauna y macrofauna en el modelo productivo sostenible
91	Entornos propicios en el modelo productivo sostenible de ganadería de la fauna edáfica
92	Glosario
96	Referencias

Figuras

Figura 1.	Modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe, AGROSAVIA	18
Figura 2.	Técnica de diluciones en serie para el recuento de UFC de microorganismos presentes en suelos establecidos con <i>M. maximus</i> en el modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano	20
Figura 3.	Determinación del porcentaje de colonización a partir de fragmentos de raíces de <i>M. maximus</i> en el modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano	22
Figura 4.	Método para el recuento de protozoos a partir de una muestra de suelo rizosférico en modelo productivo de ganadería sostenible <i>M. maximus</i>	24
Figura 5.	Método “placa de petri no inundada” para determinar la diversidad de protozoos en modelo productivo de ganadería sostenible	25
Figura 6.	Método de extracción de nematodo edáficos asociado a <i>M. maximus</i> en el modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano	26
Figura 7.	Materiales para captura directa para artrópodos en modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano	30
Figura 8.	Métodos para el muestreo de artrópodos	32
Figura 9.	Esquema de toma de muestras en campo para determinar microflora y microfaunas asociadas al modelo productivo de ganadería sostenible <i>M. maximus</i>	33
Figura 10.	Esquema para la captura de artrópodos en el follaje de la pastura en el modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA	34

Figura 11.	Toma de muestra de suelo con barreno en el modelo productivo de ganadería	35
Figura 12.	Mecanismos directos e indirectos por PGPR	39
Figura 13.	Asociaciones simbióticas	41
Figura 14.	Características macroscópicas de bacterias asimbióticas asociadas al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	42
Figura 15.	Concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos asociados al modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe de Colombia	43
Figura 16.	Microorganismos solubilizadores de fósforo en medio de cultivo SRSM asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	45
Figura 17.	Concentración de solubilizadores de fósforo asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	46
Figura 18.	Microorganismos amilolíticos en medios de cultivo almidón	47
Figura 19.	Concentración de microorganismos amilolíticos en el modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	48
Figura 20.	Concentración de microorganismos proteolíticos en el modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe de Colombia	50
Figura 21.	Concentración de microorganismos celulolíticos en el modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	52
Figura 22.	Colonización de endomicorizas en pasturas de <i>M. maximus</i> asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	54
Figura 23.	Protozoos de vida libre asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	56

Figura 24.	Concentración de protozoos asociados al modelo productivo sostenible ganadero de la región Caribe de Colombia	58
Figura 25.	Abundancia relativa de nematodos asociados a la rizósfera del modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	60
Figura 26.	Frecuencia de los géneros de nematodos observados en el modelo productivo sostenible de ganadería	61
Figura 27.	Abundancia relativa de los géneros de nematodos presentes en los potreros <i>Megathyrus maximus</i> cv. Mombasa	68
Figura 28.	Abundancia relativa de los géneros de nematodos presentes en los potreros <i>Megathyrus maximus</i> cv. Agrosavia Sabanera	69
Figura 29.	Densidad por grupo funcional (individuos m ²) de la mesofauna y macrofauna en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia	72
Figura 30.	Composición taxonómica (clases, orden y familias) identificada por grupo funcional de la mesofauna y macrofauna en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia	73
Figura 31.	Frecuencia relativa de las subfamilias de Formicidae encontradas en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región del Caribe colombiano	76
Figura 32.	Ingenieros del suelo en el modelo productivo sostenible en la región Caribe de Colombia	77
Figura 33.	Herbívoros encontrados en el modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe	81
Figura 34.	Detritívoros en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia	85
Figura 35.	Depredadores del modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia	90

Tablas

Tabla 1.	Géneros de nematodos reportados en los potreros del modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia	62
Tabla 2.	Densidad de herbívoros (individuos m ²) en el modelo productivo sostenible de ganadería en la región Caribe de Colombia	79
Tabla 3.	Densidad de detritívoros (individuos m ²) en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia	83
Tabla 4.	Densidad de depredadores (individuos/m ²) en el modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe de Colombia	88

Agradecimientos

Los autores agradecen al asistente de investigación Ángel Hernando Osorio Rodríguez, al Laboratorio de Microbiología Agrícola y Entomología del Centro de Investigación Turipaná, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación de los proyectos “Evaluación multilocacional de germoplasma forrajero” y “Plan de vinculación territorial Montes de María y Córdoba”.



Autores

Diana Beatriz Sánchez López

Correo: dianas189@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9715-4097>

Bacterióloga egresada de la Universidad Metropolitana, con magíster en Ciencias Biológicas con énfasis en Microbiología de la Pontificia Universidad Javeriana y estudiante del Doctorado en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitopatología en la Universidad de Córdoba, Colombia. Cuenta con amplia experiencia en microbiología de alimentos e inocuidad, y se destaca en la implementación de estándares internacionales como buenas prácticas de laboratorio (BPL), manufactura (BPM) y análisis de peligros y puntos críticos de control (APPCC). Como investigadora, su trabajo abarca biología y conservación de suelos, incluyendo degradación de materia orgánica y biotecnología aplicada a bioinsumo microbianos, biorremediación de suelos contaminados y diagnóstico de enfermedades vegetales con enfoque agroecológico. Actualmente, centra sus estudios en el diseño de soluciones biotecnológicas basadas en microorganismos para potenciar la productividad agrícola, restaurar la salud edáfica a través de procesos de bioestimulación y reducir el uso de agroquímicos, integrando conocimientos de microbiología ambiental, agronomía y sostenibilidad para promover sistemas agroalimentarios resilientes.

Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Correo: mespinosa@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8939-5472>

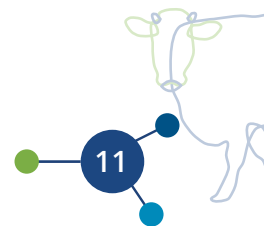
Ingeniero agrónomo, magíster en Ciencias Ambientales con énfasis en Biodiversidad. Ha trabajado en el manejo de suelos, del recurso hídrico, en la producción intensiva de especies forrajeras, en el análisis de modelos productivos y sus emisiones de gases de efecto invernadero, en la medición de servicios ecosistémicos, en la agroclimatología y en el manejo de cultivos. Cuenta con experiencia en investigación básica y aplicada, y en la interacción y diversificación con sistemas productivos, así como en el diseño de modelos productivos intensivos y autosostenibles. También ha implementado estrategias de mitigación y adaptación para los diferentes escenarios climáticos en sistemas productivos hortícolas y frutales de clima cálido, y ha puesto especial énfasis en el manejo técnico de cultivos de clima cálido de hortalizas, transitorios y frutales.

Lily Lorena Luna Castellanos

Correo: agrolily@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2172-7842>

Ingeniera agrónoma, magíster en Ciencias Agronómicas con énfasis en Sanidad Vegetal de la Universidad de Córdoba, Colombia, y magíster en Ciencias en Sostenibilidad de la Universidad Pontificia Bolivariana. Tiene experiencia profesional en la ejecución de proyectos de investigación agrícola sobre mejoramiento de la productividad de cultivos de raíces y tubérculos, en el seguimiento fitosanitario de enfermedades y plagas en plantas, y en la evaluación y selección de biofertilizantes en cultivos de tubérculos y hortalizas.



Liliana Margarita Atencio Solano

Correo: latencio@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8425-1621>

Ingeniera agrónoma, magíster en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fisiología Vegetal y estudiante del Doctorado de Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba, Colombia. Tiene experiencia en programas de mejoramiento de cultivos transitorios y forrajeros, con lo cual ha vinculado la importancia de la fisiología vegetal en la obtención de nuevos genotipos proyectados a la región Caribe, que se caracterizan por su tolerancia a diversos factores de estrés (principalmente sequía) y altos rendimientos. Sus temas de trabajo están relacionados con las propiedades y los atributos de la semilla necesarios para los procesos de producción y certificación, con base en la legislación de semillas para Colombia. Redes de interés: transitorios, permanentes, raíces y tubérculos, pastos y forrajes.



Introducción

En la actualidad, los sistemas ganaderos tienen muchas críticas debido a sus afectaciones al medio ambiente, las cuales están asociadas principalmente a la pérdida de la biodiversidad (fauna y flora), la degradación de los suelos y las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono [CO₂], metano [CH₄] y óxidos de nitrógeno [N₂O]); estos factores estigmatizan la actividad pecuaria. Todo esto es causa de prácticas inadecuadas en los sistemas productivos que involucran la tala de árboles, el uso de pasturas inapropiadas y la implementación de productos químicos, que incluyen fertilizantes, herbicidas y medicamentos veterinarios de alta residualidad que llevan a la pérdida de especímenes, lo cual causa cambios en los procesos ecológicos y las funciones de los ecosistemas.

Frente a esta problemática, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) promueve el modelo productivo de ganadería sostenible para la región Caribe de Colombia, que integra el uso de pasturas de alta producción y calidad nutricional, árboles, arvenses y arbustos, rotación de potreros y rotación y manejo animal; además, evita el uso de productos de amplio espectro que son dañinos para la fauna del suelo. Este modelo de ganadería es una alternativa de producción que busca contribuir al cuidado del ambiente, por medio del uso racional de los recursos ecosistémicos; con esto se busca mejorar los indicadores de calidad de suelo, que se reflejan en una mayor actividad de organismos consumidores y descomponedores de la materia vegetal (hojas, tallos, raíces y residuos de plantas), lo cual permite su incorporación en el suelo y ayuda a la fertilidad de este.



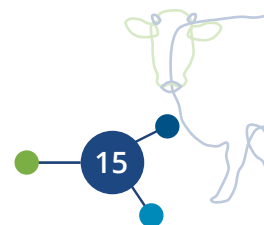
De igual forma, la biota del suelo interviene en procesos fundamentales como el flujo de energía, la transformación de nutrientes y el reciclaje de elementos como nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, azufre, fósforo, potasio, carbono, entre otros. Estos organismos, que llevan toda o una parte de su vida en el interior del suelo, en la hojarasca, en los troncos caídos en descomposición o en otros ambientes, son conocidos como la fauna edáfica, cuya importancia radica en que son responsables de las funciones o los servicios ambientales. El modelo productivo sostenible, su abundancia, composición y diversidad varían según las diferentes especies vegetales (pastos, leguminosas, árboles y arbustos), la cobertura y las características del suelo, las condiciones edafoclimáticas e incluso el manejo animal.

La fauna edáfica es parte esencial de la biodiversidad terrestre y proporciona diversos servicios ambientales beneficiosos para el bienestar, la salud humana y animal. Estos beneficios pueden ser abreviados en:

- Descomposición de la materia orgánica.
- Aporte de nutrientes a las plantas.
- Elementos fundamentales del ciclo de los nutrientes.
- Mantenimiento de la estructura del suelo.
- Movimiento y retención del agua en el perfil del suelo.
- Control biológico de las plagas y enfermedades.
- Captura y liberación del carbono.
- Regulación del contenido de gases atmosféricos.

Debido a los beneficios que genera, la fauna edáfica ha venido cobrando gran importancia, por lo cual ha sido necesario caracterizar indicadores de sostenibilidad que se asocian a la calidad de suelo y que permiten conocer el accionar de estos organismos; esto se refleja en el estado de conservación, el grado de recuperación o la degradación.

El presente documento aborda métodos sencillos para caracterizar la fauna edáfica, así como los esquemas para la toma de muestras de suelo en campo y la posterior determinación e identificación de organismos, como microflora, microfauna, mesofauna y macrofauna, en el modelo productivo sostenible de ganadería establecido con pasturas de *Megathyrus maximus*.





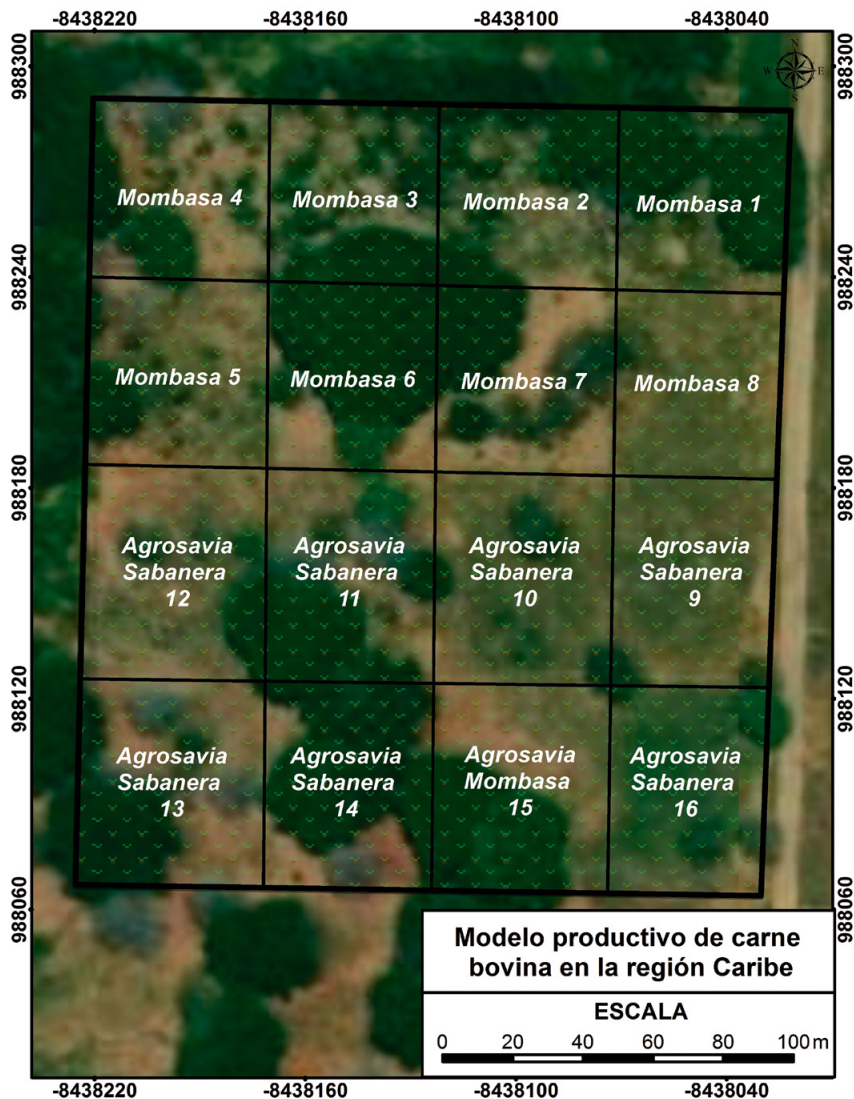


Modelo productivo de ganadería sostenible

En este manual, se describe el modelo de ganadería sostenible de AGROSAVIA que se desarrolló en el Centro de Investigación Turipaná, ubicado en la región Caribe, donde se presentaron las siguientes condiciones: precipitación media anual de 1.334 mm, temperatura promedio de 28°C y humedad relativa del 75%. El modelo contempló un área de 4 ha establecidas en pasturas de *Megathyrsus maximus*, 2 ha en Agrosavia Sabanera y 2 ha en Mombasa. Cada área asignada a una pastura se dividió en 8 potreros de 0,25 ha, los cuales se manejaron a partir de un pastoreo rotacional de 24 días, con 3 días de ocupación y 21 días de descanso. Este modelo se basó en la suspensión del uso de productos químicos (herbicidas, insecticidas, ivermectinas y fertilizantes), lo que favoreció la regeneración de especies vegetales nativas (árboles, arbustos, arvenses, leguminosas).

A continuación, se presenta el esquema del sistema rotacional establecido con pasturas de *Megathyrsus maximus* (cv. Agrosavia Sabanera y Mombasa) bajo el modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA (figura 1).





▲ Figura 1. Modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe, AGROSAVIA.

Fuente: Elaboración propia



Métodos de muestreos para los organismos del suelo

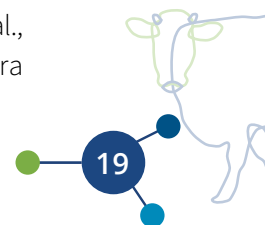
Dependiendo de su función en el ecosistema y del tipo de hábitat, existen diversos métodos de muestreo para diferentes tipos de organismos y grupos funcionales que habitan en el suelo establecido bajo el modelo productivo. A continuación, se relacionan los métodos empleados.

Métodos para la determinación de la microflora

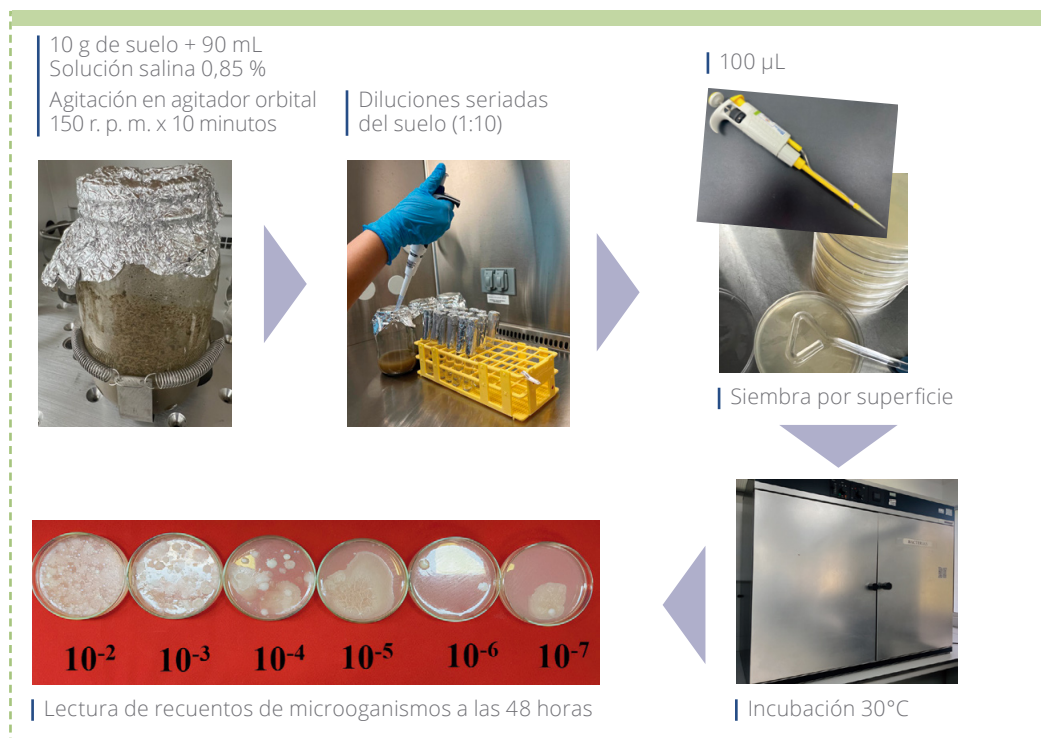
Determinación de microorganismos

Para la determinación de microorganismos del suelo, se emplea el método de diluciones en serie, realizando diluciones progresivas del suelo (1:10). En este proceso, se utiliza una solución estéril para diluir el suelo y después se transfiere un volumen de 100 μL de cada dilución a placas de petri, que están preparadas con medios de cultivo selectivos diseñados para aislar diferentes grupos funcionales de microorganismos. Estos grupos incluyen aquellos que son capaces de fijar nitrógeno, solubilizar fosfato y degradar proteínas, almidón y celulosa.

La distribución en cada medio de cultivo se realiza cuidadosamente para asegurar una cobertura uniforme y evitar la contaminación cruzada. Los medios de cultivo que se usan son: agar Nfb (Döbereiner et al., 1995) para microorganismos fijadores de nitrógeno; agar SRSM (Sánchez López et al., 2012) para solubilizadores de fósforo; agar leche (Inat Trigueros, 2016) para



degradadores de proteínas; agar almidón (Williams & Davies, 1965) para degradadores de almidón, y agar celulolíticos (Ferrer-Marcelo et al., 2011) para degradadores de celulosa. Cada placa se incuba en condiciones apropiadas para el grupo de microorganismos que se quiere estudiar, lo cual permite el desarrollo y la identificación de las colonias correspondientes. Cada muestra se replica tres veces y las placas se incuban a 30°C hasta que las colonias sean visibles para el recuento de unidades formadoras de colonias UFC/mL, típicamente a las 48 horas (figura 2).



▲ **Figura 2.** Técnica de diluciones en serie para el recuento de UFC de microorganismos presentes en suelos establecidos con *M. maximus* en el modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano.

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar este proceso se calcula el número de UFC utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Total de UFC} = \# \text{ UFC} * C / PS$$

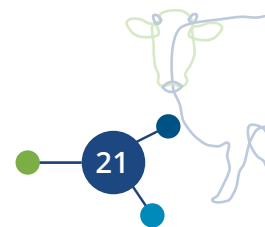
Donde: # UFC = número de UFC observado en el plato.

C = concentración de la dilución.

PS = peso seco de la muestra de suelo.

Determinación del porcentaje de colonización de raíces micorrizadas

Para esto, se empleó la metodología propuesta por Phillips y Hayman (1970), la cual involucra la separación de las raíces secundarias y su posterior lavado con agua para eliminar las partículas de suelo. Se realizan tres réplicas por muestra. Luego de este proceso, las raíces se aclaran con hidróxido de potasio (KOH) al 10 % y se someten a un baño maría a 80 °C durante 15 minutos. Posteriormente, se lavan con agua y se aclaran con una mezcla de hidróxido de potasio y peróxido de hidrógeno en proporción 1:1 a temperatura ambiente durante 10 minutos. Los reactivos se eliminan con agua abundante. Las raíces se tiñen con azul de tripán al 0,4 % y se disponen 10 fragmentos con un tamaño aproximado de 1,0 cm en una lámina portaobjetos, sobre los cuales se aplica glicerol y se cubren con una lámina cubreobjetos. Por último, se calcula el porcentaje de colonización utilizando un microscopio (figura 3).





▲ **Figura 3.** Determinación del porcentaje de colonización a partir de fragmentos de raíces de *M. maximus* en el modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

Para calcular el porcentaje de colonización se utiliza la fórmula:

$$\text{Colonización \%} = \frac{\text{Número de campos colonizados}}{\text{Número de campos observados}} \times 100$$

Métodos para el muestreo de microfauna

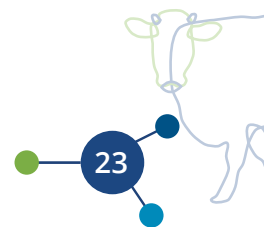
Los estudios de microfauna edáfica representan un componente fundamental para comprender la dinámica biológica en sistemas agropecuarios sostenibles. En esta sección se detallan tres metodologías estandarizadas para el análisis de protozoos y nematodos asociados a *M. maximus* en un modelo de ganadería sostenible: 1) conteo directo de protozoos activos mediante cámara McMaster (cuantificación); 2) evaluación cualitativa de diversidad protista con técnica de placa de Petri no inundada, y 3) extracción e identificación morfológica de nematodos mediante tamizado-centrifugado. Estos protocolos, respaldados por referencias técnicas y material gráfico, permiten caracterizar la comunidad microbiana del suelo con enfoques complementarios —cuantitativos, ecológicos y taxonómicos—, que son esenciales para evaluar la salud del ecosistema rizosférico.

Determinación de protozoos

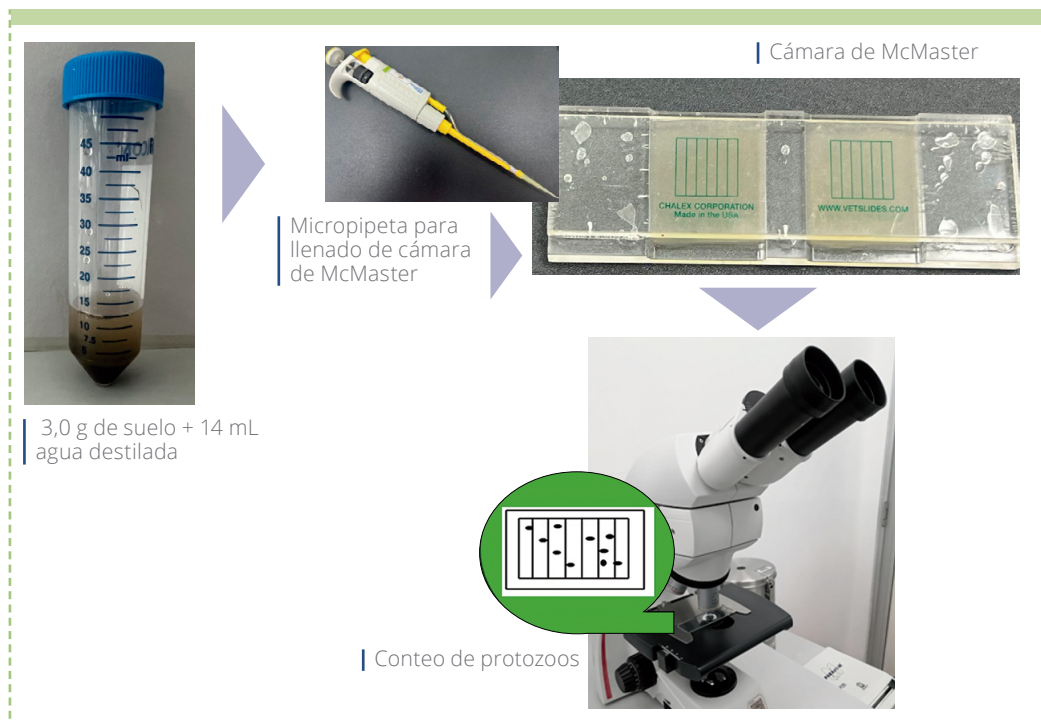
Se aplicó el método de conteo directo con la cámara McMaster (Lüftenegger et al., 1988), haciendo un estimado cuantitativo del número de protozoos activos en las muestras de suelo rizosférico recolectadas.

Para esto, se tiene en cuenta el volumen de compartimiento de la cámara McMaster = $0,15 \text{ mL} \times 2 = 0,30 \text{ mL}$, el volumen de la dilución 15 mL y los pesos de la muestra de 3 g de suelo para calcular el valor de correlación (FC).

$$FC = 15 \text{ mL} / 0,30 \text{ mL} / 3 \text{ gr}$$



Se toma una muestra de 3 g de suelo y se tamiza a través de una malla de cobre #100 para eliminar partículas grandes. Luego, la muestra se coloca en tubos falcon de 15 mL y se centrifuga a 1.500 r. p. m. durante cinco minutos para separar las partículas más densas. Después, el suelo sedimentado se resuspende en una solución de azúcar saturada, para completar un volumen de 15 mL. El sobrenadante resultante se analiza usando una cámara McMaster que se pone en un microscopio. Este proceso se repite tres veces por muestra para asegurar la precisión de los resultados (figura 4).



▲ **Figura 4.** Método para el recuento de protozoos a partir de una muestra de suelo rizosférico en modelo productivo de ganadería sostenible *M. maximus*.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

Análisis cualitativo de la diversidad de protozoos

Para este análisis, se emplea la metodología de “placa de petri no inundada” (Foissner, 1992). Este método consiste en dejar secar el suelo a la sombra durante 30 días; después de que se seque, se colocan 20 g de suelo en una placa de petri esteril, se satura con agua destilada esteril y esta se deja reposar durante 12 horas, tiempo mínimo para completar la saturación del suelo. Se monta el portaobjeto con el líquido extraído de la caja de petri y se examina bajo un microscopio óptico para identificar los morfotipos de protozoos. En este caso, la inspección se realizó en los días 2, 6, 12, 20 y 30 después de la preparación de la muestra y se agruparon estos morfotipos en grupos taxonómicos (figura 5).



▲ **Figura 5.** Método “placa de petri no inundada” para determinar la diversidad de protozoos en modelo productivo de ganadería sostenible.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

Extracción de nematodos

Las muestras de suelo se procesaron para determinar la presencia de nematodos, mediante el método de tamizado-centrifugado y flotación en solución azucarada 1:1 (Hooper, 1986; Hooper et al., 2005).

La identificación de los géneros de nematodos se realizó teniendo en cuenta las características morfológicas de los individuos mediante el uso de claves pictóricas y dicotómicas (Eisenback, 2002; Hunt et al., 2005) (figura 6).



▲ **Figura 6.** Método de extracción de nematodo edáficos asociado a *M. maximus* en el modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Determinación de la riqueza, abundancia y frecuencia de los nematodos

Se identificaron los géneros de nematodos durante el periodo seco, de diciembre a abril, hallados en los potreros y puntos muestreados. Estos registros se sometieron a análisis de descriptores biológicos como la riqueza específica (S), abundancia relativa y frecuencia.

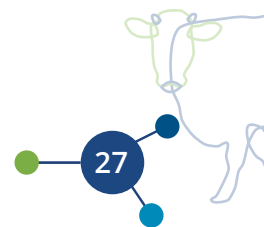
La estructura de la comunidad de los nematodos pudo identificarse mediante la riqueza específica (S), que se basó en determinar el número de géneros de nematodos presentes en los potreros del modelo productivo de ganadería sostenible; con esto se estableció un inventario y se obtuvo un censo de las comunidades presentes. Para calcular la abundancia relativa, se dividió el número de géneros encontrados en un potrero por el número total de géneros de los 16 potreros.

Para calcular la frecuencia de nematodos por potreros, se usa la siguiente fórmula:

Frecuencia de nematodos(%)

$$= \left(\frac{\text{Número total de nematodos en la muestra}}{\text{Número de potreros}} \right) \times 100$$

Estos datos fueron tabulados con el programa estadístico @STAT© - Captura de información y gestión de procesos de función estadística pública.



Método para el muestreo de la densidad aparente del suelo

Toma de muestra en un modelo ganadero con rotaciones

Se utilizó la metodología de densidad aparente (Da) para determinar la porosidad del suelo en el modelo productivo y calcular cuántos microorganismos existen aproximadamente por metro cuadrado. A continuación, se describen los pasos para llevar a cabo los cálculos.

1. Determinar las dimensiones del monolito empleado para la toma de muestra de suelo, para la microflora.

$$\text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad}$$

2. Extraer una muestra de suelo con un muestreador de acero cilíndrico con volumen conocido de 98,17 cm³ para determinar la Da del suelo según (Coile, 1936). Se toma la muestra a una profundidad de 20 cm, lo que aleja la variación del volumen de suelo muestreado; sin embargo, después de recolectarlas, se secan los suelos en estufa a 105 °C por 24 horas para eliminar todo el contenido de humedad del suelo. Este secado permite la Da, ya que se fundamenta en la base de peso seco del suelo, que es la base de referencia en los estudios de suelos. La Da se determinó con la fórmula:

$$Da = Mss/Vt$$

Donde:

Da= densidad aparente (g/cm^3)

Mss= masa de suelo seco (g).

Vt= volumen total del cilindro (cm^3).

3. Determinación de peso de la capa arable del suelo (PCA), utilizando la siguiente fórmula:

$$PCA = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad} * \text{Densidad aparente}$$

4. Determinar las UFC/ m^2 , por medio de la siguiente fórmula:

$$UFC.m^2 = m^2 * \frac{UFC.g \text{ de suelo}}{A(m^2)}$$

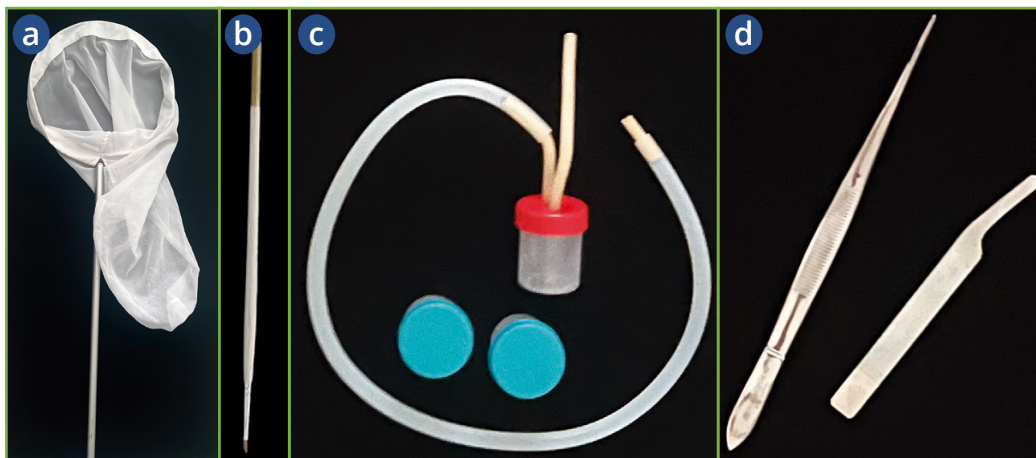
Donde:

Área de toma de muestra (A)= largo*ancho.

Métodos para el muestreo o la captura de mesofauna y macrofauna

Métodos de captura directa

Estos se fundamentan en la exploración activa de insectos, de forma directa, en diferentes sustratos o microambientes: troncos vivos o muertos, hojarasca, rocas o en hojas de los pastos. Su principal ventaja es que posibilitan localizar especies que se escapan a otros métodos de muestreo y, generalmente, establecer una conexión directa entre la especie encontrada y su hábitat. Para este tipo de recolección, se suelen utilizar herramientas como la jama terrestre (figura 7a), los pinceles (figura 7b), los aspiradores bucales (figura 7c) y las pinzas (figura 7d), que permiten capturar cualquier grupo de artrópodos en el modelo productivo de ganadería sostenible.



▲ **Figura 7.** Materiales para captura directa para artrópodos en modelo productivo de ganadería sostenible del Caribe colombiano. a. Jama terrestre; b. Pinceles; c. Aspiradores bucales; d. Pinzas.

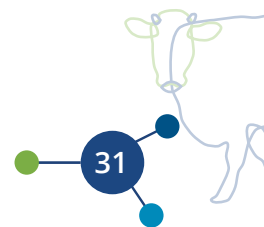
Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

Método de extracción por embudos Berlese-Tullgren

Consiste en un embudo metálico en cuyo extremo superior tiene una fuente de luz y en su parte terminal un frasco colector (figura 8a). El embudo de metal debe estar pulido en su interior para que resbalen los artrópodos; en la parte interior, a una distancia de 5 a 10 cm de profundidad, se sitúa una malla o tamiz de 1 a 2 mm para el suelo. Se coloca un frasco con alcohol a 70 °C en la parte final del embudo. Para una buena extracción de la fauna edáfica sensible a la desecación o a los estadios inmaduros, se utiliza una fuente de luz de 15 vatios durante ocho días; después de esto, se realizan conteos y se separan los artrópodos con la ayuda de un estereoscopio. Posteriormente, los artrópodos se conservan en alcohol al 70% para su identificación taxonómica.

Método de trampas de caída o *pitfall*

Es una herramienta de muestreo de gran difusión para capturar la fauna ubicada en la superficie del suelo. Este método consiste en enterrar en un vaso plástico de 250 mL y 10 cm de diámetro, enterrado a ras del suelo, adicionando 125 mL de alcohol al 70% en cada vaso (figura 8b). Las trampas permanecen en campo durante 48 horas, y después de este tiempo se recogen y se llevan al laboratorio, donde se limpian con agua destilada y los artrópodos colectados se separan, se contabilizan y se clasifican hasta la categoría taxonómica de órdenes y familias con ayuda del estereoscopio.





▲ **Figura 8.** Métodos para el muestreo de artrópodos. a. Embudos Berlese-Tullgren; b. Trampas de caída o *pitfall*.

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

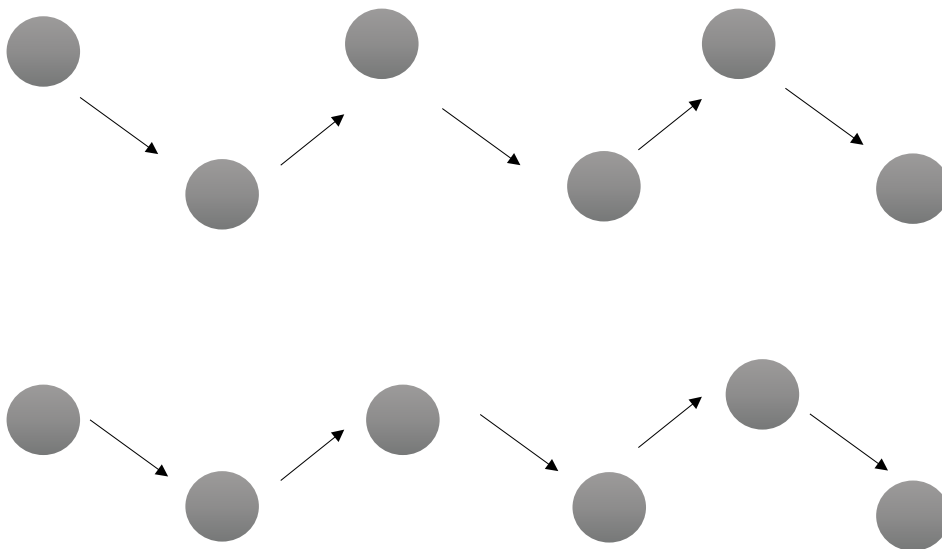
Para la identificación de los artrópodos se utilizaron las claves taxonómicas para órdenes y familias de CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia) (1970), McAlpine et al. (1981), Borror y White (1998), McGavin (2001), Triplehorn y Johnson (2005) y Fernández y Sharkey (2006).

Muestreo para la identificación de fauna edáfica

Para caracterizar la fauna edáfica, se tomaron muestras de suelo en cada uno de los potreros que conforman el sistema rotacional Mombasa y Agrosavia Sabanera.

Toma de muestras de suelos para determinar microflora y microfauna

El muestreo se llevó a cabo en el periodo de lluvias, desde mayo hasta noviembre, y el periodo seco, desde diciembre hasta abril en 2022. En cada potrero se marcaron 10 puntos en zigzag (figura 9), donde se tomaron muestras de suelo rizosférico, que posteriormente se mezclaron y homogenizaron en un balde. De esta mezcla se obtuvo una submuestra de 500 g, que fue empacada en una bolsa plástica con cierre hermético; luego, fue transportada en neveras de icopor al Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA.

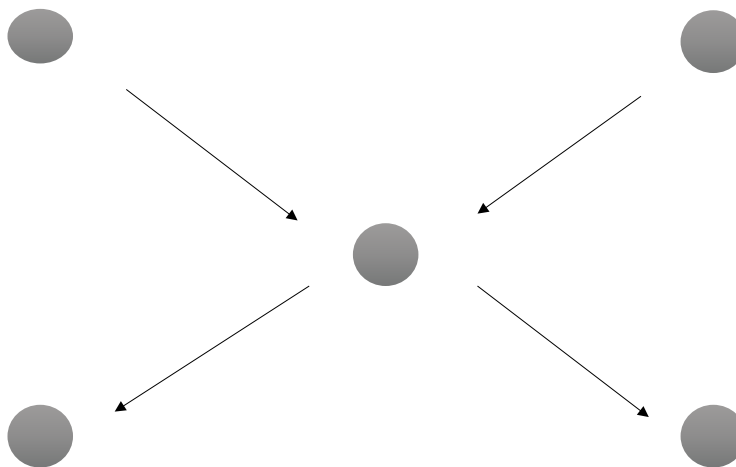


▲ **Figura 9.** Esquema de toma de muestras en campo para determinar microflora y microfaunas asociadas al modelo productivo de ganadería sostenible *M. maximus*.

Fuente: Elaboración propia

Toma de muestra para la determinación de mesofauna y macrofauna

Para la caracterización de los artrópodos en el follaje de los pastos del modelo productivo de ganadería de AGROSAVIA, se utilizó un muestreo sistemático con forma de X en cada potrero (figura 10). Después de capturar a los individuos, estos fueron depositados en bolsas de plástico con cierre *zip*, las cuales se almacenan en neveras de icopor para luego transportarlas al Laboratorio de Entomología del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA.



▲ **Figura 10.** Esquema para la captura de artrópodos en el follaje de la pastura en el modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA.

Fuente: Elaboración propia

Las muestras de suelo se tomaron en seis sitios de forma aleatoria para cada potrero, con un barreno a una profundidad de 10 cm (figura 11). Cada muestra se almacenó en una bolsa hermética y estas se transportaron también al Laboratorio de Entomología para la identificación taxonómica.



▲ **Figura 11.** Toma de muestra de suelo con barreno en el modelo productivo de ganadería.

Foto: Diana Beatriz Sánchez López

Las trampas de caída o *pitfall* se colocaron entre plantas, en seis puntos equidistantes en cada potrero, y en cada punto se instaló un vaso plástico. Las trampas se recogieron y se llevaron al Laboratorio de Entomología.



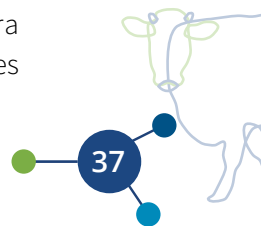


Fauna edáfica del modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA

El estudio de la vida biológica del suelo en un sistema ganadero se organizó según el tamaño y el estilo de vida de los organismos, los cuales se clasificaron en microflora, microfauna, mesofauna y macrofauna. La microflora incluye organismos microscópicos como bacterias, hongos, virus y algas (Kieliszek et al., 2021); la microfauna, protozoos, nematodos entre otros (Hooper et al., 2005; Khanipour Roshan et al., 2021); la mesofauna, organismos de tamaño intermedio como ácaros, colémbolos microartrópodos (Arbea & Blasco-Zumeta, 2001; Lüftenegger et al., 1988), y la macrofauna, los organismos más grandes, como lombrices de tierra, insectos, arácnidos y anélidos (Cabrera Dávila et al., 2022; De Souza et al., 2016). Estos grupos se analizaron en relación con un modelo específico, probablemente de manejo del suelo, para mejorar la comprensión de la diversidad y las funciones que desempeñan en el suelo, lo cual es esencial para la salud del suelo y la eficiencia del modelo productivo ganadero.

Microflora y microfauna en el modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA

En el modelo productivo de ganadería sostenible de AGROSAVIA, la microflora y microfauna del suelo son consideradas partes estructurantes para mantener la salud y productividad del ecosistema. Estas comunidades

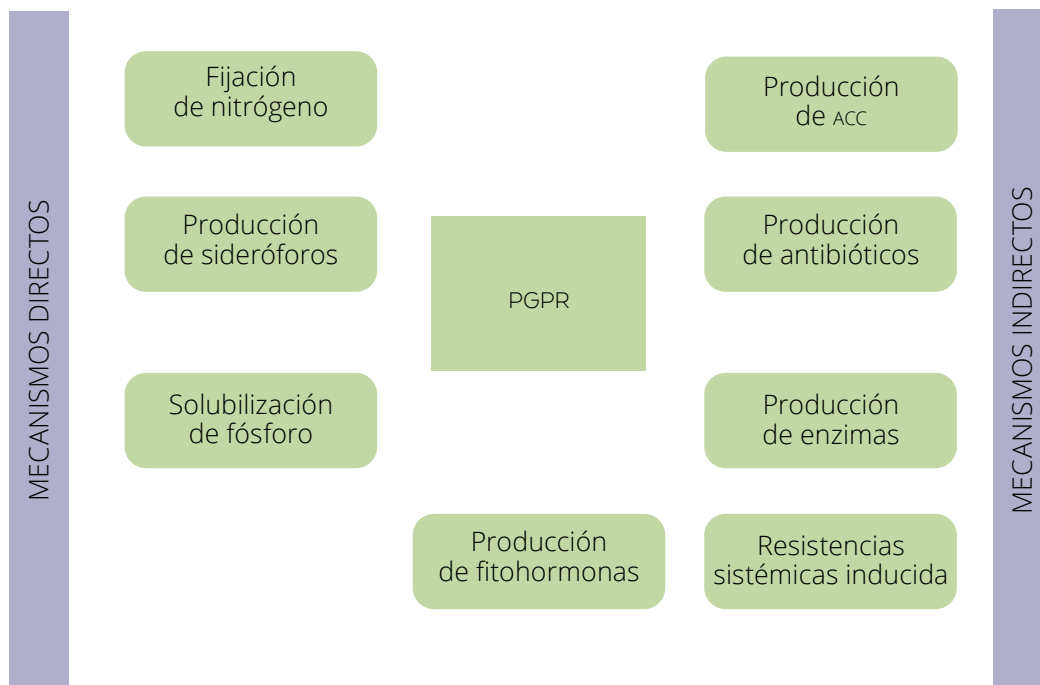


microbianas no solo aportan a la fertilidad del suelo a través de diferentes procesos, como la fijación de nitrógeno y de solubilización de fósforo, sino también al control biológico de patógenos y a la adaptación de las plantas a condiciones ambientales adversas. Todo lo anterior permite mejorar la producción ganadera de forma sostenible, y además aumentar la resiliencia y eficiencia biológica del ambiente.

Microflora en el modelo productivo sostenible

La biomasa microbiana de los suelos llamada microflora, que se refiere a los organismos del suelo con un tamaño inferior a 0,2 mm, son los organismos más pequeños del suelo, que desempeñan un papel eficaz en los procesos microbianos; por ejemplo, mejorar la fertilidad de los suelos, participar en la transformación de la materia orgánica, fijar el nitrógeno y mineralizar el fósforo. No obstante, las actividades microbianas también afectan las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, como la estructura del suelo, el pH y el estado redox del suelo. En particular, las comunidades microbianas que habitan en la rizosfera de las plantas contribuyen a la prevención y superación parcial de las tensiones medioambientales, lo cual presenta efectos beneficiosos e impulsa los procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la absorción de agua y nutrientes; esto se traduce en un crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, las *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) presentan mecanismos directos e indirectos, y así ejercen efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas (Naresh, 2021; Ilangumaran & Smith, 2017).

Entre los principales mecanismos directos de respuesta de las PGPR se encuentran la fijación de nitrógeno, solubilización y movilización de nutrientes, como fósforo, hierro y zinc, y la producción de fitohormonas: auxinas, giberelinas, citoquininas. Los mecanismos indirectos son el biocontrol de patógenos mediante la producción de ACC-desaminasa, antibióticos, enzimas líticas, resistencia sistémica inducida e inducción de resistencia contra estrés abiótico en las plantas y en la rizosfera, y la producción de sideróforos (Ilangumaran & Smith, 2017; Vaikuntapu et al., 2014) (figura 12).



▲ **Figura 12.** Mecanismos directos e indirectos por PGPR.

Fuente: Elaboración propia

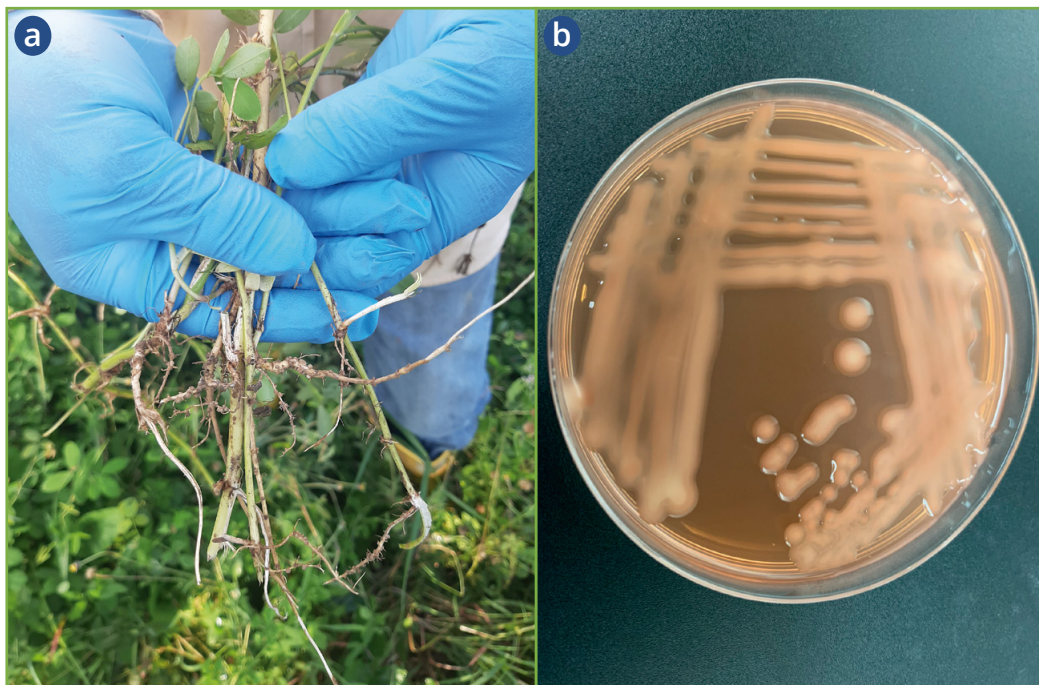
Grupos funcionales de microorganismos asociados al modelo productivo sostenible

En el modelo productivo sostenible de ganadería, se encontró una gran cantidad de microorganismos asociados a las pasturas *M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera y Mombasa, los cuales se relacionan con cinco grupos funcionales: los fijadores de nitrógeno, los solubilizadores de fósforo, los amilolíticos, los proteolíticos y los celulíticos, que son capaces de realizar una gran cantidad de actividades benéficas para el entorno.

Microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico

El nitrógeno es el elemento más importante para el desarrollo de las pasturas, ya que el 78% de la atmósfera está compuesta por este gas, que además es inaccesible para las pasturas. Sin embargo, los microorganismos juegan un papel fundamental en la fijación de nitrógeno, en el cambio del nitrógeno a amonio —utilizado en un sistema complejo llamado nitrogenasa—, así como en la promoción del crecimiento y en la conservación del nitrógeno en el suelo agrícola (Döbereiner et al., 1995).

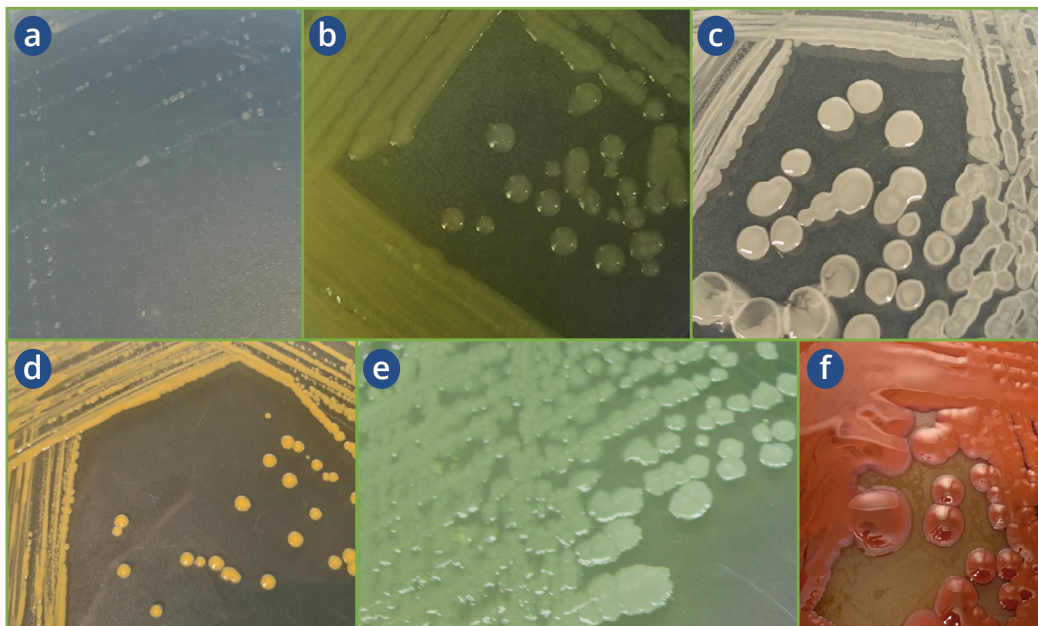
Las plantas de crecimiento rápido aprovechan la capacidad de fijar nitrógeno del aire a través de su asociación con microorganismos. Este proceso ocurre mediante dos mecanismos: el simbiótico, en el cual las plantas se asocian con microorganismos que fijan nitrógeno, y el asimbiótico, en el que utilizan el nitrógeno previamente fijado al suelo por microorganismos independientes. Las bacterias simbióticas colonizan las raíces de las leguminosas y producen órganos especiales dentro de las raíces llamados nódulos, los cuales tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Dentro de los nódulos radiculares de las plantas leguminosas, los bacteroides representan la forma diferenciada de las bacterias del género *Rhizobium* después de infectar las raíces. Estas bacterias fijan el nitrógeno atmosférico, y lo transforman en amoníaco que las plantas pueden utilizar como nutriente esencial para su desarrollo. Este proceso es crucial para el ciclo del nitrógeno en el medio ambiente, ya que enriquece el suelo con nitrógeno útil y disminuye la necesidad de fertilizantes nitrogenados. A cambio, las plantas suministran a las bacterias un entorno rico en carbono, que es necesario para su metabolismo y supervivencia (Lavin et al., 2021). Entre los géneros destacados se encuentran: *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, *Allorhizobium*, *Ochrobactrum* y *Mesorhizobium*. En el modelo productivo sostenible de ganadería de AGROSAVIA se observaron nódulos activos asociados a leguminosas presentes en potreros como: *Desmodium Scorpiurus* y *Desmodium incanum*, de las cuales, al ser llevadas al laboratorio, se obtuvieron bacterias simbióticas del género *Rhizobium* sp. (figura 13).



▲ **Figura 13.** Asociaciones simbióticas. a. Leguminosa con nódulos; b. Bacterias simbióticas.

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

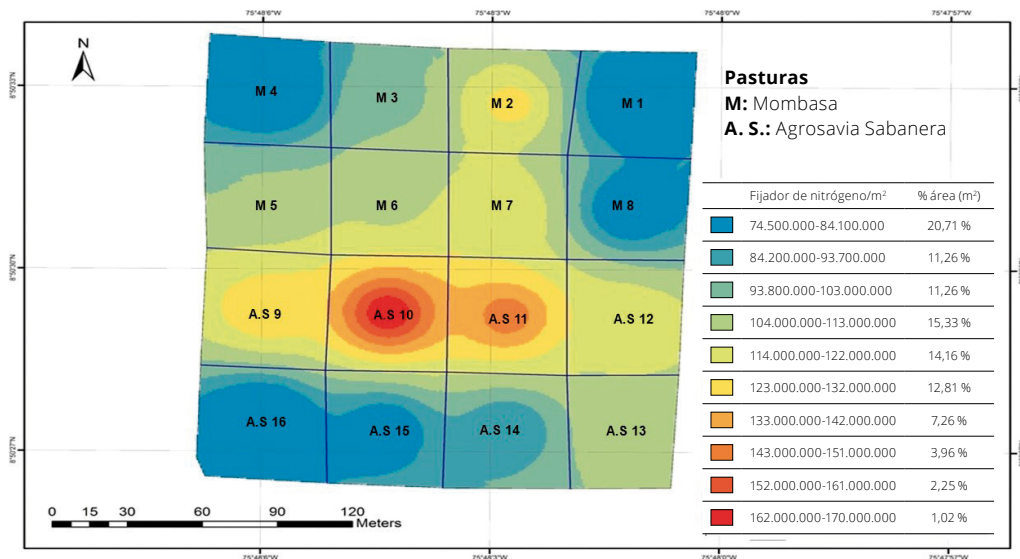
Por el contrario, las asimbióticas o rizobacterias de vida libre están presentes en los suelos y tejidos vegetales, pero no forman nódulos en las raíces de las plantas. Los géneros encontrados en el modelo de producción de ganadería sostenible de AGROSAVIA son: *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. y *Serratia* sp.; estas bacterias son muy útiles para el crecimiento de los pastos (figura 14).



▲ **Figura 14.** Características macroscópicas de bacterias asimbióticas asociadas al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia. a. *Azospirillum* sp. *Aspergillus*; b. *Azotobacter*; c. *Bacillus* sp.; d. *Micrococcus*; e. *Pseudomonas* sp.; f. *Serratia* sp.

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

Al evaluar la concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados en el periodo de lluvias y en el periodo seco en el sistema ganadero, se pudo constatar que estos microorganismos presentaron diez rangos de concentraciones. La menor concentración fue de 79.300.000 individuos/m², que ocupó una superficie del 20,71 % del área total del sistema rotacional de 8 hectáreas, y la mayor concentración fue de 166.000.000 individuos/m², que estuvo asociada principalmente a la pastura *M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera (establecidas en 4 hectáreas) en una superficie equivalente al 1,02 % (figura 15).



▲ **Figura 15.** Concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos asociados al modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Estos microorganismos, de manera biológica, aportan una parte de las exigencias de nitrógeno en el cultivo; además, reducen la cantidad de células de las plantas envejecidas, lo que alarga su vida fotosintética (González Durán & Carmona Gómez, 2018). Los resultados obtenidos ayudan a tener mejores cosechas y a optimar la eficiencia del uso del nitrógeno sin tener ningún impacto ambiental.

Al comparar las UFC/m² en dos coberturas evaluadas: bosque de florisanto (Centro de Investigación Turipaná) y el modelo productivo sostenible de ganadería de AGROSAVIA se observó un incremento del 6,68% en el periodo de lluvias; por el contrario, en el periodo seco, se presentó un descenso del 44,04 % en el modelo. Esto pudo presentarse por la

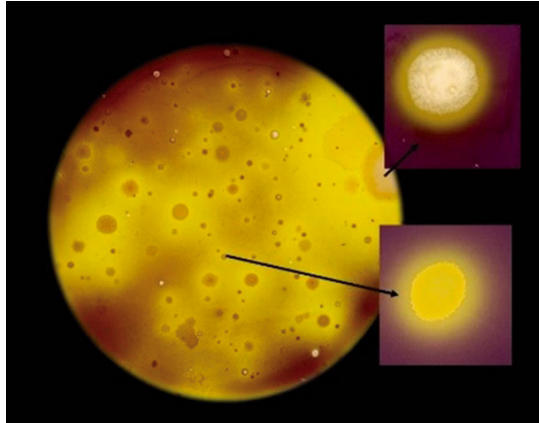
acidez del suelo en los lotes de los potreros, lo que además puede ser un factor limitante en la fijación atmosférica de N^2 , debido a efectos directos de la concentración de hidrogeno (H^+) (Giller & Cadisch, 1995).

Microorganismos solubilizadores de fósforo

El fósforo es el segundo macronutriente más importante y necesario para el metabolismo, el crecimiento y el desarrollo de las plantas. A pesar de la gran cantidad de fósforo que existe en formas orgánicas e inorgánicas en el suelo, la mayoría de las plantas no puede absorberlo debido a reacciones químicas con iones metálicos en el suelo. Por consiguiente, estos microorganismos solubilizadores actúan solubilizando fosfato insoluble en el suelo mediante diferentes mecanismos, los cuales se describen a continuación:

- Secreción de ácidos orgánicos como: cítrico, oxálico, láctico, glucónico, succínicos, 2-cetoglucónico, isobutírico y acético (Perea Rojas et al., 2019).
- Producción de enzimas hidrolíticas: fosfatasas (Rawat et al., 2021).
- Excreción de sideróforos que pueden retener los iones metálicos y formar complejos; esto permite que estén disponibles para que puedan ser absorbidos de manera eficaz por los pastos (Ichirani et al., 2018).

En el modelo productivo sostenible de ganadería de AGROSAVIA se destacaron los géneros: *Pseudomonas* sp., *Enterobacter* sp., *Bacillus* sp., *Rhizobium* sp., *Serratia* sp., *Penicillium* sp., y *Aspergillus* sp. (Sánchez López et al., 2022); estos desempeñan un papel importante en el suelo con actividades metabólicas e integración de nutrientes en los suelos, y mejoran la producción de forrajes de los pastos (figura 16).

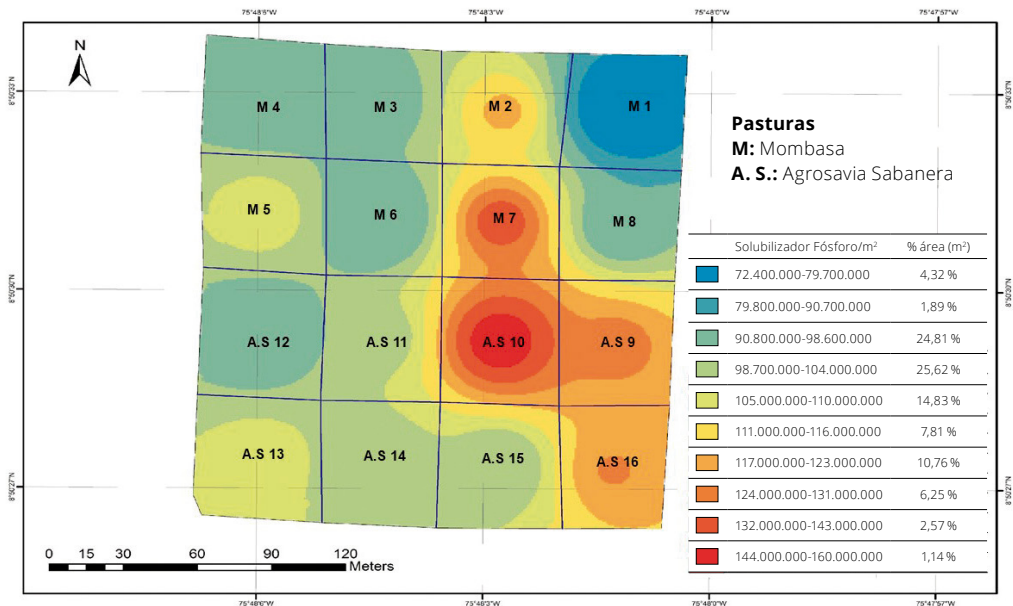


▲ **Figura 16.** Microorganismos solubilizadores de fósforo en medio de cultivo SRSM asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

En el modelo productivo sostenible de ganadería de AGROSAVIA, las concentraciones de microorganismos solubilizadores de fósforo se presentaron en rangos de 90.800.000 a 98.600.000 individuos/m² y de 98.700.000 a 104.000.000 individuos/m²; estos ocuparon las mayores superficies del terreno, equivalentes al 24,81 % y al 25,62 %, respectivamente. Las mayores concentraciones de estos microorganismos, comprendidas en el rango de 144.000.000 a 160.000.000 individuos/m², estuvieron restringidas al 1,14 % de la superficie del terreno plantado con *M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera (figura 17).



▲ **Figura 17.** Concentración de solubilizadores de fósforo asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia.

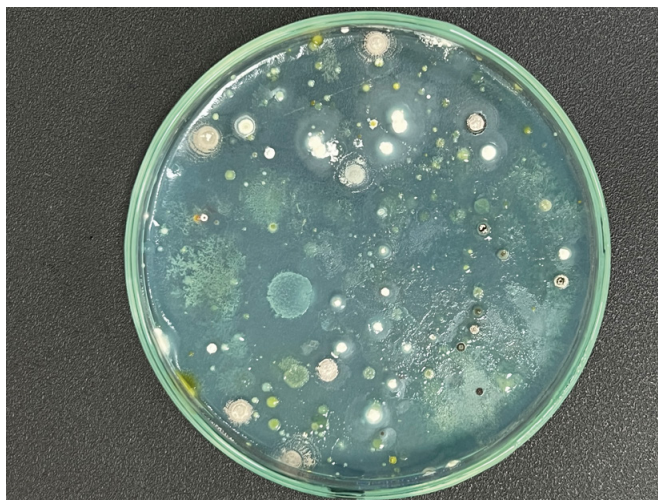
Fuente: Elaboración propia

La actividad ganadera en el modelo productivo sostenible implica prácticas como la rotación de animales y la renovación de raíces y forrajes, las cuales pueden influir en las concentraciones de microorganismos que solubilizan fósforo en el suelo. En las áreas de pastoreo, se ha observado una disminución en estos microorganismos, posiblemente debido a que el movimiento y la alimentación de los animales alteran el suelo y las plantas, y esto afecta a los microorganismos. Los datos de análisis de suelo realizados en la zona de estudio reflejan un descenso del 29,42 % en la disponibilidad de fósforo en comparación con el bosque de florisanto durante el periodo de lluvias, mientras que en el periodo seco el descenso fue de solo 1,45 %.

Sin embargo, durante los periodos de sequía, cuando hay menos lluvia, el modelo productivo sostenible parece tener un efecto positivo. En estas condiciones, se observa un incremento en el crecimiento de los microorganismos solubilizadores de fósforo. Esto podría deberse a una respuesta adaptativa, en la que las raíces de los pastos y los microorganismos trabajan conjuntamente para aprovechar el fósforo disponible en el suelo.

Microorganismos amilolíticos

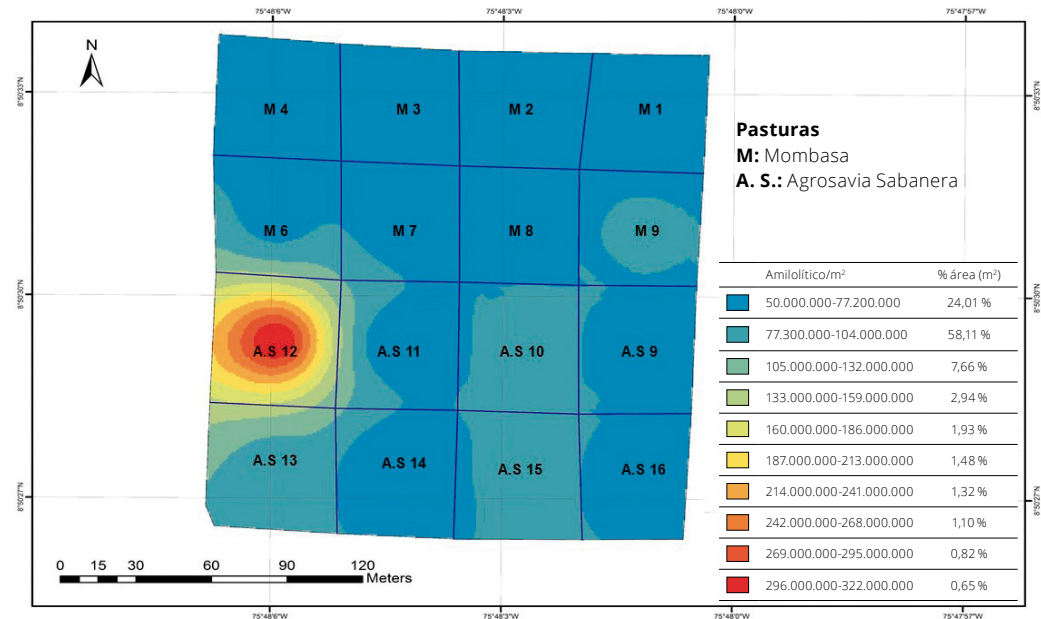
Estos microorganismos producen enzimas que actúan de manera sinérgica en la hidrólisis de los enlaces glicosídicos de la molécula de almidón (figura 18), y de esta manera la hidrolizan en maltooligosacáridos. Se consideran la mayor fuente biológica de producción de enzimas (Gupta et al., 2003); se destacan hongos filamentosos en el modelo productivo, como: *Geotrichum* sp., *Aspergillus tamarri*, *Penicillium* sp. *Rhizopus oryzae* y *Fusarium* sp., seguidos de actinomicetos como *Streptomyces* sp.



▲ **Figura 18.** Microorganismos amilolíticos en medios de cultivo almidón.

Foto: Diana Beatriz Sánchez López

Los microorganismos amilolíticos se encontraron distribuidos uniformemente en el modelo productivo; las concentraciones más bajas ocuparon las superficies más grandes del terreno, y representaron el 58,11 %. La mayor concentración se dio en un área del 0,65 % de la superficie total del terreno en el *M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera (figura 19).



▲ **Figura 19.** Concentración de microorganismos amilolíticos en el modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

En el análisis comparativo entre el modelo sostenible de ganadería y el bosque de florisanto (como testigo), se observó un descenso significativo en los recuentos de microorganismos amilolíticos en el modelo productivo. Durante el periodo de lluvias, los recuentos en el modelo de ganadería sostenible disminuyeron un -15,73 % en comparación con los del

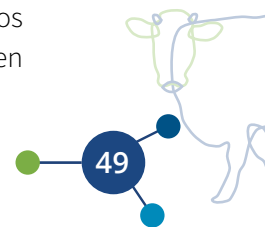
bosque de florisanto, lo que indica que el ecosistema natural mantuvo una mayor población de microorganismos en esta temporada. En el periodo seco, la diferencia fue aún más pronunciada, con un descenso del -32,52 % en los recuentos del modelo de ganadería, lo que sugiere que las condiciones de estrés hídrico impactaron más profundamente la actividad microbiana en el modelo productivo. Por su parte, el bosque de florisanto, como testigo, presentó una mayor estabilidad en sus recuentos microbianos; de esta manera, su capacidad para conservar microorganismos amilolíticos fue notablemente superior en el periodo de lluvias y en el periodo seco, con un descenso del -13,59 % en lluvias y del -24,5 % en seco al compararlo con el modelo de ganadería.

Estos microorganismos amilolíticos utilizan enzimas reductoras para producir azúcares simples y actúan como abastecedor potencial de nutrientes para los pastos; así, protegen la actividad biogeoquímica del suelo y liberan glucosa, que es un sustrato que asimilan más fácil los demás microorganismos que se encuentran en los suelos (Gupta et al., 2003).

Las amilasas son muy usadas en diferentes aplicaciones biotecnológicas, en las cuales se destacan las industrias alimentaria, textil, del papel y de la formulación de detergentes. Estas amilasas se obtienen de varias fuentes, como las plantas, los animales y los microorganismos (Ostos Ortiz et al., 2019). Sin embargo, las enzimas microbianas satisfacen en gran medida las demandas industriales, ya que hoy en día las amilasas microbianas están sustituyendo a la hidrólisis química de la industria del almidón. Esto se debe a que el humus en los suelos es una fuente importante de minerales y nutrientes orgánicos como el almidón para las poblaciones de microorganismos nativos (Daunoras et al., 2024).

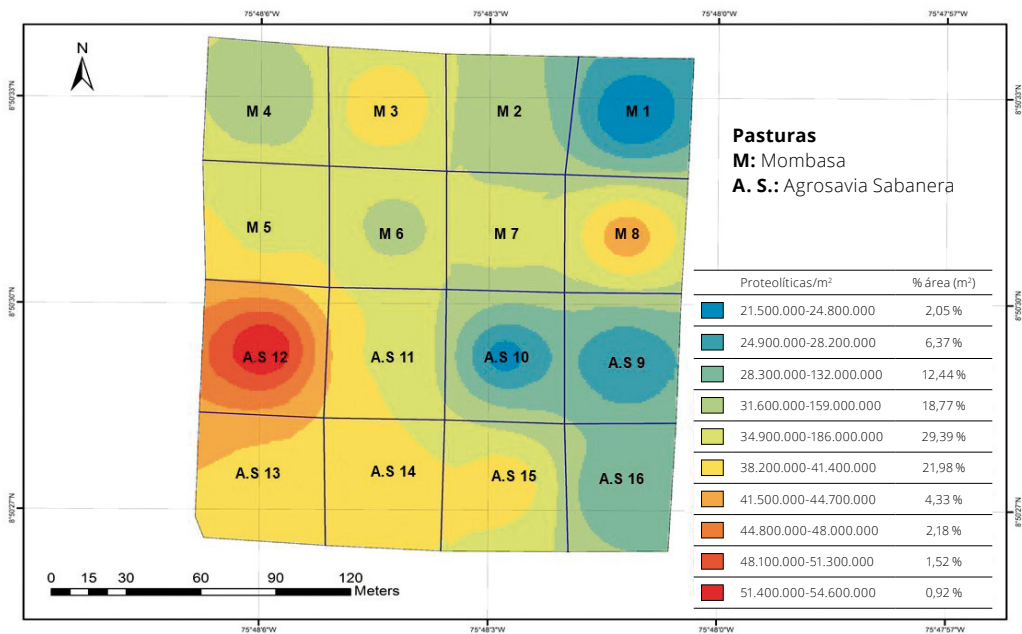
Microorganismos proteolíticos

Estos microorganismos poseen enzimas que pueden degradar proteínas y péptidos, para ser transportadas al interior de la célula y poder ser metabolizadas. Existen diversos grupos de microorganismos, como actinomicetos, bacterias, mohos y levaduras, que producen



proteasas tanto intracelular, como extracelularmente. Estos microbios contribuyen a un reservorio de elementos nutritivos, y de esta manera son agentes fundamentales para la fertilidad del suelo y miden la riqueza microbiana en suelo por su actividad enzimática.

En el modelo productivo sostenible de ganadería, los microorganismos proteolíticos se hallaron con mayor frecuencia en un rango de 34.900.000 a 38.100.000 individuos/m², lo que representa un 29,39% del total. La mayor concentración se observó limitada al 0,92 % del área total del terreno en *M. maximus* cv. Agrosavia Sabanera (figura 20).



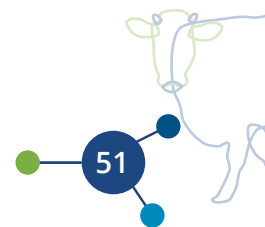
▲ **Figura 20.** Concentración de microorganismos proteolíticos en el modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

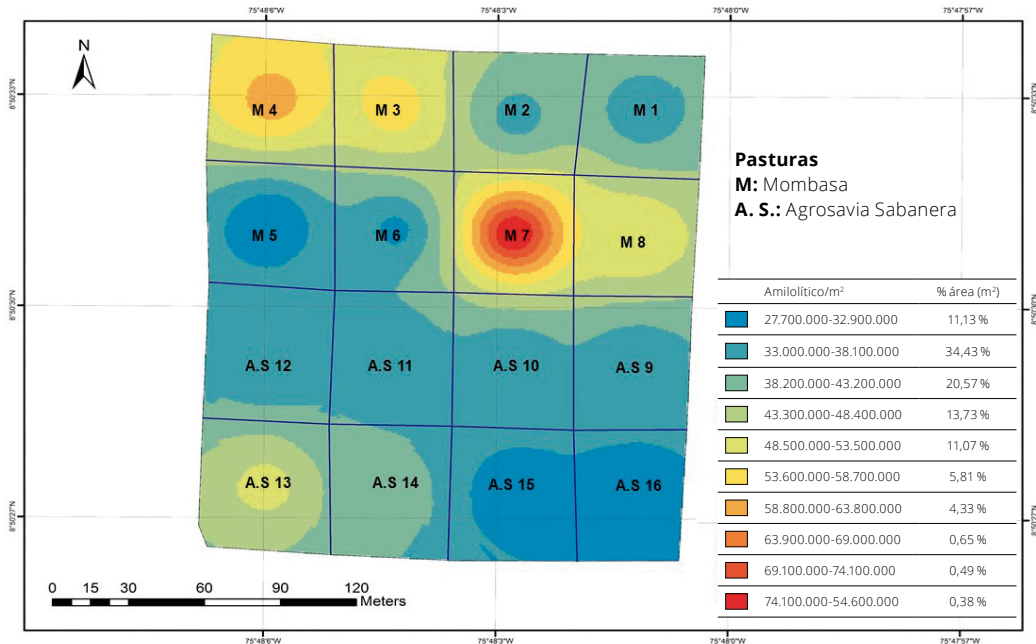
Los recuentos de microorganismos proteolíticos en el modelo productivo sostenible en periodos de precipitación, en comparación con el bosque de florisanto, experimentaron un descenso del -85,60%. En contraste, en el periodo seco, el modelo de producción presentó un incremento del 77,77% en comparación con el bosque de florisanto. Se ha demostrado que todos los organismos vivos requieren nitrógeno para generar proteínas; por lo tanto, la acción de los microorganismos fijadores de nitrógeno en los suelos posibilita la disminución de la biomasa que será sujeta a su descomposición posterior por parte de los microorganismos proteolíticos.

Microorganismos celulolíticos

El modelo productivo de ganadería sostenible presenta gran proporción de biomasa vegetal en forma de hojarasca, raíces, tallos suministrados por árboles y arbustos que surgen debido a que no se aplican herbicidas; estos últimos se ubican de forma dispersa en los diferentes potreros de árboles como: *Gliricidia sepium* (matarratón), *Enterolobium cyclocarpum* (orejero), *Erythrina fusca* (chengue), *Maclura tinctoria* (mora), *Pachira quinata* (ceiba), *Ficus benjamina* (higo), *Guazuma ulmifolia* (guasimo), *Samanea saman* (campano), *Gmelina arborea* (melina), *Inga edulis* (guama) y *Tabebuia rosea* (roble), que hacen parte del diseño silvopastoril (Mejía Kergelén et al., 2019). Además, se considera el residuo de las pasturas, el cual representa en el suelo la mayor fuente de celulosa; esta, a su vez, es descompuesta por la actividad de los microorganismos celulolíticos, que asimilan los azúcares simples resultantes de los procesos de reducción de polisacáridos complejos. En consecuencia, el uso de celulosa microbiana es responsable de uno de los mayores flujos de materiales en la biosfera, ya que, en el medio ambiente, los rumiantes toman la celulosa microbiana como fuente principal de proteína dietética. Este contexto tiene un costo relativamente bajo y es de abundante suministro en la naturaleza (Ferrer-Marcelo et al., 2011).



La concentración de microorganismos celulolíticos en el modelo productivo se encontró entre 33.000.000 y 38.100.000 individuos/m², lo que ocupa la mayor superficie del terreno correspondiente al 33,43%. La mayor concentración que se observó en el rango de 74.100.000 a 79.300.000 individuos/m² estuvo restringida a *M. maximus* cv. Mombasa en un área de 0,38% (figura 21).



▲ **Figura 21.** Concentración de microorganismos celulolíticos en el modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

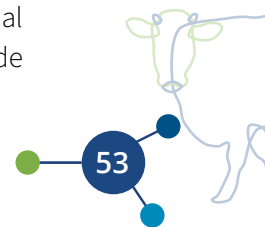
Los recuentos de microorganismos celulíticos en el modelo productivo sostenible durante el periodo de lluvias mostraron un descenso del -92,42%, en comparación con el bosque de florisanto, mientras que en el periodo seco el modelo productivo mostró un incremento del

8,83% con respecto al bosque. Esta diferencia podría estar relacionada con la mayor entrada de materia orgánica aérea y subterránea en el bosque de florisanto, lo que generó una mayor disponibilidad de compuestos orgánicos fácilmente degradables para las comunidades bacterianas y micóticas del suelo. En este contexto, las mediciones de contenido de materia orgánica en el suelo fueron superiores en el bosque, lo que favoreció la actividad de los microorganismos celulíticos, especialmente en suelos con mayor cantidad de recursos orgánicos. En contraste, en el modelo productivo, la lixiviación de nutrientes durante las lluvias y la absorción de nutrientes por las raíces del pasto probablemente limitaron los recursos disponibles para los microorganismos, lo cual contribuyó a los menores recuentos en este periodo. Además, la disponibilidad de nutrientes y el pH del suelo en el bosque de florisanto fueron más estables, y esto facilitó una mayor actividad microbiana. En el periodo seco, las mediciones de temperatura del suelo y la conductividad eléctrica podrían haber influido en la dinámica microbiana. Un ambiente más cálido en el modelo productivo durante este periodo posiblemente habría favorecido la actividad de los microorganismos, y esto habría ayudado a la degradación de compuestos complejos como la celulosa, lo que explica el incremento en los recuentos observados en ese tiempo.

Estos microorganismos celulíticos del suelo tienen una extensa aplicabilidad, lo cual mejora la calidad de las pasturas y la depuración de suelos contaminados, y ofrece una mayor disponibilidad de nutrientes. Los microorganismos celulíticos se usan mucho como bioestimulantes, biofertilizantes, bioherbicidas, bioplaguicidas y agentes de control biológico; además, se consideran sustitutos adecuados para minimizar la aplicación de agroquímicos en la producción de cultivos (Ferrer-Marcelo et al., 2011).

Micorrizas en el modelo productivo sostenible

El término “micorrizas” hace referencia a la relación simbiótica beneficiosa que existe entre un hongo y las raíces de las pasturas. La planta, en este caso las pasturas, le suministra al hongo moléculas orgánicas (nutrientes) que produce mediante la fotosíntesis a partir de



la luz solar; a cambio de ello, el hongo les proporciona agua, nutrientes y minerales a las pasturas que extrae del suelo.

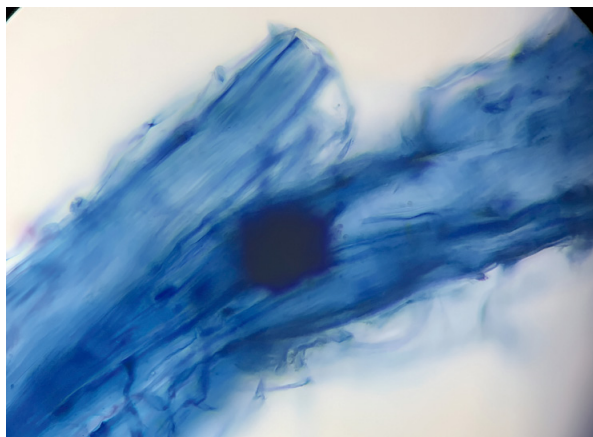
La clasificación de las micorrizas se fundamenta esencialmente en la interacción entre las células de las raíces de las pasturas, los hongos y las hifas. Se clasifican en dos grupos: endomicorrizas y ectomicorrizas.

Endomicorrizas

Es una simbiosis entre hongos del suelo y las raíces de las plantas (figura 22).

Ectomicorrizas

Son hongos cuyas hifas fúngicas se adhieren a las raíces de las pasturas y forman un manto, y penetran entre la dermis y las células corticales del eje de la raíz; así mejoran su funcionabilidad.



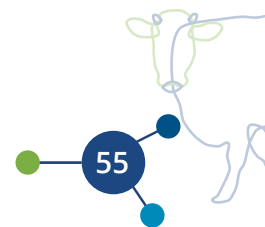
▲ **Figura 22.** Colonización de endomicorrizas en pasturas de *M. maximus* asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia.

Foto: Diana Beatriz Sánchez López

En el modelo productivo sostenible estuvo representada con porcentajes de colonización de endomicorizas para las pasturas gramíneas forrajeras *Megathyrus maximus* cv. C. Agrosavia Sabanera, con un 84,88% en periodos de lluvias y un 74,0% en el periodo seco, y *M. maximus* cv. Mombasa, con un 70,50% en el periodo de lluvias y un 63,8% en el periodo seco. Por su parte, el bosque de florisanto presentó un descenso en el periodo de lluvias del 63,33 % y en el periodo seco del 70,70 %. El pastoreo puede causar cambios en la abundancia y riqueza de hongos formadores de micorizas arbusculares (HFMA) y la composición de la comunidad en las raíces de los pastos y el suelo circundante. No obstante, estas respuestas son ambientalmente sensibles al hábitat y pueden ser influidas por las características y la dinámica del suelo.

Los hongos asociados a las raíces de las plantas cumplen un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad y en la formación del ensamblaje comunitario de las pasturas hospedantes. Es importante resaltar que las comunidades de HFMA pueden variar durante los periodos de lluvia y de sequía, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes y agua. Por lo tanto, impactan directamente a las pasturas hospedantes (Santoyo et al., 2021).

Los HFMA son uno de los grupos más relevantes de organismos del suelo y son responsables de la actividad de simbiontes micorrízicos con las raíces de aproximadamente el 72 % de las plantas terrestres. Diversos estudios han demostrado que los HFMA pueden mejorar el crecimiento de las plantas hospedadoras mediante la absorción de nutrientes y agua, con el objetivo de aliviar el estrés abiótico, como la sequía. Las hifas de estos hongos pueden explorar los poros del suelo, donde los pelos radicales de las plantas no pueden llegar accediendo a fuentes de agua y nutrientes que no están disponibles para las plantas. Por lo tanto, los HFMA logran proporcionar beneficios para mejorar el rendimiento de la planta, modificar la conexión planta-agua e incrementar la productividad de la planta bajo estrés por sequía (Bianco, 2023).



Microfauna en el modelo productivo sostenible

La microfauna del suelo incluye principalmente protozoos y nematodos, los cuales habitan en películas de agua y contribuyen a los principales procesos del ecosistema del suelo. También son conocidos como servicios del ecosistema, como la descomposición de materia orgánica, la liberación de nutrientes para las plantas y el mantenimiento de la estructura del suelo.

Protozoos

Los protozoos de vida libre son un conjunto de microorganismos unicelulares de 10-100 μm , que se encuentran asociados a los ecosistemas terrestres, como las hojas de los pastos, las cortezas de los árboles, el agua, el musgo, los líquenes y los horizontes superficiales del suelo; particularmente están relacionados con vegetación en descomposición. Su tamaño oscila de micrómetros a milímetros, su forma fluctúa entre amorfos, ovalados y alargados. Se desplazan por tres tipos de organelos, pseudópodos, flagelos y cilios, y se encuentran representados por miles de especies; algunos se desplazan por movimientos de flexión del cuerpo, sin usar organelos especializados (figura 23).

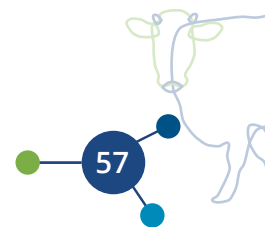


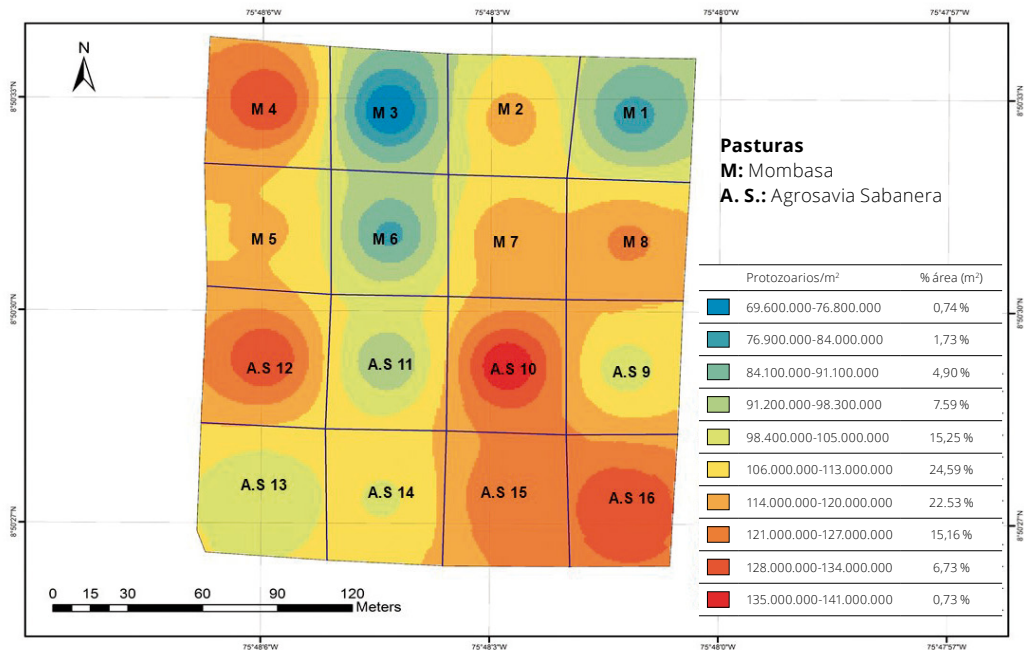
▲ **Figura 23.** Protozoos de vida libre asociados al modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia. a. Ameba; b. Ciliados; c. Flagelados.

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López

Estos organismos son protistas, heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, y en ocasiones mixótrofos y autótrofos, los cuales viven en ambientes húmedos o en medios acuáticos y como parásitos de otros. En su función de depredadores, se encuentran a cargo de algas, bacterias y microhongos unicelulares o filamentosos; además, desempeñan un papel de herbívoros y consumidores en el acoplamiento del proceso de descomposición de la cadena alimentaria y, su a vez, juegan un papel vital en el control de biomasa y población bacteriana (Khanipour Roshan et al., 2021).

En el modelo productivo sostenible ganadero, se destacan los géneros de protozoos como: *Mayorella* sp., *Acanthamoeba* sp., *Vanella* sp., *Arcella* sp., *Diffugia* sp., *Trinema* sp., *Hyalosphenia* sp., *Chilodonella* sp., *Oligotrichia* sp., *Perispira* sp. y *Euplotes* sp. (Sánchez et al., 2022). Estos protozoos son fundamentales en el ecosistema del suelo, en la formación y la fertilidad del suelo, probablemente influidos por la dinámica y las estructuras comunitarias. La inmensa mayoría de estos protozoos terrestres se nutren especialmente de bacterias, y se encuentran en el reciclaje de los nutrientes del suelo, que liberan los nutrientes fijados de la biomasa bacteriana, lo que mejora la nutrición de los suelos y las pasturas (Khanipour Roshan et al., 2021). En este modelo, los protozoos se encontraron con mayor frecuencia en un área de 24,59% en un rango de 106.000.000 a 113.000.000 individuos/m². Por el contrario, las mayores concentraciones estuvieron limitadas a un área del 0,73%, y estuvieron representadas por el rango de 135.000.000 a 141.000.000 individuos/m² (figura 24).





▲ **Figura 24.** Concentración de protozoos asociados al modelo productivo sostenible ganadero de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

La materia orgánica evita que los nutrientes del suelo se pierdan por el lavado, la lixiviación o algún otro proceso, pues al estar integrados a la materia orgánica pueden ser liberados gradualmente por la acción de los microbios; esto tiene un efecto positivo en la capacidad de retención de agua, en la estabilidad de estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para biota (Bani et al., 2018).

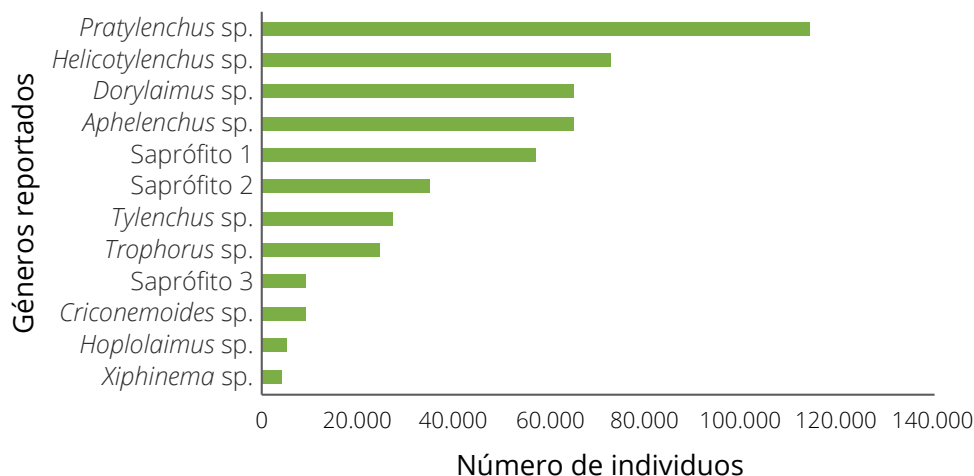
Nematodos

Se llaman gusanos redondos y constituyen uno de los filos más grandes del reino animal. Se considera que los nematodos del suelo son de vida libre o los parásitos de plantas y animales. Los nematodos de vida libre consumen bacterias, hongos, protozoos, algas, pequeños rotíferos y otros nematodos. Por el contrario, los nematodos de las plantas se alimentan especialmente de ellas y son los principales descomponedores con el nivel trófico más bajo. Son rapiña de la mesofauna, lo que demuestra que forman un nodo relevante y una transformación en la red alimentaria del suelo (Hunt et al., 2005).

En el modelo productivo de ganadería sostenible, acorde a la distribución de los 16 potreros, se identificaron ocho géneros distintos de nematodos, entre los que se destacan: *Aphelenchus* sp., *Dorylaimus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Pratylenchus* sp., *Criconemoides* sp., *Trophorus* sp., *Xiphinema* sp., *Hoplolaimus* sp. y tres saprófitos reconocidos como Saprófito 1, Saprófito 2 y Saprófito 3; estos fueron la mayor riqueza de especies observadas en los potreros de Mombasa 3, seguida de Mombasa 4 y Sabanera 3 (ver distribución de potreros de Mombasa - M y Agrosavia Sabanera - A. S. en la figura 1), con siete géneros distintos en cada potrero. Si se comparan geográficamente estos resultados de riqueza y se relacionan con la presencia de árboles y arbustos, se encontrará que corresponden en puntos donde hay una presencia de distintos árboles fijadores de nitrógeno. A partir de lo anterior, se puede inferir que estos contribuyen a mantener una riqueza de especies de nematodos para el equilibrio en la fauna del suelo. El potrero con menor riqueza se presentó en Sabanera 8, con 2 géneros de nematodos: *Dorylaimus* sp. y *Aphelenchus* sp.; este potrero cuenta con pocos o ningún árbol en el área.

Conforme a los resultados, fue posible establecer que los nemátodos reportados en este estudio con mayor abundancia relativa fueron, en orden de mayor a menor: *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Dorylaimus* sp., *Aphelenchus* sp. y Sápófito 1. Estos resultados sugieren que *Pratylenchus* sp. tuvo un comportamiento anormal con respecto a los demás géneros,

lo que evidencia un mayor incremento en número de individuos en el lote Mombasa 8. Esto, al ser contrastado con los demás tratamientos, evidencia que hay solo pastura y que esta puede estar generando condiciones favorables para estos microorganismos; no obstante, afecta la diversidad, la equidad y el equilibrio del ecosistema ganadero. *Pratylenchus* sp. es considerado un nematodo de importancia para otros cultivos, ya que lesiona las raíces y permite el ingreso de patógenos en ellas (Maggenti, 1981) (figura 25).

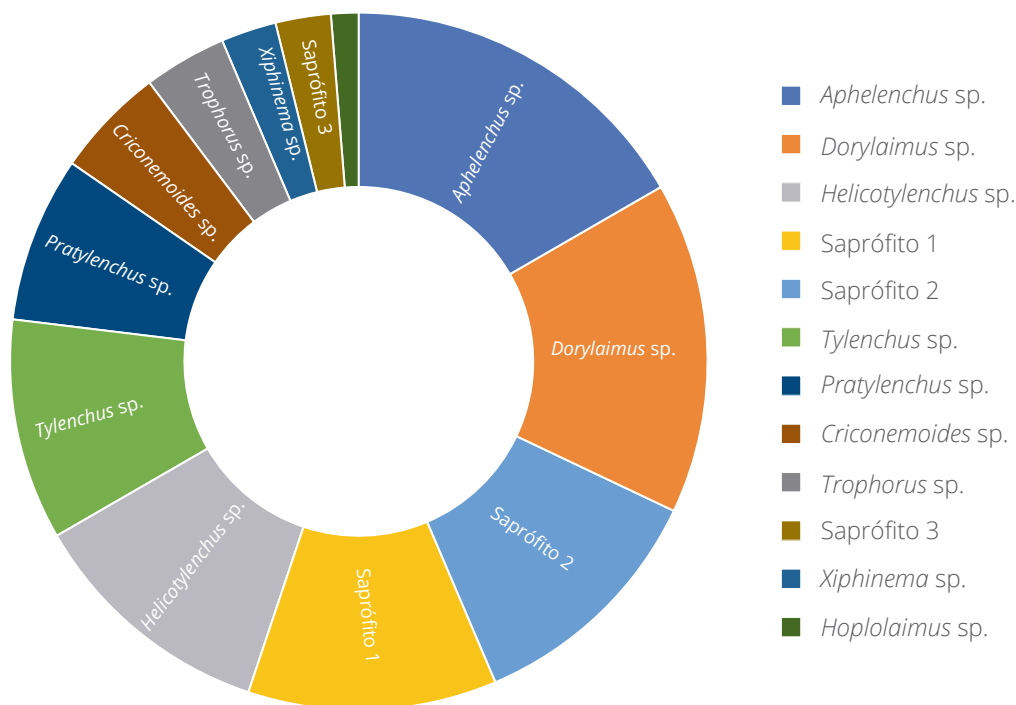


▲ **Figura 25.** Abundancia relativa de nematodos asociados a la rizósfera del modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Conforme el conteo realizado en el área experimental, se pudo establecer que los géneros de mayor frecuencia y distribución en los tratamientos fueron *Aphelenchus* sp. y *Dorylaimus* sp. (figura 25). Estos géneros están asociados a procesos de descomposición de materia orgánica y suelen estar presentes en suelos que cuentan con un nivel de equilibrio en su composición. Estos, a su vez, se ven acompañados en menor frecuencia, pero no menos importante, por dos géneros de saprófitos, los cuales juegan un papel fundamental en

la descomposición de la materia orgánica y mejoran los indicadores biológicos de los suelos. A partir de esta observación, se puede establecer que los modelos agroforestales presentes en el área de investigación contribuyen en gran medida a generar una respuesta positiva en las comunidades de nematodos y proporcionan así condiciones para el equilibrio de las poblaciones, además de presentar indicadores de calidad por la materia orgánica que se acumula.

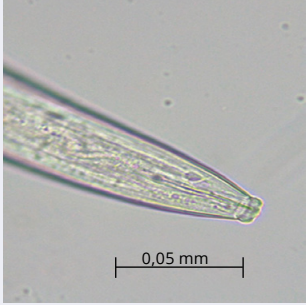


▲ **Figura 26.** Frecuencia de los géneros de nematodos observados en el modelo productivo sostenible de ganadería.

Fuente: Elaboración propia

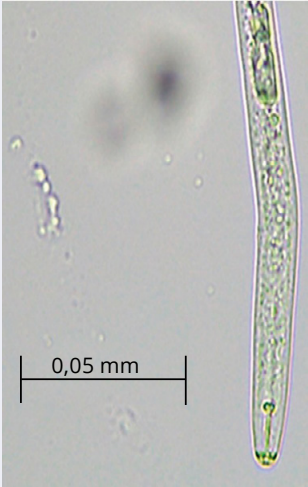
La descripción de los géneros de nematodos reportados en los potreros del modelo productivo sostenible se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Géneros de nematodos reportados en los potreros del modelo productivo sostenible de ganadería de la región Caribe de Colombia

Géneros	Parte anterior (labios, cabeza y estilete)	Parte posterior (cola)	Descripción
<i>Aphelenchus</i> sp.			Nematodo delgado, de 0,5-1,2 mm de longitud, con presencia de un metacarpus que ocupa casi la totalidad del diámetro del cuerpo. Presenta sobreposición dorsal del esófago con el intestino y un estilete delgado con nódulos muy pequeños. Las hembras tienen la cola redondeada. Los machos tienen espícula, ligeramente arqueada (Robbins, 1982).
<i>Dorylaimus</i> sp.			Son nematodos grandes de 1,3 a 15 mm de longitud, con cutícula lisa, odontoestilete largo y delgado, y con anillo guía del estilete simple, situado en la parte anterior de este. Los anfidios son saciformes y pequeños. Región labial redondeada, continua o diferenciada del contorno del cuerpo, con seis labios amalgamados. La cola de los machos y las hembras es generalmente igual (Mai & Mullin, 1996).

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

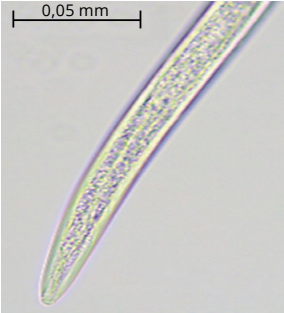
Géneros	Parte anterior (labios, cabeza y estilete)	Parte posterior (cola)	Descripción
<i>Helicotylenchus</i> sp.			Nematodos vermiformes, de 0,40 a 0,70 mm de longitud, con cuerpo curvado dorsalmente, región cefálica esclerotizada, continua o ligeramente separado del cuerpo, y estilete fuertemente desarrollado. Campos laterales con cuatro líneas, fasmidios pequeños, cerca del ano. El nematodo asume forma de espiral cuando se encuentra en reposo, por lo que se le ha llamado nematodo espiral. (Guzmán, 2016).
<i>Tylenchus</i> sp.			Son nematodos filiformes de 0,4 a 1,3 mm. El esófago no traslapa al intestino. Tienen estilete pequeño con nódulos basales poco desarrollados. Las hembras son monodélficas y los machos tienen bursa conspicua y cola conoide o filiforme (Eisenback, 2002).

(Continúa)

Continuación tabla 1)			
Géneros	Parte anterior (labios, cabeza y estilete)	Parte posterior (cola)	Descripción
<i>Pratylenchus</i> sp.			Denominado nematodo lesionador. Presenta región cefálica baja, arqueada y separada del cuerpo. Región cefálica fuertemente esclerotizada. El estilete es corto, bien desarrollado, con nódulos basales redondeados. Las glándulas del esófago están sobrepuestas al intestino. Vulva ubicada al 80,00 % de la longitud del cuerpo (Eisenback, 2002).
<i>Criconemoides</i> sp.			Se caracteriza por tener cuerpo cilíndrico curvado ventralmente y la región cefálica con disco redondeado sin hendidura, y placa labial dentro del disco cefálico. Estilete bien desarrollado, poro excretor anterior a la base del esófago. Ovario extendido, vagina ligeramente curvada, espermática curvada. Cola conoide redondeada a menudo con anillo terminal lobulado (Mai y Mullin, 1996).

(Continúa)

(Continuación tabla 1)

Géneros	Parte anterior (labios, cabeza y estilete)	Parte posterior (cola)	Descripción
<i>Trophorus</i> sp.			Son nematodos vermiformes, ligeramente curvados, ventralmente; la región labial es cónica y continua. Estilete delgado y con nódulos basales pequeños, cola terminada en punta redondeada con región hialina, no anillada (Rahaman & Sharma, 1998).
<i>Xiphinema</i> sp.			Son nematodos vermiformes, grandes, de 1,5 a 13,00 mm de longitud, con región labial redondeada, continua y con labios amalgamados. El odontóforo está bien desarrollado (de 100 a 200 μ m) con flanges (dilataciones) basales y anillo guía doble, localizado en la parte posterior. La cola es corta y cónica (Casanueva Medina et al., 2015).
<i>Hoplolaimus</i> sp.			Este nematodo presenta cuerpo cilíndrico, vermiforme y con región cefálica fuertemente esclerotizada, separada del cuerpo en forma de cono. Estilete bien desarrollado, con nódulos basales proyectados hacia la parte anterior. Hembra con vulva ecuatorial, didélfica y cola redondeada. Machos con bursa terminal (Robbins, 1982).

(Continúa)

Continuación tabla 1)			
Géneros	Parte anterior (labios, cabeza y estilete)	Parte posterior (cola)	Descripción
Saprófito 1			Nematodo filiforme con aparato bucal tubular, con presencia de labios prominentes en la boca y con presencia de antenas finas en punta; no presentan estilete y el aparato digestivo es recto. La cola es filiforme.
Saprófito 2			Nematodo robusto con aparato bucal prominente sin estilete, la parte cefálica es recta y se conecta al sistema digestivo en forma de espiral. Cutícula lisa de varias capas, gruesa y visible. Cola corte terminada en punta arqueada y con poro excretor o ano presente invaginado con el cuerpo.

(Continúa)

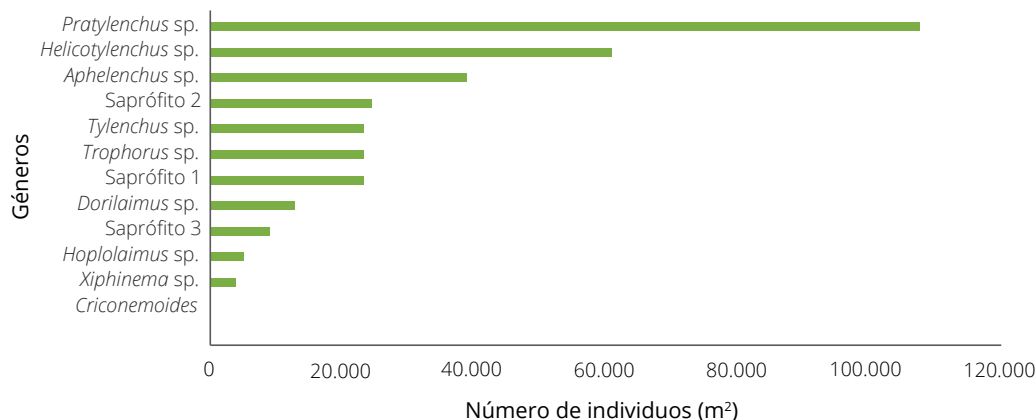
(Continuación tabla 1)

Géneros	Parte anterior (labios, cabeza y estilete)	Parte posterior (cola)	Descripción
Saprófito 3			Nematodo con aparato bucal reducido, sin presencia de estilete y labios prominentes. Sistema digestivo recto y continuo. Cutícula delgada, fina y lisa. Cuerpo alargado y delgado, ligeramente curvado en forma de medialuna en estado de reposo. La cola es atenuada de forma conoide terminada en punta.

Fuente: Elaboración propia.
Fotos: Manuel Ramón Espinosa Carvajal

Los análisis realizados para determinar la abundancia relativa se expresan para cada una de las áreas de los tratamientos en las pasturas Mombasa y Agrosavia Sabanera. Para los tratamientos de Mombasa, se pudo establecer que el género *Pratylenchus* sp. se presentó con mayor abundancia relativa en los potreros de Mombasa 8, donde no se establecieron árboles y solo se encuentra la pastura. El *Pratylenchus* sp. es considerado el nemátodo lesionador en otros cultivos de importancia comercial y económica, y para este caso puede jugar un papel negativo sobre la respuesta del cultivo. Sin embargo, este nemátodo puede indicar un desequilibrio en el suelo y permitir dominar y sobrevivir ante este tipo de condiciones de monocultivo de pasturas. Es importante resaltar que en condiciones silvopastoriles agroforestales o con presencia de árboles para la pastura

Mombasa, se pueden observar nematodos de importancia en la descomposición de la materia orgánica, que de algún modo pueden contribuir al equilibrio del modelo; por lo tanto, se deberá priorizar esta estrategia o práctica productiva en los sistemas ganaderos. Estos resultados se evidencian en la figura 27.

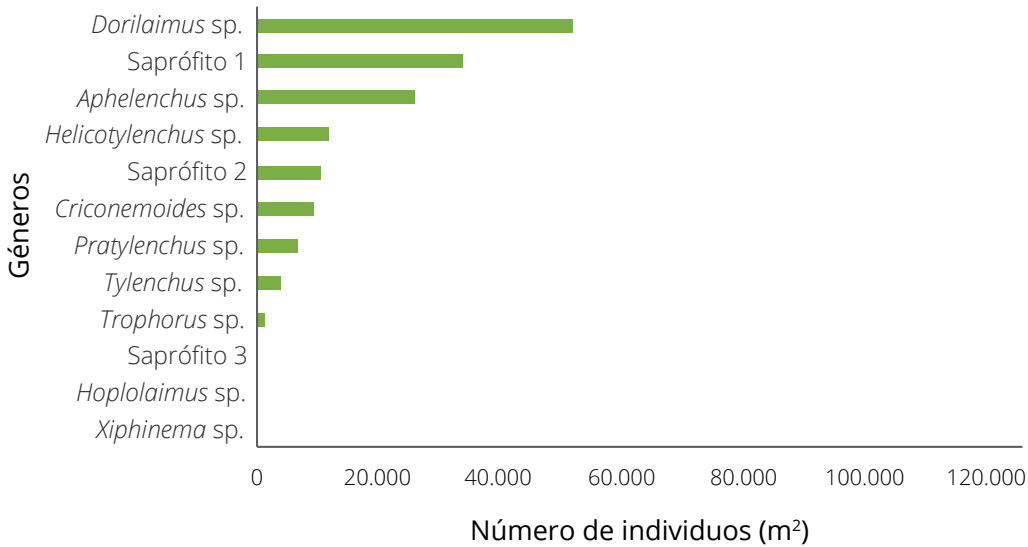


▲ **Figura 27.** Abundancia relativa de los géneros de nematodos presentes en los potreros *Megathyrus maximus* cv. Mombasa.

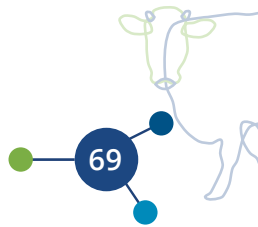
Fuente: Elaboración propia

Después de analizar los resultados de los potreros en la pastura Agrosavia Sabanera, se evidenció una mejor distribución de los géneros de nematodos; además, las poblaciones detectadas en los géneros de importancia no representan ningún tipo de condición que domine o altere el modelo productivo sostenible; por el contrario, la presencia de nematodos asociados a la descomposición de la materia orgánica como *Dorylaimus* sp., Saprófitos, *Aphelenchus* sp., entre otros, muestra un nivel de estabilidad y equilibrio biológico en la fauna del suelo, lo cual brinda al modelo productivo una respuesta positiva

para su implementación. Estas observaciones evidencian que los modelos de ganadería, cuando emplean alternativas de sostenibilidad como los silvopastoriles agroforestales, proveen las condiciones necesarias para que el componente biológico y en especial los nemátodos bioindicadores de calidad prosperen y se mantengan de manera equilibrada en el suelo (figura 28).



▲ **Figura 28.** Abundancia relativa de los géneros de nematodos presentes en los potreros *Megathyrus maximus* cv. Agrosavia Sabanera.
Fuente: Elaboración propia



Los resultados de los índices de diversidad biológica para los tratamientos indicaron que la diversidad de Shannon-Wiener (H) fluctuó entre 1,862 y 0,673; el mayor valor para el índice corresponde al lote Mombasa 4 y el menor valor de este índice, al lote Agrosavia Sabanera 8. Este comportamiento refleja la importancia de contar con sistemas agroforestales (SAF) en los sistemas ganaderos para mantener una mayor diversidad de especies y contribuir a la sostenibilidad y al equilibrio en el suelo.

La equitatividad de las muestras indica que cuando este índice se acerca a cero, una especie domina sobre todas las demás en la comunidad y si se acerca a uno (1,0) todas las especies comparten abundancias similares. Los resultados obtenidos muestran que los potreros con mayor equitatividad fueron Mombasa 6 y Agrosavia Sabanera 8 con 0,975 y 0,971, respectivamente, y el tratamiento con menos equitatividad en la distribución de las especies fue Mombasa 8, con 0,58 de equitatividad; este valor está asociado a la alta abundancia del género *Pratylenchus* sp. con respecto a los demás géneros de la misma muestra. Estos resultados tienen una estrecha relación con el índice de Simpson (D), en el cual se establece que el valor de D se encuentra acotado entre 0 y ∞ , tiende a cero en comunidades poco diversas y es igual a la riqueza específica (s) en comunidades de máxima equitatividad. Por lo tanto, para los tratamientos estudiados se pudo establecer que la comunidad menos diversa está relacionada con el lote de Mombasa 8, con 0,4351, que se ve afectado, como se mencionó, por la presencia de *Pratylenchus* sp. de manera dominante.

Con base en el análisis de estos parámetros, se puede inferir que la mejor respuesta de las pasturas en cuanto al equilibrio de la fauna del suelo se asocia con la presencia de modelos con sistemas agroforestales o con mayor diversidad de árboles. Esto contribuye a una mejor distribución de las especies de nemátodos y su participación puede ayudar a la descomposición de la materia orgánica o afectar la respuesta de los cultivos conforme se altere el equilibrio, lo cual se manifiesta en pasturas a libre exposición y con menor disponibilidad de árboles.

Mesofauna y macrofauna en el modelo productivo sostenible

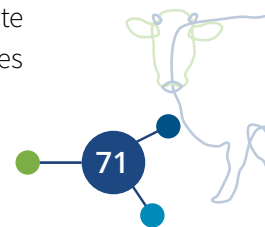
Estos organismos son muy variados y pueden clasificarse en diferentes grupos:

- La mesofauna, con un ancho corporal promedio de 100 μm a 2 mm.
- La macrofauna del suelo, que presenta un ancho corporal mayor de 2 mm.

Ciertos organismos del suelo impactan las propiedades físicas, químicas y biológicas, y mejoran la estructura del suelo, y de esta manera facilitan el movimiento del aire y aumentan su porosidad, lo que reduce la compactación y evita la formación de capas duras que dificultan el crecimiento de las raíces. También juegan un papel crucial en la retención y filtración del agua. Además, son responsables de descomponer la materia orgánica, la convierten en humus y transforman los nutrientes de tal manera que las plantas los pueden absorber; así, mejoran la fertilidad del suelo y su disponibilidad para las pasturas (Lavelle, 1997; Lavelle et al., 2016).

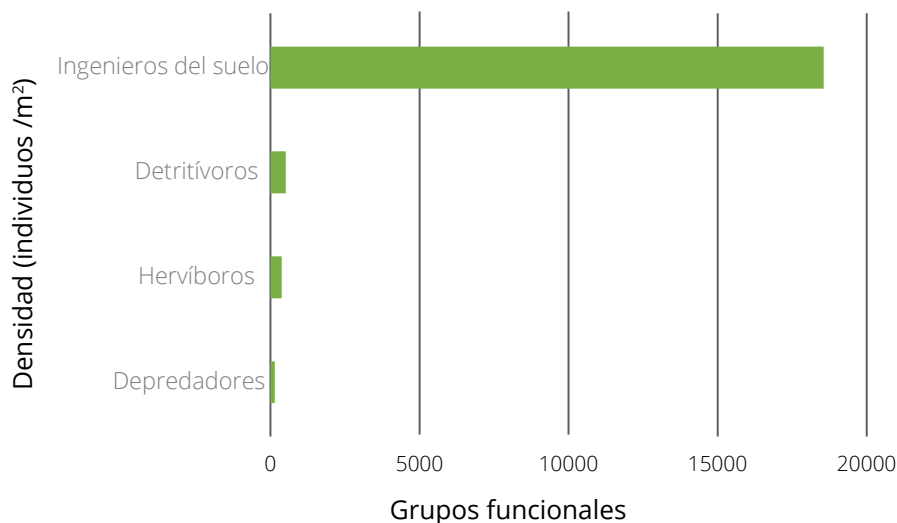
Los suelos albergan una comunidad extremadamente diversa de organismos invertebrados, que difieren en sus estrategias de adaptación y, por lo tanto, en las funciones que cumplen en los suelos. La diversidad de estos organismos es esencial para el funcionamiento y la regulación de las cadenas tróficas en el agroecosistema. La densidad, abundancia y riqueza de estos grupos en el suelo cambia en función de la composición vegetal, la cobertura del suelo, las condiciones edáficas y el clima. Conforme al impacto ecológico de la mesofauna y macrofauna del suelo, esta puede organizarse en cuatro grupos funcionales: ingenieros del suelo o del ecosistema, detritívoros, depredadores y herbívoros.

La mayor parte de la fauna del suelo está compuesta por los ingenieros del suelo, como lombrices, hormigas y termitas, que se encargan de consumir y transformar materia orgánica y de intervenir en la estructuración del suelo y en la mejora de la calidad del agua. Otra parte está constituida por grupos funcionales de artrópodos que actúan como depredadores



específicos o inespecíficos de otros organismos y de polífagos estrictamente fitófagos, detritívoros u oportunistas que pueden encontrarse en diferente grado de composición dentro del agroecosistema.

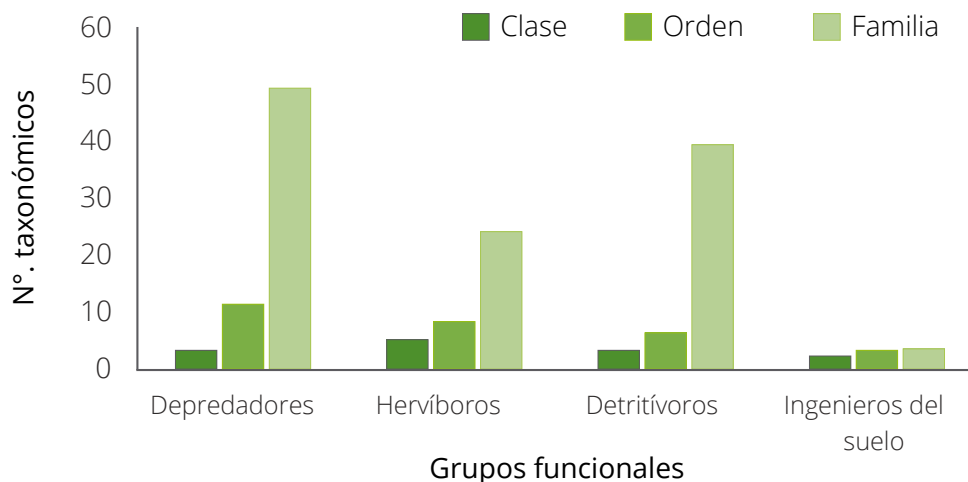
Los estudios desarrollados en el modelo productivo sostenible de ganadería de AGROSAVIA mostraron que de 5.609 individuos colectados, el 62,04 % estaba formado por los ingenieros del suelo; el 16,33 %, por herbívoros; el 13,69 %, por detritívoros, y el restante 7,93 %, por depredadores (figura 29). Asimismo, por cada metro cuadrado se encontraron 18.560 individuos, que corresponden al grupo de los ingenieros del suelo, por lo que se podría considerar que forman un grupo representativo de los organismos del suelo y un indicador de la calidad biológica del modelo productivo ganadero.



▲ **Figura 29.** Densidad por grupo funcional (individuos m²) de la mesofauna y macrofauna en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

La composición taxonómica de los grupos funcionales de la mesofauna y macrofauna en el sistema ganadero estuvo conformada por 11 clases, 28 órdenes y 115 familias taxonómicas (figura 30). Esto refleja diversidad de organismos, asociada a la actividad biológica de modelo productivo sostenible.



▲ **Figura 30.** Composición taxonómica (clases, orden y familias) identificada por grupo funcional de la mesofauna y macrofauna en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Grupos funcionales de la mesofauna y macrofauna en el modelo productivo sostenible

Ingenieros del suelo

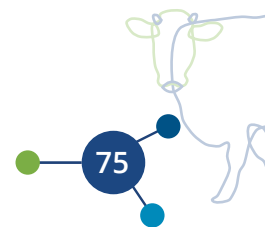
Son los principales representantes de este grupo, debido a sus efectos notables sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y a su influencia en la disponibilidad de recursos para otros organismos, incluidos los microorganismos y las plantas. Estos artrópodos modulan directa o indirectamente cambios en el estado físico de los materiales bióticos o abióticos y facilitan el acceso a diferentes servicios ecosistémicos de soporte.

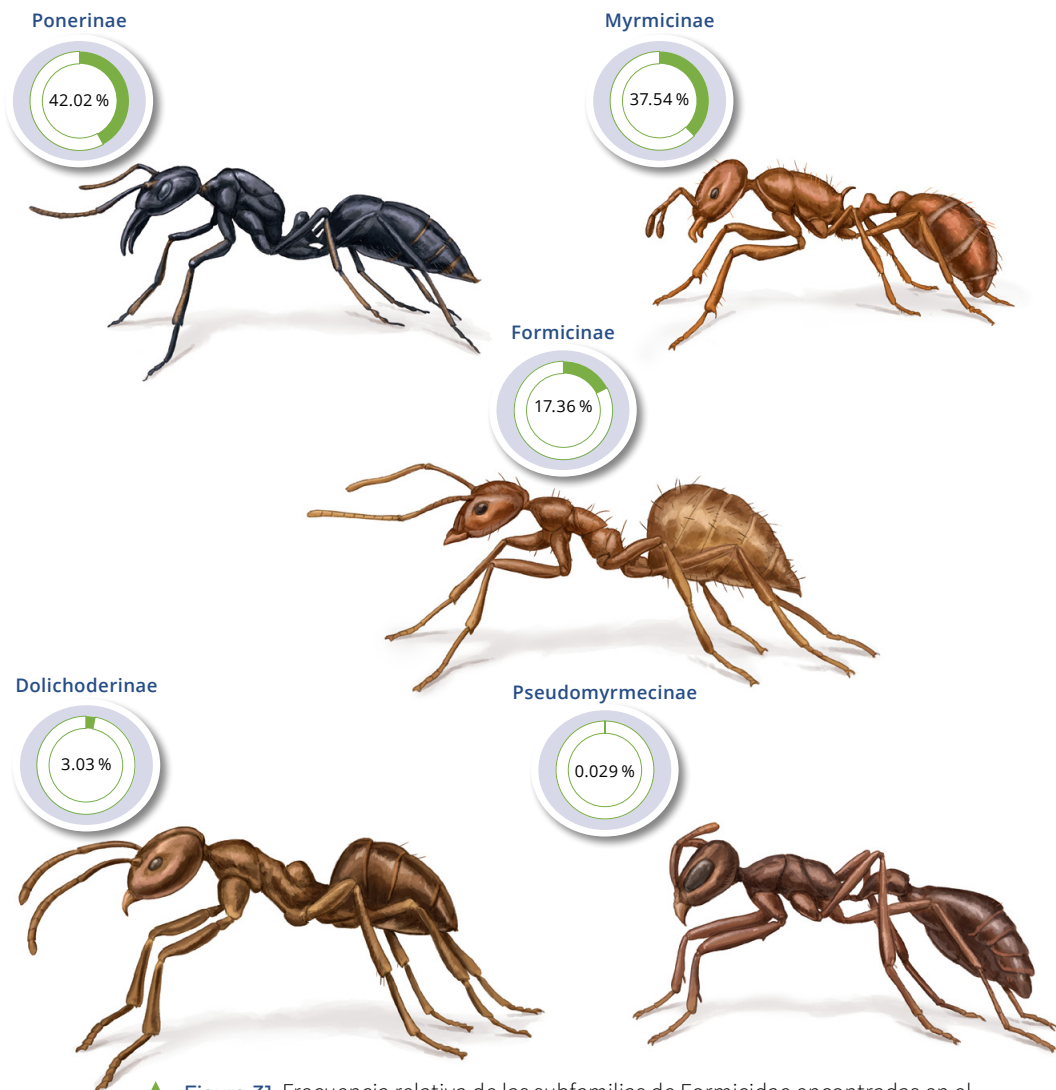
Los ingenieros del suelo tienen la capacidad de trasladarse a través del perfil del suelo mediante la construcción de diferentes estructuras biogénicas, como galerías, moldes, montículos, cámaras de panales de hongos, etcétera; estas moldean la agregación y porosidad del suelo, regulan las propiedades hidráulicas asociadas, como conductividad hidráulica, capacidad de retención de agua e infiltración de agua, y la disponibilidad de materia orgánica del suelo (MOS) para los microorganismos. En el sistema ganadero, se registraron 3.480 individuos correspondientes a los ingenieros del suelo. La mayor cantidad de individuos colectados fueron hormigas (Hymenoptera: Formicidae), con un 97,44 %, seguidas por las termitas (Isoptera: Rhinotermitidae), con un 1,49 %, y por las lombrices (Crassieclitellata: Lumbricidae), con un 1,06 %. Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) son taxones comunes y dominantes en los ecosistemas terrestres que desempeñan un papel clave en la configuración de la estructura y función del ecosistema. En agroecosistemas conformados por árboles y pasturas, las especies dominantes e influyentes cumplen un rol importante como indicadores para evaluar las prácticas de conservación y manejo del ecosistema. Las hormigas establecen relaciones complejas con otros organismos y realizan distintas funciones, como la supresión de plagas, ciclaje de nutrientes del suelo, interacción con las comunidades microbianas y la regulación de la comunidad vegetal (Philpott & Armbrrecht, 2006).

En el modelo productivo sostenible de ganadería, la familia Formicidae estuvo representada principalmente por hormigas de la subfamilia Ponerinae (figura 31). Estas se encargan de reducir directamente las poblaciones de otros organismos (herbívoros y depredadores) mediante la depredación o competencia. Algunas hormigas, como las de la subfamilia Myrmicinae, consumen los tejidos de las plantas y destruyen a otros organismos; por ejemplo, los polinizadores o herbívoros, que compiten directamente por su alimento.

La subfamilia Formicinae, de la cual se recolectó un 17,36 %, es un grupo de gran importancia para comprender las asociaciones positivas entre plantas, hormigas y otros artrópodos, ya que habitan principalmente en árboles y establecen asociaciones benéficas con cóccidos. Además, representan un papel importante como habitantes del suelo y la hojarasca.

Las hormigas de las subfamilias Dolichoderinae y Pseudomyrmecinae, halladas en menor cantidad en el modelo (figura 31), podrían intervenir en la redistribución de las semillas; asimismo, es posible que su actividad de alimentación influya en la disponibilidad de recursos dentro del suelo al aumentar la actividad microbiana y mejorar la liberación de nutrientes (Sanders & van Veen, 2011; Wills & Landis, 2018).





▲ **Figura 31.** Frecuencia relativa de las subfamilias de Formicidae encontradas en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región del Caribe colombiano.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Lily Lorena Lunas Castellanos

Otro grupo taxonómico significativo encontrado son las termitas (Isoptera: Rhinotermitidae) (figura 32a), que contribuyen a la descomposición de residuos vegetales y, mediante la formación de galerías en el suelo y el uso del material mineral excavado para la construcción de grandes montículos superficiales o subterráneos, cumplen la función de mejorar el drenaje, la estabilidad y la agregación de suelo, así como los contenidos de nutrientes (Jouquet et al., 2016).

Por último, las lombrices (Crassiciellata: Lumbricidae) (figura 32b) son un grupo taxonómico importante de los ingenieros del suelo; estas se encontraron en el modelo productivo en una menor proporción con respecto a los demás miembros de este grupo funcional. Las lombrices mediante la excavación mejoran la porosidad, lo cual muestra una influencia en la agregación del suelo. Además, los caminos de excavación en el perfil del suelo facilitan el movimiento del agua en el perfil, y de esta manera contribuyen a la formación del suelo, a su desarrollo y estructura. También ayudan a descomponer la hojarasca, y así aumenta el área superficial de los sustratos orgánicos disponibles para la actividad microbiana.



▲ **Figura 32.** Ingenieros del suelo en el modelo productivo sostenible en la región Caribe de Colombia. a. Huevos termitas; b. Lombrices de tierra.

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López y Lily Lorena Lunas Castellanos

Herbívoros

Estos insectos son un componente importante de las comunidades terrestres y subterráneas del suelo, y representan aproximadamente el 30 % de todas las especies descritas. Consumen tejidos vivos como raíces, tallos y hojas de plantas; además, dentro de la cadena trófica, cumplen la función de realizar el ingreso de materia vegetal al suelo, y de esta manera es aprovechado por los microorganismos descomponedores.

Los pastos son más que una fuente de alimento para estos insectos, ya que pueden brindarles un refugio ante sus enemigos naturales y un lugar para interactuar con los artrópodos mutualistas. El consumo de plantas por parte de los herbívoros tiene un impacto positivo en el ciclo del nitrógeno en los bosques, lo cual aumenta enormemente la superficie accesible al ataque microbiano, y esto mejora indirectamente la calidad y cantidad de hojarasca que se introduce en el suelo para el proceso de transformación (Lovett et al., 2002).

La herbivoría de los insectos, tanto en la superficie como en las zonas subterráneas, puede afectar los procesos de descomposición, así como la biomasa de las raíces y la exudación; además, es posible que provoque un desplazamiento de la asignación de carbono de los brotes a las raíces. Cualquier reducción de la biomasa de las raíces en respuesta a la defoliación puede, a su vez, conducir a más raíces muertas para que la comunidad microbiana del suelo las descomponga y aumente la disponibilidad de nutrientes (Dyer et al., 1991).

El modelo productivo de ganadería registró 916 individuos, correspondientes al grupo funcional de los herbívoros. Este grupo se conformó exclusivamente por artrópodos de la clase Insecta, que estaban divididos en seis órdenes taxonómicos y en 41 familias (tabla 2). Los herbívoros pertenecientes al orden Hemíptera fueron los que se encontraron en mayor cantidad (57,96 %) en el sistema, seguidos de los órdenes Díptera (17,46 %) y Coleóptera (13,53 %). Se hallaron en menor proporción herbívoros de los órdenes Lepidóptera (5,56 %), Orthoptera (5,34 %) e Hymenoptera (10 %).

Tabla 2. Densidad de herbívoros (individuos m²) en el modelo productivo sostenible de ganadería en la región Caribe de Colombia

Clase	Orden	Familia	Densidadde individuos/m²
Insecta	Hemiptera	Alydidae	32
		Anthocoridae	32
		Cicadellidae	5.920
		Cydnidae	64
		Delphacidae	656
		Flatidae	368
		Fulgoridae	224
		Membracidae	880
		Pentatomidae	288
		Rhopalidae	16
		Tingidae	16
	Díptera	Chaoboridae	16
		Chironomidae	32
		Culicidae	176
		Drosophilidae	1.600
		Ephydriidae	64
		Lauxaniidae	32
		Otitidae	112
		Psychodidae	496
		Richardiidae	16
		Syrphidae	16
	Coleóptera	Cantharidae	16
		Chrysomelidae	1.328
		Curculionidae	448
		Elateridae	32
		Lycidae	80
		Nosodendridae	32
		Ptilodactylidae	48

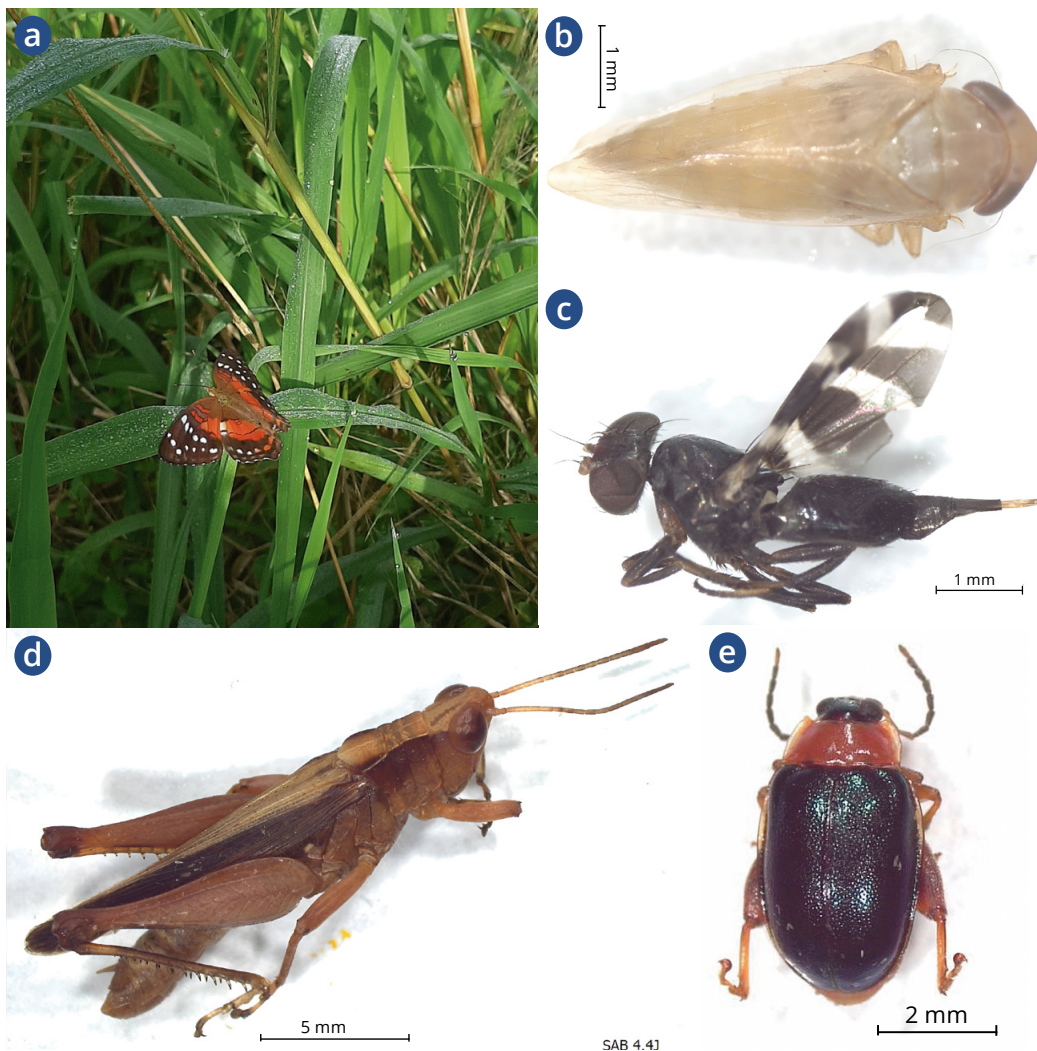
(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Clase	Orden	Familia	Densidadde individuos/m²
Insecta	Lepidóptera	Acrolophidae	400
		Hesperiidae	112
		Noctuidae	32
		Nymphalidae	16
		Pieridae	32
		Tortricidae	192
	Orthoptera	Acrididae	688
		Grillidae	32
		Tetrigidae	16
		Tridactylidae	80
	Hymenoptera	Tenthredinae	16

Fuente: Elaboración propia

En el modelo productivo sostenible de ganadería, los herbívoros se consideran indicadores de calidad de hábitat debido a su alta vulnerabilidad ante las perturbaciones en el ecosistema. Las mariposas que pertenecen a la familia Nymphalidae (figura 33a) son un gran ejemplo de este grupo de indicadores, ya que cumplen diferentes funciones dependiendo del tipo de alimento que consumen: frugívoras o nectaríferas cuando establecen una interacción con las plantas, o pueden preferir el estiércol (Mevi-Schütz & Erhardt, 2005).



▲ **Figura 33.** Herbívoros encontrados en el modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe. a. Lepidóptera-familia Nymphalidae; b. Hemíptera-familia Cicadellidae; c. Díptera-familia Otitidae; d. Orthoptera-familia Acrididae; e. Coleóptera-familia Chrysomelidae.

Fotos: Lily Lorena Lunas Castellanos

Los herbívoros del orden Hemíptera y gran parte de las familias asociadas al orden Coleóptera son artrópodos con hábitos fitófagos, consumen grandes cantidades de follaje de las pasturas y pueden reducir la biomasa vegetal (figura 33b). Por su parte, los dípteros habitan una parte de su vida en el suelo y contribuyen a mejorar la porosidad (figura 33c); los ortópteros se consideran una presa fácil de otros artrópodos y en ciertas condiciones pueden causar grandes daños a los pastos (figura 33d). La familia Chrysomelidae, comúnmente llamada escarabajos de las hojas, es una de las más diversas dentro del orden Coleoptera. La mayoría de estos escarabajos se alimentan de plantas, y consumen principalmente hojas y otras partes vegetales (figura 33e).

Detritívoros

Son un conjunto de artrópodos que habitan tanto la superficie del suelo, como la parte subterránea. Se encargan de triturar los fragmentos de hojas más grandes en unidades más pequeñas y mezclan suelo orgánico con superficies de hojas, lo que fomenta la liberación de nutrientes a lo largo del proceso de descomposición; esto contribuye al ciclaje de nutrientes y al incremento de la productividad de los pastos (Barros et al., 2001; Lavelle, 1997).

Dentro del grupo funcional de los detritívoros se han incluido los milpiés (Diplopoda), las cochinillas de tierra (Isopoda), algunos dipluros (Campodeidae), algunos coleópteros (Scarabaeidae, Passalidae), colémbolos, ácaros y algunos moluscos, proturos y psocópteros.

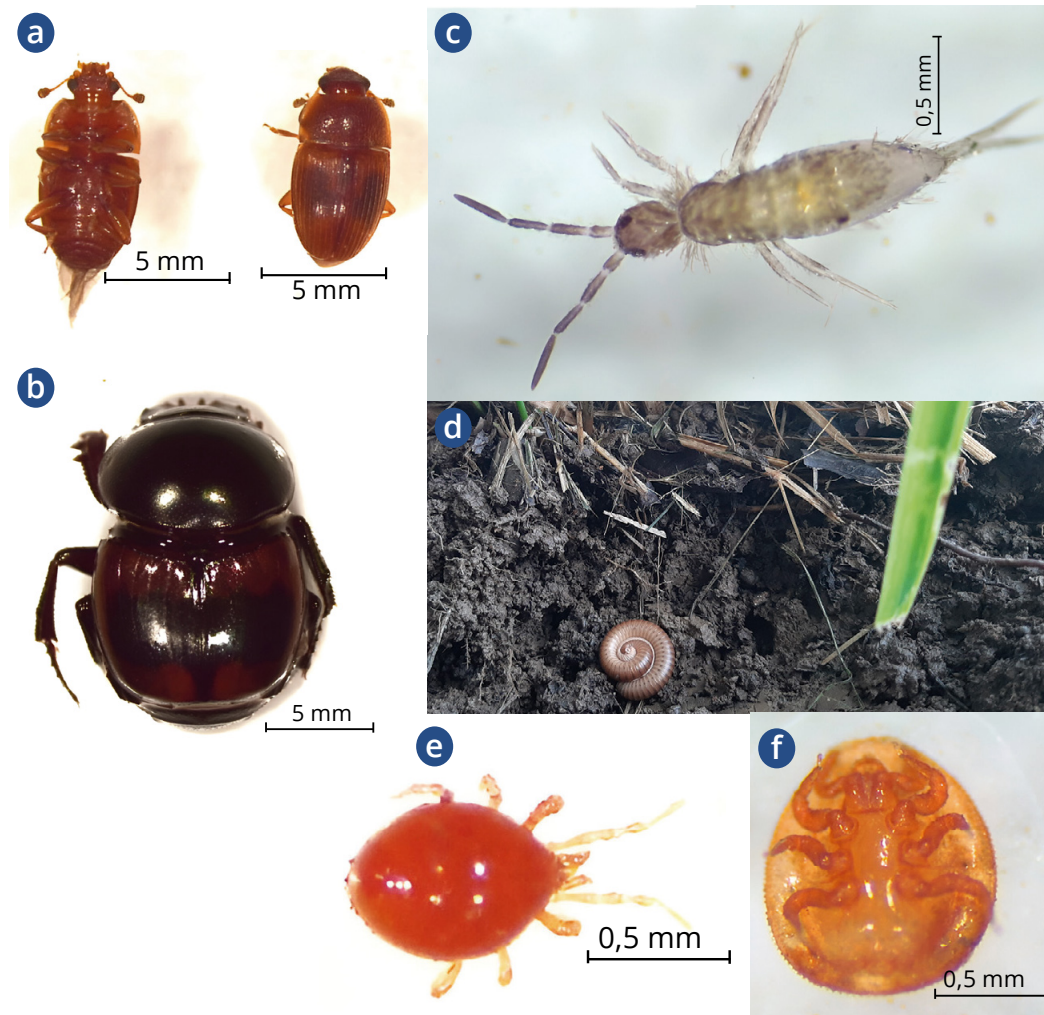
En relación con el modelo productivo sostenible de ganadería, se encontraron con actividad detritívora 768 individuos, agrupados en cinco clases, ocho órdenes y 24 familias taxonómicas (tabla 3).

Tabla 3. Densidad de detritívoros (individuos m²) en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia

Clase	Orden	Familia	Densidad de individuos/m²
Insecta	Coleóptera	Latridiidae	4.752
		Curculionidae	1.472
		Scarabaeidae	1.200
		Passalidae	160
		Nitidulidae	96
		Melolonthidae	16
		Microsporidae	16
	Díptera	Muscidae	240
		Sepsidae	208
		Calliphoridae	192
		Piophilidae	80
		Scathophagidae	16
		Stratiomyidae	16
		Bibionidae	16
Collembola	Entomobryomorpha	Entomobryidae	2.528
		Isotomidae	432
Arachnida	Mesostigmata	Uropodidae	112
	Oribatida	Trachyuropodidae	16
		Cosmochthoniidae	112
		Scheloribatidae	128
		Oppidae	32
Diplopoda	Polydesmida	Paradoxosomatidae	352
Insecta	Psocoptera	Pachytroctidae	80
Melascostraca	Isopoda	Oniscidae	16

Fuente: Elaboración propia

De los detritívoros colectados, los artrópodos pertenecientes al orden Coleóptera fueron los de mayor presencia en el sistema ganadero, con un 62,76%. La familia Latridiidae (figura 34a) es la más abundante y está estrechamente relacionada con las hormigas, ya que los individuos de esta familia habitan principalmente en sus nidos. Otras familias de escarabajos, como Carabidae, Ptiliidae, Leiodidae, Scydmaenidae, Staphylinidae, Scarabaeidae, Nitidulidae y Tenebrionidae también mantienen este tipo de relación con las hormigas en el ecosistema. El escarabajo de la familia Scarabaeidae (figura 34b) fue una de las especies más importantes que se encontró en el sistema. Los escarabajos de esta familia son comúnmente denominados escarabajos estercoleros, y se encargan de incorporar material rico en nitrógeno al suelo y mejorar su estado nutricional; además, ayudan a retener el agua en el suelo, mejoran la permeabilidad y facilitan la dispersión de semillas.



▲ **Figura 34.** Detritívoros en el modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia. a. Adultos de la familia Latridiidae; b. Adultos de Scarabaeidae; c. Adultos del orden Collembola; d. Milpiés (Diplopoda); e. Arachnida, orden Oribátida; f. Arachnida, orden Mesostigmata (familia: Uropodidae).

Fotos: Lily Lorena Lunas Castellanos

El segundo orden con mayor abundancia en el sistema ganadero fue Entomobryomorpha, el cual estuvo representado en un 24,08 % (figura 34c). Los colémbolos viven en la naturaleza y, en grandes cantidades, en los suelos; estos desempeñan importantes funciones como reguladores de los procesos de descomposición de la materia orgánica, ayudan a triturar los residuos vegetales y contribuyen a la formación de sustancias húmicas. Los artrópodos detritívoros pertenecientes al orden Díptera fueron el tercer orden de mayor abundancia, con un 6,25 %, seguidos de los milpiés del orden Polydesmida, con un 2,86 % (figura 34d), los ácaros Oribátidos, con un 2,21 % (figura 34e), los ácaros Mesostigmados, con un 1,04 % (figura 34f), y Psocoptera, con un 0,65 %.

La presencia de milpiés en el sistema ganadero del Caribe colombiano está estrechamente relacionada con las condiciones edafoclimáticas específicas de la región. Estos artrópodos, que suelen habitar en microambientes húmedos y protegidos, como la hojarasca y debajo de piedras, contribuyen significativamente a la estructura del suelo y al reciclaje de nutrientes a través de la trituración de hojarasca y sus heces fecales (Gilgado et al., 2022). En el valle del Sinú, las condiciones climáticas presentan una temperatura promedio de 28 °C, una humedad relativa del 85 % y una precipitación anual de 1.200 mm, con suelos de mediana a buena fertilidad, aunque con problemas de drenaje (Mejía Kerguelén et al., 2019). Estas características proporcionan un ambiente adecuado para los milpiés, que son esenciales para el mantenimiento de la salud del suelo.

En las sabanas de Córdoba, el clima es subhúmedo tropical, con una precipitación anual de 1.334 mm, una temperatura similar de 28 °C y una humedad relativa del 75 %. Los suelos son de mediana fertilidad y tienen buen drenaje, aunque ocasionalmente pueden presentar problemas de compactación (Mejía Kerguelén et al., 2019). Estas condiciones también favorecen la presencia de milpiés, que desempeñan un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica y en la mejora de la estructura del suelo (Gilgado et al., 2022). La interacción de estos organismos con el entorno edafoclimático es fundamental para el éxito

del modelo productivo de carne bovina en la región, ya que contribuyen a la sostenibilidad y productividad del sistema ganadero.

En relación con los ácaros Oribátidos, se ha demostrado que estos aportan nutrientes al suelo y son de gran impacto en su estructura. Algunos ácaros pertenecientes a la familia Uropodidae (orden: Mesostigmata) suelen encontrarse en ecosistemas que brinden condiciones óptimas de calidad, esto incluye suelos que proporcionen un ambiente adecuado para el desarrollo de comunidades de artrópodos. Lo anterior implica suelos con buena estructura, humedad adecuada y una rica capa de hojarasca, que favorece la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Cabrera Dávila et al., 2022). Esto ratifica que el modelo productivo sostenible brinda condiciones adecuadas para el desarrollo de comunidades de artrópodos.

Depredadores

Estos organismos son los encargados de consumir a otros organismos que habitan en la superficie o en el subsuelo; a su vez, influyen de manera indirecta en los procesos de transformación y aporte de materia orgánica al suelo. Las colectas realizadas en el modelo ganadero permitieron determinar que el grupo funcional de depredadores estaba formado por tres clases, agrupadas en 11 órdenes y 48 familias taxonómicas (tabla 4).

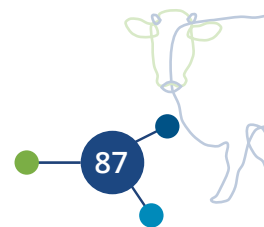


Tabla 4. Densidad de depredadores (individuos/m²) en el modelo productivo de ganadería sostenible de la región Caribe de Colombia

Clase	Orden	Familia	Densidad de individuos/ m²
Arachnida	Araneae	Agelenidae	16
		Araneidae	2.352
		Dictynidae	16
		Dysderidae	240
		Lycosidae	736
		Lyniphiidae	48
		Oxyopidae	48
		Pholcidae	16
		Salticidae	496
	Mesostigmata	Ascidae	16
		Ologamasidae	48
		Phytoseiidae	48
	Prostigmata	Bdellidae	16
		Cunaxidae	16
		Erythraeidae	16
	Sarcoptiformes	Acaridia- ohort Astigmatina	192
Entognatha	Diplura	Japygidae	48
	Coleóptera	Carabidae	80
		Cleridae	16
		Coccinelidae	32
		Lampyridae	16
		Noteridae	16
		Ptilidae	16
		Staphylinidae	288
Insecta	Díptera	Asilidae	16
		Cecidomyiidae	240
		Ceratopogonidae	96
		Dolichopodidae	192

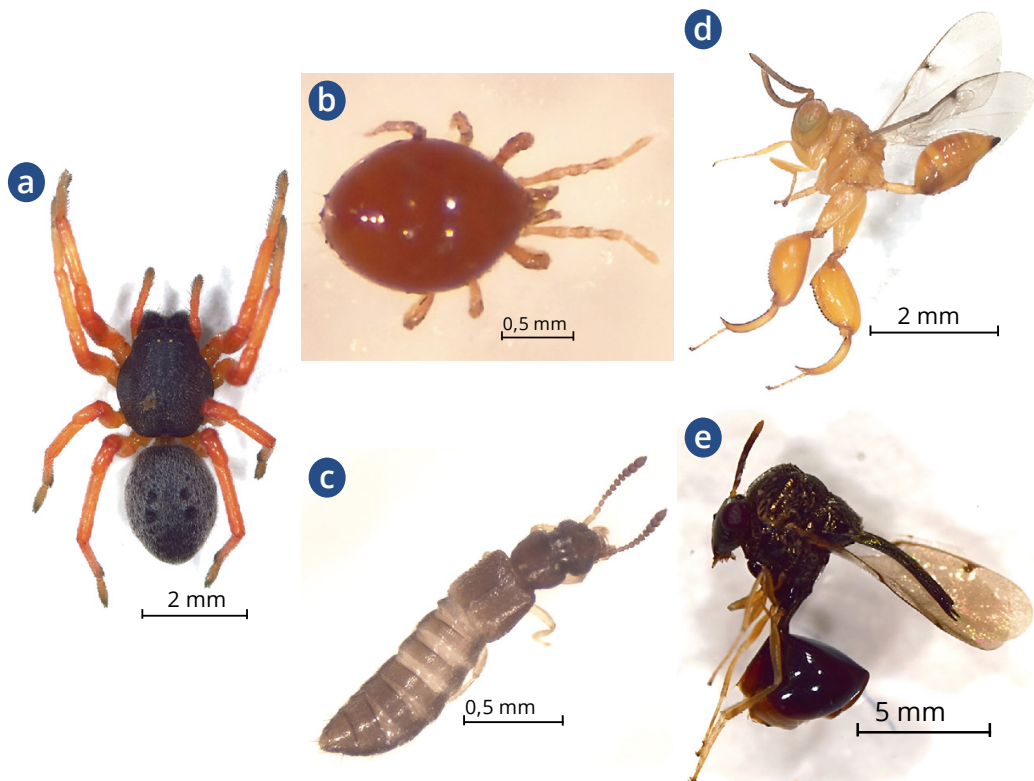
(Continúa)

(Continuación tabla 4)

Clase	Orden	Familia	Densidad de individuos/ m ²
		Milichiidae	32
		Platystomatidae	16
		Rhagionidae	16
		Sciaridae	496
	Hemíptera	Coreidae	16
		Gelastocoridae	96
		Reduviidae	176
		Vespidae	16
	Hymenoptera	Platygastridae	48
		Apidae	16
		Figitidae	80
		Chalcididae	192
		Eucharitidae	48
		Pompilidae	16
		Pelecinidae	16
		Libellulidae	16
	Odonata	Pseudostigmatidae	208
		Phlaeothripidae	16

Fuente: Elaboración propia

La clase Arachnida fue la más abundante (60,67 %) de los depredadores; su hábitat se encuentra en el suelo o en los tejidos vegetales. Las arañas (figura 35a) y los ácaros que integran estas clases son considerados de gran importancia en la agricultura, debido a que cumplen de forma eficiente la regulación de artrópodos fitófagos. Las arañas presentan diversas ventajas que las convierten en temibles depredadores, con una amplia distribución, una gran variedad de presas y una gran resistencia a largos periodos de hambre. En cambio, los ácaros de los órdenes Mesostigmata (figura 35b) y Prostigmata son los depredadores predominantes en el suelo, y suelen estar asociados a hongos y bacterias en la degradación de presas.



▲ **Figura 35.** Depredadores del modelo productivo de ganadería sostenible en la región Caribe de Colombia. a. Adultos del orden Araneae; b Adultos del orden Mesostigmata; c. Adultos de la familia Staphylinidae; d. Adultos de la familia Chalcididae; e. Hymenoptera: Eucharitidae.

Fotos: Lily Lorena Lunas Castellanos



Entornos propicios en el modelo productivo sostenible de ganadería de la fauna edáfica

Los organismos que habitan el suelo proporcionan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad del sistema ganadero. Algunos de estos servicios son los siguientes:

- Regulación de la cantidad de materia orgánica en el suelo.
- Elementos fundamentales del ciclo de los nutrientes.
- Captura de carbono.
- Alteración de la composición material del suelo.
- Emisión de gases que provocan el efecto invernadero.
- Sistemas de abastecimiento de agua.
- Concentración y eficacia de la adquisición de nutrientes de la vegetación.

Estos servicios ecosistémicos son importantes para el funcionamiento de los ecosistemas y para la gestión sostenible de los sistemas ganaderos.



Glosario

Anfidios saciformes: órganos receptores que detectan las sustancias que estén en el medio soluble del suelo.

Artrópodo: invertebrado con simetría bilateral y extremidades articuladas; por ejemplo, arañas, ácaros, escorpiones, garrapatas, insectos.

Biodiversidad: involucra varios niveles de organización biológica: especie, población, comunidad, ecosistema y paisaje. Este concepto implica muchas vidas ecológicamente calculables.

Biomasa: cantidad de materia viva.

Biota: cantidad de organismos vivos.

Caja de petri: herramienta de laboratorio redonda y de vidrio que se usa para cultivar microorganismos.

Colonia: población visible de células cultivadas en un medio de cultivo, las cuales se originan a partir de una célula única.

Cilios: organelos que se presentan como extensiones celulares, finas, fibrosas y cortas, y tienen una longitud uniforme que varía. Su función consiste en la locomoción y sirven para la alimentación y como órganos táctiles.

Claves dicotómicas: herramienta que permite identificar a los organismos; es necesario identificar las características fundamentales para determinar los animales, las plantas, los hongos, las bacterias, los protozoos u otros organismos vivos. Las características obtenidas pueden ser determinadas por la categoría de especie, el género, la familia o cualquier otra categoría taxonómica.

Claves pictóricas: se componen de códigos o símbolos que ayudan a explicar mejor los detalles dendrológicos que se pueden encontrar en las áreas de la naturaleza.

Cóccidos: insectos que se encuentran agrupados en la superfamilia Coccoidea, llamados cochinillas.

Dilución seriada: proceso en el que una solución se diluye de manera incremental, a menudo en pasos iguales, para reducir su concentración de manera sistemática. Este método implica tomar una cantidad fija de una solución concentrada y mezclarla con un volumen fijo de disolvente; de esta manera, se genera una nueva solución con una concentración menor. Este proceso se repite varias veces, y se crea una serie de diluciones, cada una con una concentración menor que la anterior.

Ecosistema: conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su entorno natural, a través de acciones como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis. Esto forma parte del ciclo de energía y de nutrientes.

Especie: conjunto de organismos muy semejantes, que no coinciden genéticamente.

Estilete: estructura de la cavidad oral, que permite a los nematodos perforar las células de la planta y obtener los nutrientes necesarios.

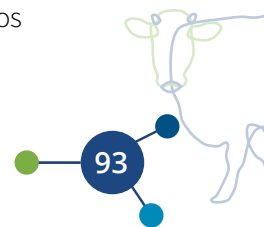
Factores abióticos: asociados al ambiente, como el terreno, la composición y las propiedades de los suelos.

Factores bióticos: factores vivos que habitan en las comunidades biológicas.

Fásmidos: grupo de órganos glándula sensoriales unicelulares que se encuentran en una posición separada de la cola, y que se relacionan con la reproducción y exhiben un dimorfismo sexual.

Fitófagos: organismos que se alimentan de nutrientes vegetales.

Flagelo: apéndices u organelos móviles con forma de látigo que se encuentran en muchos organismos unicelulares y en algunas células de organismos pluricelulares.



Grupos funcionales microbianos: serie de congregaciones microbianas que se estructuran en consorcios, con cantidades y diversidad adecuadas. Llevan a cabo funciones, como la identificación de espacios de nutrientes, la asignación de oxigenación, la filtración de sustancias nocivas, la estimulación del medio ambiente, entre otros.

Grupos taxonómicos: clasificación ordenada y jerarquizada de los organismos vivos.

Hábitat: lugar donde vive una especie.

Hidrólisis: reacciones químicas en las que se produce la división de una molécula de agua en átomos de hidrógeno y oxígeno.

Indicador ambiental: se trata del análisis y la recopilación de información que se usa para establecer una evaluación precisa del estado en el medio ambiente, con el fin de comprender la situación en la que este se encuentra en un tiempo y un lugar definidos.

Indicadores de sostenibilidad ambiental: establecen unos procedimientos para determinar las incidencias de los procesos productivos sobre el medio ambiente.

Medio de cultivos: conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes que propician la formación de las condiciones necesarias para el crecimiento, la multiplicación, la detección y el transporte de diversos microorganismos, como bacterias, actinomicetos, hongos, algas y algunos parásitos.

Metacorpus: se encuentra en la mitad del esófago del nematodo y dispone de un sistema valvular. Actúa como bomba que impulsa los alimentos al intestino.

Microfauna: conjunto de especies de microanimales que conviven compartiendo en un área geográfica determinada.

Microflora: agrupación de microorganismos que se encuentran en un entorno muy específico.

Modelo de producción sostenible de ganadería de AGROSAVIA: se fundamenta en la implementación de un sistema de pastoreo rotacional intensivo, el cual contempla el uso de pasturas de alta producción y calidad nutricional como *Megathyrus maximus* cv. Agrosavia Sabanera y Mombasa, para el manejo de los bovinos cebú, criollo y sus cruces.

Odontoestilete: cavidad bucal grande de los nematodos.

Odontóforo: extensión del odontoestilete.

Péptidos: clase de moléculas formadas por la unión de diversos aminoácidos.

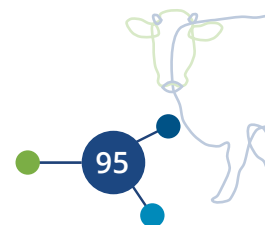
Proteínas: moléculas constituidas por aminoácidos que se encuentran unidos mediante un tipo de enlace llamado enlace peptídico.

Reservorio: lugar donde vive y se multiplica cualquier agente.

Saprófito: organismo que habita en la materia orgánica muerta.

Seudópodos: protuberancias temporales de alguna parte del citoplasma de los protozoos.

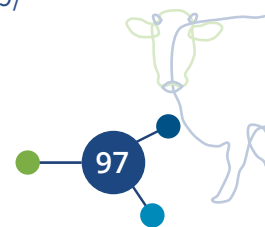
Simbiosis: grupo de dos o más organizaciones.



Referencias

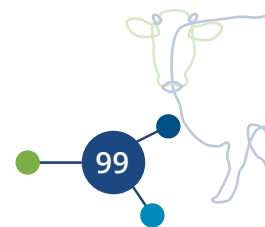
- Arbea, J. I., & Blasco-Zumeta, J. (2001). Ecología de los colémbolos (hexápoda, Collembola) en los Monegros (Zaragoza, España). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 28(2001), 35-48.
- Bani, A., Pioli, S., Ventura, M., Panzacchi, P., Borruso, L., Tognetti, R., & Brusetti, L. (2018). The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*, 126, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.017>
- Barros, E., Curmi, P., Hallaire, V., Chauvel, A., & Lavelle, P. (2001). The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma*, 100(1-2), 193-213. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00086-0)
- Bianco, L. (2023). Revisión de adaptaciones morfo-anatómicas del sistema radical de leguminosas nativas de ambientes desfavorables. *Idesia (Arica)*, 41(2), 95-103. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000200095>
- Cabrera Dávila, G. de la C., Sánchez Rendón, J. A., & Ponce de León Lima, D. (2022). Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana*, 221, 1-21. <https://cu-id.com/2402/v221e01>
- Casanueva Medina, K., Fernández González, E., & Gandarilla Basterrechea, H. (2015). Xiphinema basiri Siddiqi, un peligro potencial para el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en sistemas de cultivos protegidos. *Fitosanidad*, 19(1), 65-68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209146971007>
- Coile, T. S. (1936). Soil samplers. *Soil Science*, 42(2), 139-142. <https://doi.org/10.1097/00010694-193608000-00006>

- Daunoras, J., Kačergius, A., & Gudiukaitė, R. (2024). Role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. *Biology*, 13(2), 85. <https://doi.org/10.3390/biology13020085>
- De Souza, S. T., Cassol, P. C., Baretta, D., Bartz, M. L. C., Klauberg Filho, O., Mafra, Á. L., & Gonçalves da Rosa, M. (2016). Abundance and diversity of soil macrofauna in native forest, eucalyptus plantations, perennial pasture, integrated crop-livestock, and no-tillage cropping. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1-13. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150248>
- Dyer, M. I., Acra, M. A., Wang, G. M., Coleman, D. C., Freckman, D. W., McNaughton, S. J., & Strain, B. R. (1991). Source-sink carbon relations in two *Panicum coloratum* ecotypes in response to herbivory. *Ecology*, 72(4), 1472-1483. <https://doi.org/10.2307/1941120>
- Döbereiner, J., Divan Baldani, V. L., & Baldani, J. I. (1995). *Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas*. Análise Financeira de Sistemas Produtivos Integrados (Embrapa).
- Eisenback, J. D. (2002). *Identification guides for the most common genera of plant parasitic nematodes*. CABI Compendium. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.5555/cabicompendium.20023131494>
- Ferrer-Marcelo, Y., León-Rodríguez, M., Michelena-Álvarez, G., Dustet-Mendoza, J. C., Duque-Ortiz, A., Ibáñez-Fuentes, M. L., & Tortoló-Cabañas, K. (2011). Selección de hongos aislados de bagazo de caña con actividad celulasa sobre celulosa cristalina para posibles aplicaciones industriales. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 45(1), 3-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223122251001>
- Foissner, W. (1992). Estimating the species richness of soil protozoa using the “non-flooded petri dish method”. *Protocols in Protozoology*, B101-102.
- Gilgado, J. D., Cabanillas, D., & Bobbitt, I. (2022). Millipedes and centipedes (Myriapoda: Diplopoda, Chilopoda) in Swiss heated greenhouses, with seven species new for Switzerland. *Revue suisse de Zoologie*, 129(1), 85-101. <https://doi.org/10.35929/RSZ.0063>



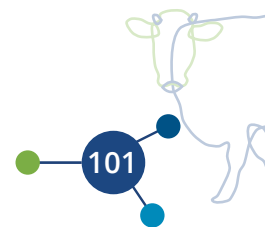
- González Durán, E. D., & Carmona Gómez, A. (2018). *Labores culturales y recolección de los cultivos ecológicos*. IC Editorial.
- Gupta, R., Gigras, P., Mohapatra, H., Goswami, V. K., & Chauhan, B. (2003). Microbial α -amylases: a biotechnological perspective. *Process biochemistry*, 38(11), 1599-1616. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00053-0)
- Guzmán, O. (2016). *Manual para la identificación de nematodos fitoparásitos*. Universidad de Caldas.
- Giller, K. E., & Cadisch, G. (1995). Future benefits from biological nitrogen fixation: an ecological approach to agriculture. En J. K. Ladha, & M. B. Peoples (Eds.), *Management of Biological Nitrogen Fixation for the Development of More Productive and Sustainable Agricultural Systems* (pp. 255-277). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0055-7_13
- Hooper, D. (1986). Extracción of free-living stages of soil. En J. F. Southey (Ed), *Laboratory methods for work with plant and soil nematodes* (pp. 5-30). Ministry of Agriculture Fisheries and Food.
- Hooper, D. J., Hallmann, J., & Subbotin, S. A. (2005). Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes. En M. Luc, R. A. Sikora, & J. Bridge (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 53-86). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851997278.0053>
- Hunt, D., Luc, M., & Manzanilla-López, R. (2005). Identification, morphology and biology of plant parasitic nematodes. En M. Luc, R. A. Sikora, & Bridge, J. (Eds.), *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture* (pp. 20-61). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9781786391247.0020>
- Ichriani, G. I., Syehfani, S., Nuraini, Y., & Handayanto, E. (2018). Formulation of biochar-compost and phosphate solubilizing fungi from oil palm empty fruit bunch to improve growth of maize in an ultisol of Central Kalimantan. *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 45-55. <https://doi.org/10.12911/22998993/92891>

- Ilanguaran, G., & Smith, D. L. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768>
- Inat Trigueros, C. (2016). *Estudio sobre el crecimiento de bacterias proteolíticas y lipolíticas en leche y quesos obtenidos a partir de cabras tratadas con Enrofloxacin* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia].
- Jouquet, P., Bottinelli, N., Shanbhag, R. R., Bourguignon, T., Traoré, S., & Abbasi, S. A. (2016). Termites: the neglected soil engineers of tropical soils. *Soil Science*, 181(3/4), 157-165. <https://doi.org/10.1097/SS.000000000000119>
- Khanipour Roshan, S., Dumack, K., Bonkowski, M., Leinweber, P., Karsten, U., & Glaser, K. (2021). Taxonomic and Functional Diversity of Heterotrophic Protists (Cercaria and Endomyxa) from Biological Soil Crusts. *Microorganisms*, 9(2), 205. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020205>
- Kieliszek, M., Pobiega, K., Piwowarek, K., & Kot, A. M. (2021). Characteristics of the proteolytic enzymes produced by lactic acid bacteria. *Molecules*, 26(7), 1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>
- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27, 93-132. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)
- Lavelle, P., Spain, A., Blouin, M., Brown, G., Decaëns, T., Grimaldi, M., Jiménez, J. J., McKey, D., Mathieu, J., Velásquez, E., & Zangerlé, A. (2016). Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. *Soil Science*, 181(3/4), 91-109. <https://doi.org/10.1097/SS.000000000000155>
- Lavin, M., Pennington, R. T., Klitgaard, B. B., Sprent, J. I., Cavalcante de Lima, H. C., & Gasson, P. E. (2001). The dalbergioid legumes (Fabaceae): delimitation of a pantropical monophyletic clade. *American Journal of Botany*, 88(3), 503-533. <https://doi.org/10.2307/2657116>



- Lovett, G. M., Christenson, L. M., Groffman, P. M., Jones, C. G., Hart, J. E., & Mitchell, M. J. (2002). Insect defoliation and nitrogen cycling in forests: laboratory, plot, and watershed studies indicate that most of the nitrogen released from forest foliage as a result of defoliation by insects is redistributed within the ecosystem, whereas only a small fraction of nitrogen is lost by leaching. *BioScience*, 52(4), 335-341. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0335:IDANCI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0335:IDANCI]2.0.CO;2)
- Lüftenegger, G., Petz, W., Foissner, W., & Adam, M. (1988). The efficiency of a direct counting method in estimating the numbers of microscopic soil organisms. *Pedobiología*, 31 (1-2), 95-101. [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(23\)02252-7](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(23)02252-7)
- Maggenti, A. R. (1981). *General Nematology*. Springer.
- Mai, W., & Mullin, P. (1996). *Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera* (5.º ed.). Comstock Publishing Associates. <https://www.amazon.com/Plant-Parasitic-Nematodes-Pictorial-Genera-Comstock/dp/0801431166>
- Mejía Kergelén, S., Suárez Paternina, E., Martínez Atencia, J., Atencio Solano, L., Sánchez López, D., Pérez García, J. E., Cuadrado Capella, H., Rodríguez Vitola, J. L., Aguayo Ulloa, L., Mayorga Mogollón, O., Martínez Reina, A., Tapia Coronado, J. J., Mestra Vargas, L., Pérez Pazos, J., Garrido Pineda, J., Fernández Niño, J. C., Doria Ramos, M., Paternina Paternina, Y., Ibáñez Miranda, K. ... Mancipe Muñoz, E. (2019). *Modelo productivo de carne bovina en la región Caribe colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.740-272-8>
- Mevi-Schütz, J., & Erhardt, A. (2005). Amino acids in nectar enhance butterfly fecundity: a long-awaited link. *The American Naturalist*, 165(4), 411-419. <https://doi.org/10.1086/429150>
- Naresh, R. K. (2021). *Advances in Agriculture Sciences*. AkiNik Publications. <https://doi.org/10.22271/ed.book.1311>
- Ostos Ortiz, O. L., Rosas Arango, S. M., & González Devia, J. L. (2019). Aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos. *Nova*, 17(31), 129-163. <https://doi.org/10.22490/24629448.3629>

- Perea Rojas, Y. del C., Arias, R. M., Medel Ortiz, R., Trejo Aguilar, D., Heredia, G., & Rodríguez Yon, Y. (2019). Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffee plants. *Agroforestry Systems*, 93(3), 961-972. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0190-1>
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedure of clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society*, 55(1), 158-161. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Philpott, S. M., & Armbrecht, I. (2006). Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology*, 31(4), 369-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x>
- Rahaman, P., & Sharma, S. (1998). Description of an Indian population of *Trophurus longimarginatus* Roman, 1962 (=T. impar Ganguly & Khan, 1983, n. syn.) (Nematoda: Belonolaimidae). *Fundamental and Applied Nematology*, 21(4), 429-430. <https://oar.icrisat.org/1717/>
- Rawat, P., Das, S., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. (2021). Phosphate-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in phosphate solubilization and uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 49-68. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00342-7>
- Robbins, R. (1982). Description of *Hoplolaimus magnistylus* n. sp. (Nematoda: Hoplolaimidae). *Journal of Nematology*, 14(4), 500-506. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19295743/>
- Sánchez López, D. B., Gómez Vargas, R. M., Garrido Rubiano, M. F., & Bonilla Buitrago, R. R. (2012). Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1401-1415. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1346>



- Sánchez López, D. B., Tapia Coronado, J. J., & Atencio Solano, L. M (2022). *Microorganismos del suelo en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de la región Caribe de Colombia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7405705>
- Sanders, D., & Van Veen, F. (2011). Ecosystem engineering and predation: the multi-trophic impact of two ant species. *Journal of Animal Ecology*, 80(3), 569-576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01796.x>
- Santoyo, G., Gamalero, E., & Glick, B. R. (2021). Mycorrhizal-bacterial amelioration of plant abiotic and biotic stress. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 139. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.672881>
- Vaikuntapu, P. R., Dutta, S., Samudrala, R. B., Rao, V. R., Kalam, S., & Podile, A. R. (2014). Preferential promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) growth by plant growth promoting bacteria associated with tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54(4), 403-412. <https://doi.org/10.1007/s12088-014-0470-z>
- Williams, S. T., & Davies, F. L. (1965). Use of antibiotics for selective isolation and enumeration of actinomycetes in soil. *Microbiology*, 38(2), 251-261. <https://doi.org/10.1099/00221287-38-2-251>
- Wills, B. D., & Landis, D. A. (2018). The role of ants in north temperate grasslands: a review. *Oecologia*, 186(2), 323-338. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-4007-0>





Terminó de diseñarse en agosto de 2025.

Bogotá, D. C., Colombia

AGROSAVIA, como motor activo y su aporte científico en la transformación del campo colombiano, busca en los sistemas agrícolas y pecuarios una interrelación para conformar modelos sostenibles de producción; estos, en su complejidad, se encuentran asociados a distintos componentes que interactúan de manera sinérgica para garantizar el equilibrio y resiliencia. Dentro de los componentes hay un mundo totalmente oculto que tiene un aporte importante sobre la estabilidad de los modelos agropecuarios, asociado a los microorganismos de la rizosfera del suelo, que entran en simbiosis, asociatividad y mutualismo para generar condiciones favorables al crecimiento y desarrollo de las plantas y animales. La lectura de este documento ilustrado nos orienta a reconocer microorganismos de importancia como los hongos, levaduras, bacterias, nematodos, artrópodos, entre otros. Así mismo, invita a toda la comunidad a explorar un mundo que no vemos a simple vista o dejamos a un lado sin entender su importancia, pero que aporta a la estabilidad de nuestros sistemas productivos y, en especial, ante las eventualidades generadas por las variaciones del clima. Reconocer su importancia y relevancia nos permitirá a futuro darle el valor suficiente para que se conviertan en el eje central que garantizará la productividad y sostenibilidad en Colombia.

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



correo: bac@agrosavia.co
teléfono: (+57) 6019144677

www.agrosavia.co
Distribución gratuita

Prohibida su venta