

Microorganismos del suelo en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos

de la región Caribe de Colombia



AGROSAVIA
EDITORIAL

Microorganismos del suelo en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos

de la región Caribe de Colombia

| Colección Transformación del Agro |

Sánchez López, Diana Beatriz

Microorganismos del suelo en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de la región Caribe de Colombia. / Diana Beatriz Sánchez López; José Jaime Tapia Coronado y Liliana Margarita Atencio Solano - Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2022.

40 páginas (Colección Transformación del Agro)
Incluye referencias bibliográficas, tablas e ilustraciones.

ISBN: 978-958-740-569-9

ISBN e-Book: 978-958-740-570-5

1. Producción animal 2. Sistemas pecuarios 3. Forrajes 4. Organismos beneficiosos 5. Bacterias del suelo. I. Tapia Coronado, José Jaime II. y 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

Sede Central. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Centro de Investigación Turipán, kilómetro 13 vía Montería-Cereté, Córdoba. Código postal 230550, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto
“Evaluación multilocal de germoplasma forrajero”
en sus fases 2 y 3, desarrollado por la Corporación
Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Colección: Transformación del Agro

Tipología: cartilla

Primera edición: octubre de 2022

Autores

Diana Beatriz Sánchez López

José Jaime Tapia Coronado

Liliana Margarita Atencio Solano

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Dirección editorial

Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Editora

Verónica Barreto Riveros

Adecuación pedagógica y corrección de estilo

Andrea Montoya Carvajal

Diseño y diagramación

Mónica Cabiati Daza

Ilustración

Luz Patricia Colorado Correa, Alvaro Ochoa.

Fotografías

Liseth Jineth Cárdenas Sánchez, José Jaime Tapia Coronado y Diana Beatriz Sánchez López

Citación sugerida: 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).

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7405705>

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



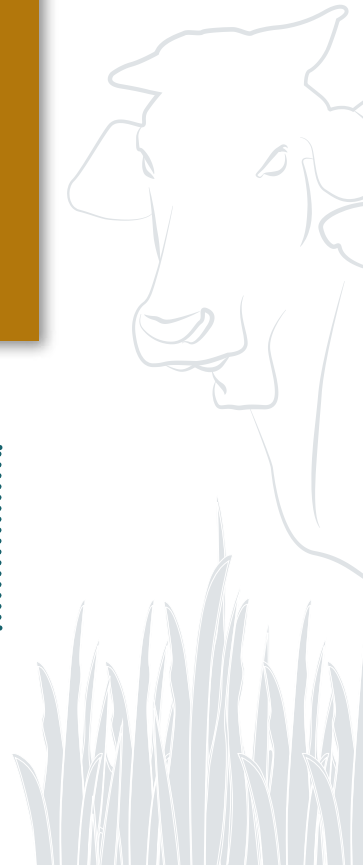
https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

- 5** Introducción
- 7** Los microorganismos y su acción en el suelo
- 9** Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos
- 24** ¿Dónde habitan los microorganismos?
- 27** Interacciones de la pastura y las bacterias benéficas
- 30** Grupos funcionales de microorganismos
- 34** ¿Qué condiciones favorecen el desarrollo de los microorganismos en los sistemas ganaderos?
- 35** Glosario
- 38** Bibliografía

Los microorganismos del suelo son el componente más importante de este, constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. En un solo gramo de tierra, encontramos millones de microorganismos beneficiosos para los cultivos.

Fritz Martin Engel



AUTORES

Diana Beatriz Sánchez López

Investigador Máster Asociado, CI Turipaná
dbsanchez@agrosavia.co

José Jaime Tapia Coronado

Investigador Máster Asociado, CI Turipaná
jtapia@agrosavia.co

Liliana Margarita Atencio Solano

Investigador Máster, CI Turipaná
latencio@agrosavia.co

Los autores agradecen al Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la financiación del proyecto “Evaluación multilocacional de germoplasma forrajero”.



Introducción

Esta cartilla es una guía que nos permitirá conocer las características y bondades de los microorganismos del suelo en sistemas ganaderos.

La actividad ganadera en Colombia se constituye como uno de los principales sistemas productivos agropecuarios de gran tradición, que vincula a hombres y mujeres, principalmente de la zona rural en los diferentes eslabones, a saber: producción primaria, transporte, transformación industrial, comercialización y distribución del producto final al consumidor. Sin embargo, este sector se caracteriza por una baja productividad y competitividad, que hace necesario llevar a cabo una ganadería más sostenible, involucrando el desarrollo de prácticas ganaderas que contribuyan al bienestar del sistema, permitan mejorar indicadores productivos y de rentabilidad, y ayuden a disminuir el impacto negativo sobre el medio ambiente.



Introducción

Uno de los beneficios obtenidos con el enfoque de una ganadería sostenible es mejorar los indicadores de calidad física, química y biológica del suelo, y con ello su capacidad productiva. La aplicación de fertilizantes químicos, herbicidas, ivermectinas y el uso excesivo de maquinaria genera en el suelo pérdida de diversidad y de la actividad de las poblaciones de macro, meso y microorganismos, así como pérdida de la fertilidad, erosión, disminución en la producción de forrajes y, por ende, un menor desempeño productivo del animal.



Los microorganismos y su acción en el suelo

Los microorganismos son seres vivos microscópicos que se caracterizan por su capacidad de colonizar todo tipo de ambiente, ya sea en el agua, suelo o aire. Estos seres pueden vivir solos o asociados a otros seres vivos como las plantas, los animales y el ser humano.

En el suelo, los microorganismos participan en procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas y generan varias contribuciones (figura 1).



► **Figura 1.** Contribuciones de los microorganismos del suelo.
Fuente: Elaboración propia

Los microorganismos y su acción en el suelo



Sabía que...

El forraje y las raíces muertas de las pasturas, las hojas de los árboles y la bosta de los animales son compuestos orgánicos degradados por la biología del suelo, de la cual hacen parte los microorganismos, que contribuyen a la fertilidad de los suelos.



Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos

En el suelo se pueden encontrar dos tipos de microorganismos: microflora y microfauna. A partir de esta clasificación, se observó el modelo de producción sostenible de carne bovina para la región Caribe, liderado por AGROSAVIA, y se encontraron los siguientes microorganismos, que hacen parte de numerosos ensamblajes microbianos y que actúan como benéficos (tabla 1).

Tabla 1. Microorganismos presentes en el modelo de producción sostenible de carne bovina en la región Caribe

Grupo	Categoría	Familias/géneros/especies
Microflora	Actinomicetos	<i>Streptomyces</i> sp. <i>Actinomyces</i> sp.
	Bacterias	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Azotobacter vinelandii</i> <i>Azospirillum lipoferum</i> <i>Bacillus</i> sp. <i>Micrococcus leteus</i> <i>Lactobacillus</i> sp.
	Hongos	<i>Glomus</i> sp. <i>Penicillium</i> sp. <i>Aspergillus</i> sp. <i>Trichoderma</i> sp.
	Algas	Chlorophyceae

Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos

Microfauna	Protozoarios	<i>Mayorella</i> sp. <i>Acanthamoeba</i> sp. <i>Vanella</i> sp. <i>Arcella</i> sp. <i>Diffugia</i> sp. <i>Trinema</i> sp. <i>Hyalosphenia</i> sp. <i>Chilodonella</i> sp. <i>Oligotrichia</i> sp. <i>Chilomastix</i> sp. <i>Perispira</i> sp. <i>Euplotes</i> sp.
	Nematodos	<i>Aphelenchus</i> sp. <i>Tylenchus</i> sp. <i>Mesocriconema</i> sp. <i>Helicotylenchus</i> sp. <i>Xiphinema</i> sp. <i>Ditylenchus</i> sp.

Fuente: Elaboración propia



Este modelo es un sistema intensivo de producción de carne que se fundamenta en tres componentes: ambiental, económico y bienestar animal (figura 2). Desde lo ambiental, sugiere el uso de una pastura de alta productividad, calidad nutricional y adaptabilidad, con un manejo adecuado de pastoreo, lo que permite un sistema rotacional eficiente de la pastura

y un adecuado uso del suelo. Asimismo, promueve la diversidad de especies vegetales (árboles, arbustos, gramíneas y leguminosas), que contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero, el reciclaje de nutrientes, el incremento de materia orgánica y la actividad biológica del suelo. Esto influye positivamente en la respuesta animal y, por ende, en los indicadores productivos del sistema ganadero, como ganancias diarias de peso y carga animal.

La información relacionada en el presente documento es el resultado de estudios desarrollados en el modelo de producción sostenible de carne bovina, ubicado en el Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA, donde se determinó la microflora y microfauna del suelo bajo las gramíneas forrajeras *Megathyrsus maximus* cv. Agrosavia Sabanera y *M. maximus* cv. Mombasa. Para ello, se realizó el siguiente proceso:



► **Figura 2.** Modelo de producción sostenible de carne bovina para el Caribe húmedo.
Fotos: Diana Beatriz Sánchez López y José Jaime Tapia Coronado

Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos

- Muestreos en forma de zig-zag en 16 potreros, durante el periodo de lluvias y en el periodo seco.
- En cada potrero se tomó una muestra de suelo rizosférico a una profundidad de 20 cm, muestras de la parte aérea del pasto y nódulos de las leguminosas presentes como *Desmodium scorpiurus* y *Teramnus labialis*.
- Las muestras fueron depositadas en bolsas plásticas con cierre hermético y transportadas en neveras de icopor (temperatura de 4 a 8 °C) al Laboratorio de Microbiología Agrícola del CI Turipaná de AGROSAVIA para el aislamiento e identificación de los microorganismos.



Recuerde:

Para aprovechar los beneficios que nos suministra la microbiota del suelo en los sistemas ganaderos, es importante conocer cuáles son los microorganismos que allí se encuentran.

Microflora

En este grupo podemos encontrar actinomicetos, bacterias, hongos, virus y algas, que son microorganismos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

- **Actinomicetos.** Son bacterias ramificadas filamentosas, de aspecto fúngico. Son un grupo importante dentro de los microorganismos, ya que juegan un papel clave en el mantenimiento del ecosistema y el reciclaje de nutrientes del suelo, y tienen la capacidad para producir sustancias que promueven el crecimiento de las plantas y metabolitos secundarios (figura 3).

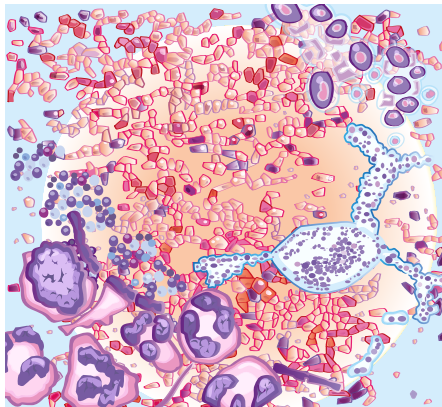
Estos metabolitos secundarios pueden ser:

- » **Agentes antagónicos:** antibacterianos, antifúngicos y antivirales.
- » **Agentes farmacológicos:** antitumorales, inmunomoduladores, neurológicos e inhibidores enzimáticos.
- » **Agrobiológicos:** insecticidas, pesticidas y herbicidas.

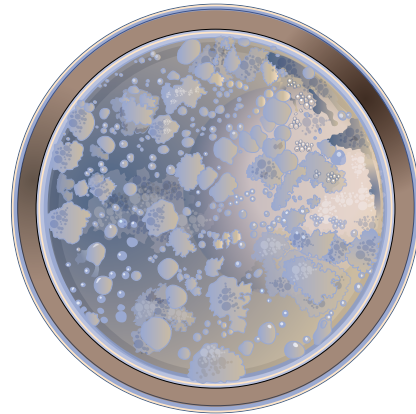


► **Figura 3.** Actinomicetos asociados a pasturas *M. maximus* en el modelo de producción sostenible en el Valle del Sinú.

- **Bacterias.** Organismos procariotas unicelulares con un tamaño aproximado de 1 micra de diámetro y con diversas formas, como esferas, barras y filamentos curvados. Las bacterias desempeñan gran variedad de funciones en el medio ambiente, entre ellas mantener el equilibrio del ecosistema y brindar diferentes servicios como el ciclo biogeoquímico del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y potasio, y la biodegradación de contaminantes tóxicos (figura 4).



Bacterias coloreadas con tinción de Gram



Bacterias aeróbicas en medio de cultivo nutritivo

► **Figura 4.** Bacterias del suelo asociadas a pasturas *M. maximus* en el modelo de producción sostenible en el Valle del Sinú.



Recuerde:

En el modelo productivo del Valle del Sinú se presenta aproximadamente un total de bacterias aerobias cultivables de 1.634.893 UFC*/gramo de suelo para el periodo de lluvias y de 1.016.366 UFC/gramo de suelo para el periodo seco.

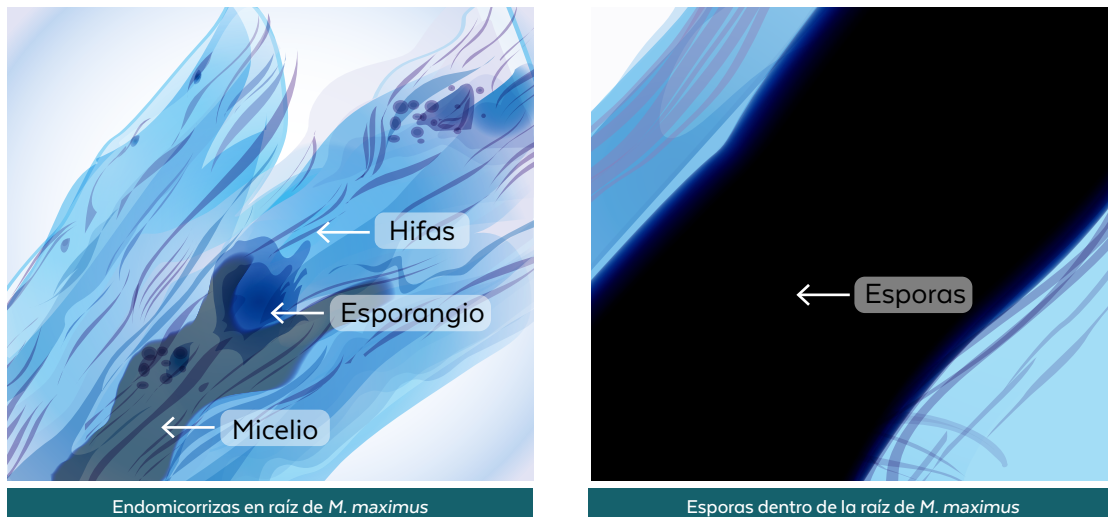
*UFC: unidades formadoras de colonias (término para describir microorganismos vivos).

- **Hongos.** Se mencionan cuatro grupos de importancia ecológica: descomponedores, mutualistas (micorrizas), antagonistas y patógenos. Entre los hongos descomponedores de madera participan los Phylum Ascomycota y los Basidiomycota con actividad ligninolítica en árboles caídos.

Las micorrizas son colonizadores de las raíces de las plantas (figura 5), beneficiosos para las pasturas porque incrementan su área radicular y mejoran la calidad nutricional y la producción de los forrajes. Están conformadas por esporangios, esporas, arbusculos, vesículas, hifas y micelios.



Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos



► **Figura 5.** Colonización de micorrizas arbusculares asociadas a pasturas de *M. maximus*.

Recuerde:

En el modelo de producción sostenible de carne bovina en el Caribe se ha observado que los hongos micorrízicos colonizan las raíces de las pasturas de *M. maximus* en un 75 % durante la época de lluvias y en un 64 % en época seca.

En el sistema ganadero también es posible encontrar hongos antagonistas para el control biológico, como es el caso de *Trichoderma* sp. (figura 6). A nivel comercial, existen en el mercado varios productos a base de este hongo, que se utiliza en actividades agrícolas como controlador biológico de hongos fitopatógenos.

En algunos casos, debido a la afectación por el clima, las pasturas se ven perjudicadas ante la presencia de ciertos hongos patógenos que producen micotoxinas mientras parasitan, presentando síntomas de marchitez y enanismo en los pastos.

- **Algas.** Son organismos ubicuos que se encuentran en los tejidos de las plantas y el suelo, viven libremente o en asociación con líquenes y hongos, ya sea en áreas húmedas o secas (figura 7). De igual forma, algunas especies viven en aguas de manera libre. La mayoría de estas algas se encuentran en la oscuridad, utilizando una fuente externa de carbono orgánico y contribuyendo activamente a los ciclos del carbono y el nitrógeno.

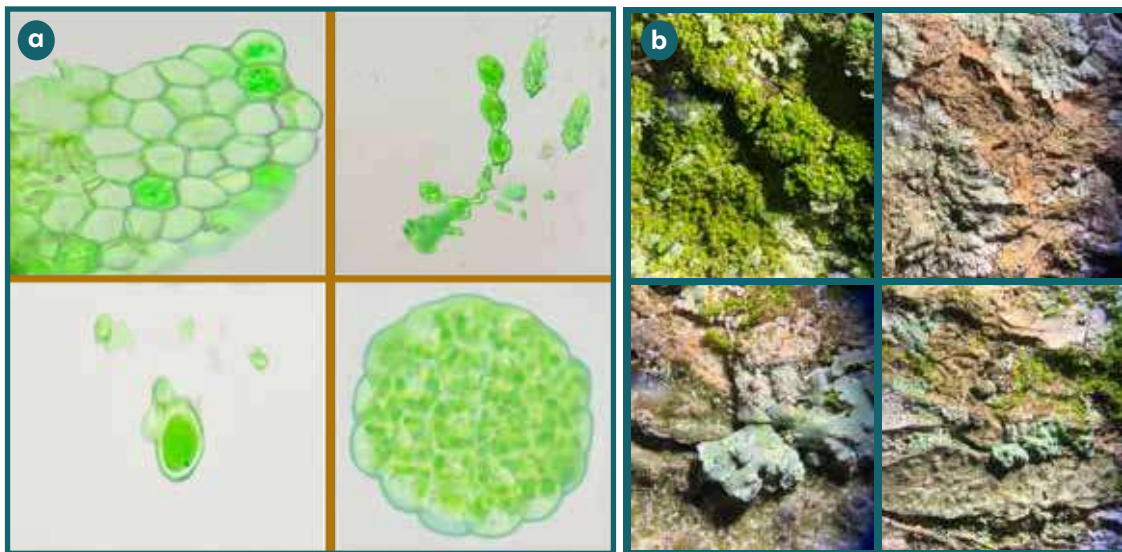


Trichoderma sp.

► **Figura 6.** Hongo antagonista asociado a pasturas de *M. maximus* en el modelo de producción sostenible en el Valle del Sinú.



Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos



► **Figura 7.** Asociación de (a) algas verdes de la familia Chlorophyceae con (b) líquenes y briófitas en la corteza de los árboles de camacho y guácimo en sistemas ganaderos.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Diana Beatriz Sánchez López



Microfauna

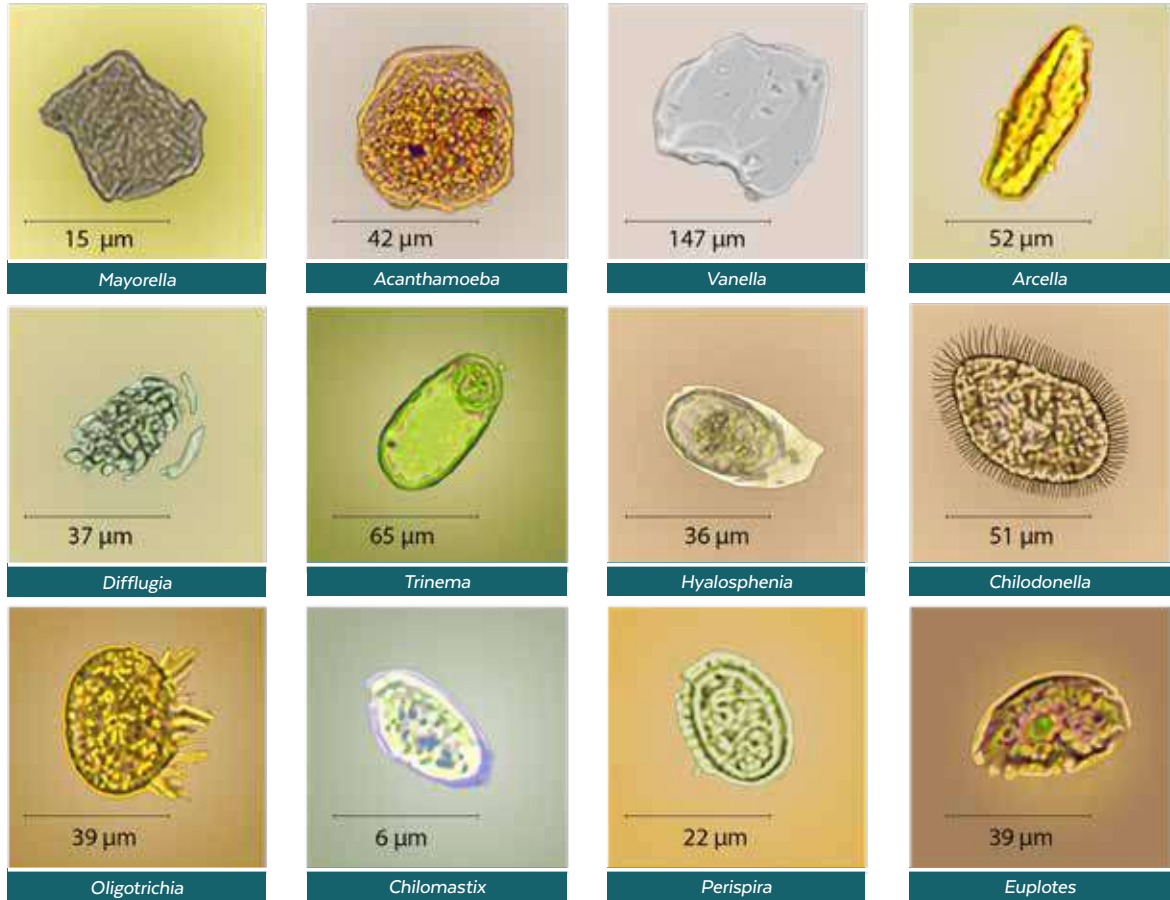
Está formada por protozoos eucariotas, unicelulares (amebas desnudas y testadas, flagelados, ciliados) y organismos multicelulares (rotíferos, tardígrados y nematodos). Estos microorganismos presentan un tamaño menor a 100 micras y su hábitat es el agua libre, pero también se pueden hallar en áreas del lote que se encuentren encharcadas o en zonas húmedas.

- Los **protozoarios** son el grupo de microorganismos que hacen parte de la cadena alimenticia de los invertebrados y permiten reciclar los nutrientes del suelo (figura 8). En los sistemas naturales, estos microorganismos y la radiactividad solar son la base de la productividad primaria.

Junto con las bacterias, los protozoarios son los responsables de la respiración animal del suelo y son muy importantes para la nutrición de los invertebrados (lombrices, hormigas, escarabajos, arañas, ciempiés, milpiés, entre otros), los cuales desempeñan un papel importante en los indicadores físicos y químicos del suelo.



Microorganismos del suelo presentes en los sistemas ganaderos



► **Figura 8.** Protozoarios en sistemas ganaderos de *M. maximus*.

En algunos sistemas ganaderos se ha observado que la población de protozoarios por m² de suelo en época de lluvia es de 243 millones de individuos, la cual disminuye en un 18 % en época seca.

Algunos protozoarios en mayor abundancia son: amebas desnudas (*Mayorella* sp., *Acanthamoeba* sp. y *Vanella* sp.), amebas testadas (*Arcella* sp., *Diffugia* sp., *Trinema* sp. y *Hyalosphenia* sp.), flagelados (*Chilomastix* sp.) y ciliados (*Chilodonella* sp., *Oligotrichia* sp., *Perspira* sp. y *Euplotes* sp.).



- Los **nematodos** son organismos invertebrados pseudocelomados con medidas entre 300 y 1.000 μm de largo, viven en las partículas de agua rodeando a su vez los agregados del suelo y contemplan cinco grupos tróficos: bacteriófagos, fungívoros, depredadores, herbívoros-fitoparásitos y omnívoros. Las poblaciones de cada grupo pueden verse alteradas o amenazadas por el manejo del sistema ganadero.

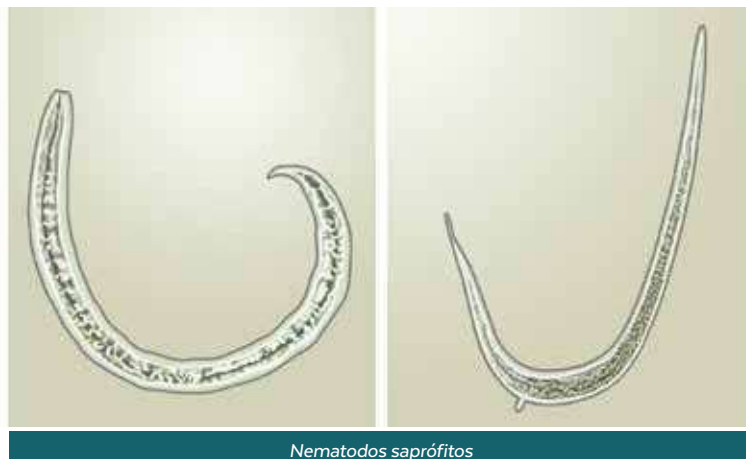
Estos invertebrados juegan un papel importante en el suelo, pues se ha observado que en sistemas agrícolas contribuyen con el 8 al 19 % a la mineralización de nitrógeno en sistemas convencionales e integrados, respectivamente. Asimismo, favorecen la distribución de la biomasa, gracias a que los nematodos son un indicador valioso en la salud del suelo.

- » **Nematodos bacteriófagos:** alimentación exclusiva de bacterias.
- » **Nematodos fungívoros:** alimentación exclusiva de hongos, que regulan poblaciones de bacterias. Participan en la mineralización del nitrógeno y en el ciclo de nutrientes.
- » **Nematodos fitófagos-herbívoros:** se alimentan de raíces de los pastos y algunos parasitan hojas y tallos.
- » **Nematodos depredadores:** se alimentan de microorganismos del suelo, incluidos los nematodos fitoparásitos de las plantas, reduciendo sus poblaciones.
- » **Nematodos omnívoros:** son pluricelulares, se encuentran alrededor de las raíces de los pastos en suelos húmedos y se alimentan de hongos, bacterias y algas.



Entre los géneros de nematodos que se han encontrado asociados en suelo, bajo pasturas de *M. maximus*, podemos destacar: *Ditylenchus* sp., *Aphelenchus* sp., *Tylenchus* sp., *Mesocriconema* sp., *Helicotylenchus* sp. y *Xiphinema* sp.

En el modelo productivo se puede determinar la presencia de nematodos saprófitos (figura 9), los cuales mejoran la mineralización del nitrógeno y estimulan el crecimiento de las plantas. Teniendo en cuenta que son los nematodos más abundantes en el suelo, favorecen el equilibrio en las poblaciones de nematodos en los suelos, por lo cual las plantas pueden resistir el ataque de los nematodos fitopatógenos.

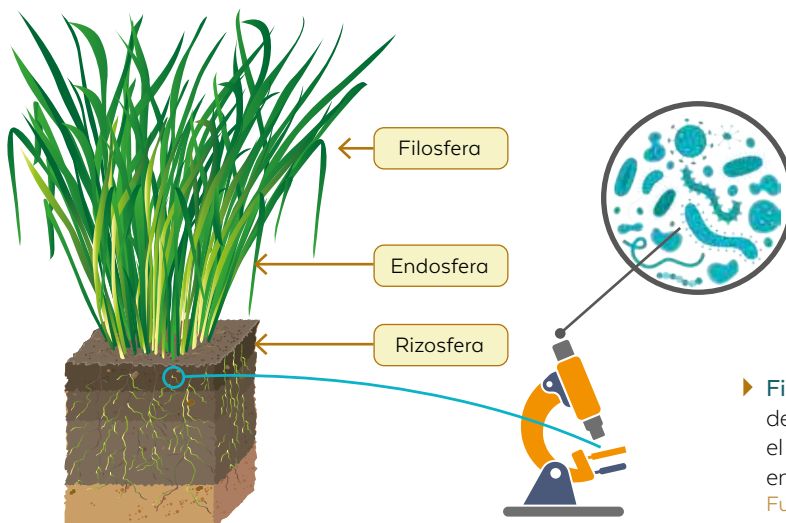


► **Figura 9.** Nematodos saprófitos asociados a la rizosfera de *M. maximus* en el modelo de producción sostenible en el Valle del Sinú.

¿Dónde habitan los microorganismos?

Los microorganismos se pueden encontrar dispersos en todo el sistema ganadero, a menudo unidos a las partículas del suelo, interactuando con las raíces de las plantas (gramíneas, leguminosas y árboles) y en ocasiones en la bosta de los animales (figura 10). Sus poblaciones son variables en el sistema, pero tienden a ser mayores en época de lluvias y principalmente en la zona de la rizosfera.

- **Filosfera:** hojas de la planta.
- **Endosfera:** interior de los tejidos de la planta.
- **Rizosfera:** suelo circundante alrededor de las raíces de las plantas.



Matriz del suelo

► **Figura 10.** Regiones de interacción de planta-suelo-microorganismos en el modelo de producción sostenible en el Valle del Sinú.

Fuente: Elaboración propia

¿Dónde habitan los microorganismos?

Sabía que...

La rizosfera es fundamental tanto en el ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la calidad del suelo, como en el crecimiento y la productividad de las plantas.

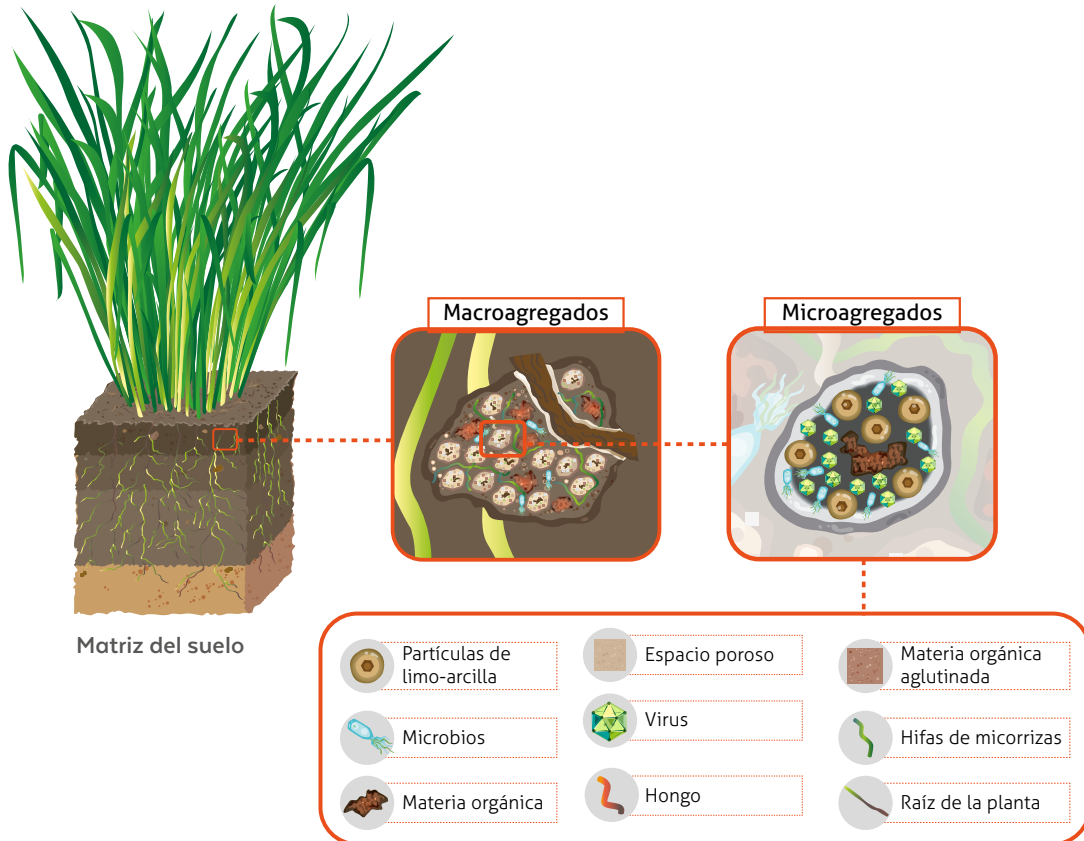


La rizosfera es la zona donde interaccionan las raíces de las plantas con los microorganismos del suelo; en ella se presenta una alta población y actividad de la microbiota, produciendo sustancias que permiten el crecimiento de los pastos. Lo anterior depende de las características del suelo, por lo que la distribución y la abundancia relativa de micro y macroagregados (figura 11) influyen en las propiedades de la biomasa microbial del suelo, incluyendo el contenido del carbono orgánico, agua y disponibilidad de diversos nichos de microorganismos en los diferentes agregados y exhibiendo diferentes propiedades y funciones en las matrices circundantes.

El 70 % de las bacterias del suelo viven dentro de los microagregados, otras quedan atrapadas en la formación de las matrices de minerales y otras colonizan el exterior del agregado en acontecimientos posteriores de saturación de los suelos. La porosidad y la conectividad de los agregados

¿Dónde habitan los microorganismos?

—unidad funcional del ecosistema del suelo— están influenciadas por la diversidad de bacterias y hongos presentes durante la formación.



► **Figura 11.** Macroagregados y microagregados en la rizosfera de *M. maximus*.

Fuente: Elaboración propia con base en Wilpiszeski et al. (2019)

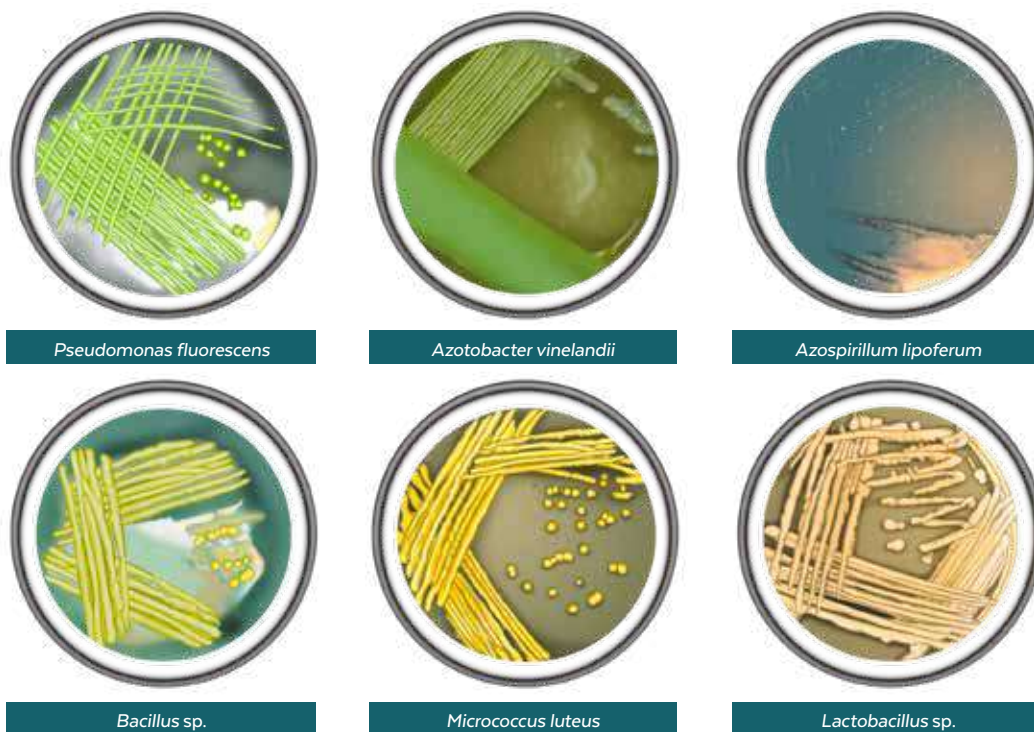
Interacciones de la pastura y las bacterias benéficas

En los sistemas ganaderos se pueden encontrar bacterias promotoras de crecimiento vegetal (figura 12), denominadas en inglés *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR). Estas bacterias residen en la rizosfera, mejorando la salud de las pasturas y ayudando a aumentar su crecimiento.

Entre los géneros de bacterias que se han encontrado asociados a plantas de *M. maximus* podemos destacar *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter vinelandii*, *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus* sp., *Micrococcus luteus*, *Lactobacillus* sp., entre otros.



Interacciones de la pastura y las bacterias benéficas



► **Figura 12.** Bacterias benéficas asociadas a *M. maximus* en el modelo de producción sostenible en el Valle del Sinú.



Estas bacterias favorecen el incremento de las plantas forrajeras (gramíneas y leguminosas) a través de los siguientes mecanismos:

- **Mecanismos directos.** Ocurren dentro de la planta y permiten aumentar el metabolismo y la expresión de sus genes, entre los cuales se pueden mencionar:
 - » Fijación biológica de nitrógeno.
 - » Solubilización de fosfatos.
 - » Síntesis de fitohormonas (auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico).
- **Mecanismos indirectos.** Se producen por fuera de la planta y se caracterizan porque causan disminución o eliminación de microorganismos patógenos. Entre estos se encuentran:
 - » Producción de sideróforos.
 - » Producción de quitinasa y glucanasa.
 - » Producción de antibióticos.
 - » Inducción de resistencia sistémica.
 - » Actividad de la enzima ACC desaminasa.



Grupos funcionales de microorganismos

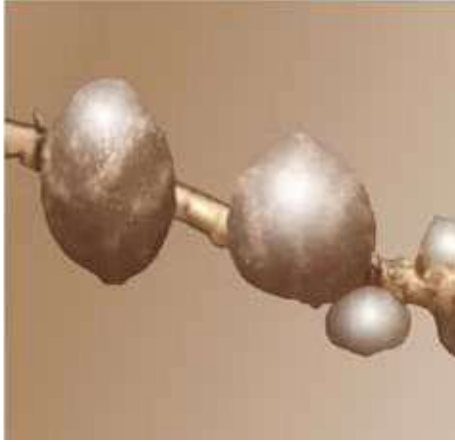


Veamos a continuación cuáles son los grupos funcionales de microorganismos que se encuentran en los sistemas ganaderos.

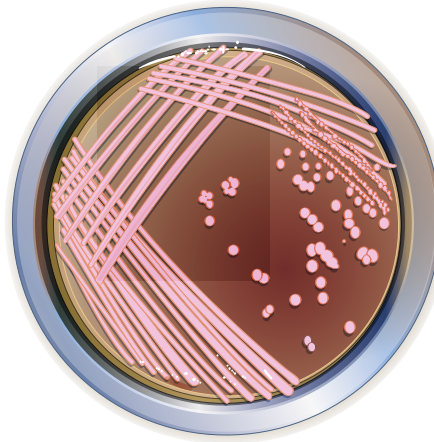
Microorganismos fijadores de nitrógeno

En sistemas ganaderos se pueden encontrar dos rangos de fijación biológica de nitrógeno atmosférico, que se clasifican en dos categorías:

- **Bacterias simbióticas asociadas a raíces.** Están principalmente asociadas a las leguminosas, infectando las raíces y produciendo nódulos (figura 13). Algunas leguminosas que se pueden resaltar por este asocio y que predominan en la región Caribe son *Desmodium scorpiurus* y *Teramnus labialis*.
- **Bacterias de vida libre o asimbióticas.** Se encuentran principalmente en la rizosfera. En sistemas ganaderos



Raíz de *D. scorpiurus* con nódulos



Rhizobium sp.

► **Figura 13.** Asociaciones simbióticas entre bacterias y leguminosas en *M. maximus*.

se destacan *Azotobacter vinelandii* y *Azospirillum lipoferum*, asociadas también a la endosfera de las plantas de *M. maximus*.

Estos microorganismos poseen genes *nif*, responsables de codificar la enzima de la nitrogenasa, clave en la fijación de nitrógeno, por lo que se considera una condición importante en las PGPR, ya que suministra nitrógeno directamente a las plantas.

Microorganismos solubilizadores de fósforo

Son hongos y bacterias que tienen la capacidad de hidrolizar compuestos orgánicos de fósforo y fuentes de fósforo inorgánico insoluble (figura 14), permitiendo que este elemento se encuentre disponible para la nutrición de las plantas y el enriquecimiento del suelo.

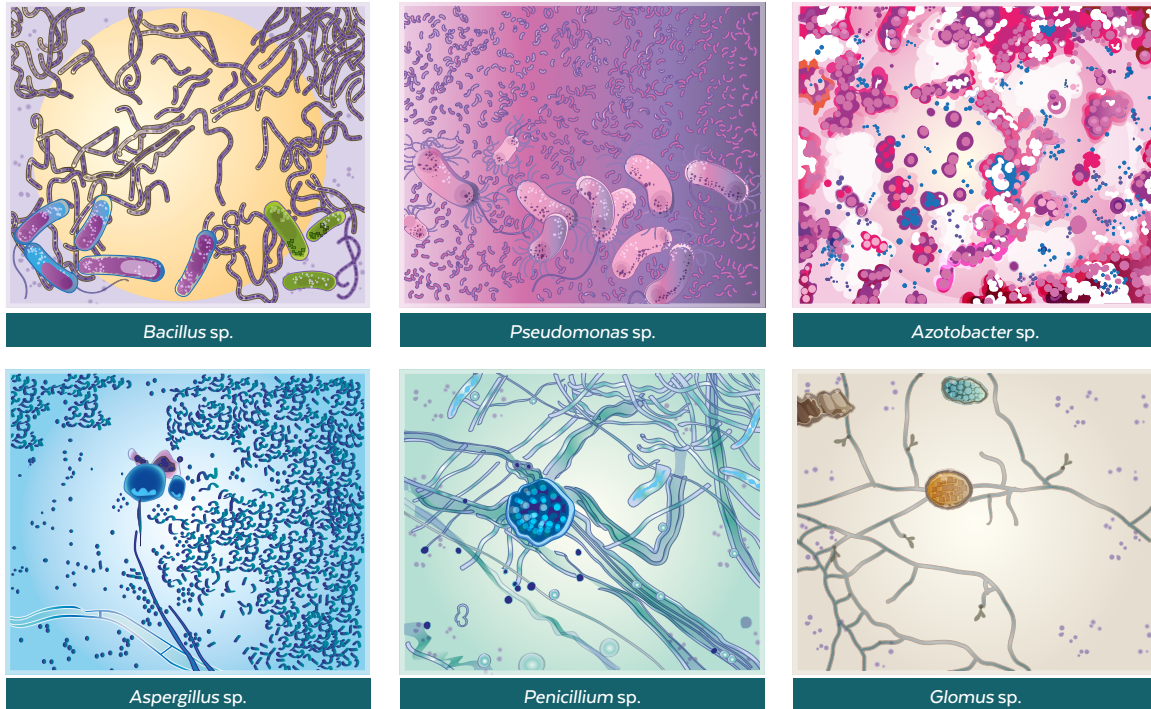


En sistemas ganaderos sostenibles de Córdoba se encuentran los siguientes géneros solubilizadores de fósforo:

Bacterias: *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Rhizobium* sp., *Azotobacter* sp., *Enterobacter* sp.

Hongos: *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp. y *Glomus* sp.

Grupos funcionales de microorganismos



► **Figura 14.** Microorganismos solubilizadores de fósforo asociados a *M. maximus*.

En este tipo de sistemas, además de las características físico-químicas de los suelos, como pH, acumulación de carbono orgánico, estructura del suelo, fluctuaciones de nutrientes, humedad y temperatura, la abundancia y actividad de los microorganismos solubilizadores de fósforo pueden verse limitadas debido a las prácticas de manejo.

¿Qué condiciones favorecen el desarrollo de los microorganismos en los sistemas ganaderos?



Se deben generar condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos y así contribuir con una ganadería sostenible, beneficiosa para el medio ambiente. A continuación, veamos algunas acciones clave:

- Implementación de árboles (por ejemplo, sistemas silvopastoriles).
- Eliminación de quemas.
- Uso de cercas vivas.
- Reducción del uso de productos químicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, ivermectinas) y otros compuestos tóxicos.
- Manejo adecuado de las praderas (manejo del pastoreo, evitando el sobrepastoreo).
- Asociación de especies (gramíneas, leguminosas, arbustos).
- Uso de cero labranza o mínima labranza.

Glosario

Fitohormonas: son sustancias orgánicas o sintéticas, llamadas reguladores de crecimiento, que se aplican directamente a una planta con el objetivo de alterar la estructura, mejorar la calidad, agrandar los rendimientos y facilitar la cosecha.

Gen nif: es un complejo de distintos genes (nifD, nifK y nifH) que codifican enzimas e involucran la fijación de nitrógeno (N_2) en forma de nitrógeno, permitiendo su disponibilidad para todos los seres vivos.

Invertebrados: conjunto de organismos que no presentan columna vertebral. Entre estos se encuentran artrópodos, anélidos, moluscos, equinodermos, cnidarios, poríferos, platelmintos y nematodos.

Ligninolítica: enzimas extracelulares de degradación, producida por ciertos microorganismos.

Macroagregados: partículas de suelo con un tamaño de 0,25 a 2 mm, que se mantienen adheridas a las raíces de los hongos por complejos órgano-minerales, entre los cuales se encuentran lombrices y termitas.

Materia orgánica: se refiere a todo el material de origen animal o vegetal que esté descompuesto, parcialmente descompuesto y sin descomponer.

Metabolitos secundarios: son compuestos bioquímicos sintetizados por las plantas que participan en la elaboración de productos farmacéuticos, bioquímicos, aditivos alimentarios y sabores.

Microagregados: presentan un tamaño menor a 250 μm y se encuentran adheridos a bacterias, virus, nematodos, protozoos y exudados microbiales. Estos microagregados se ensamblan en macroagregados.

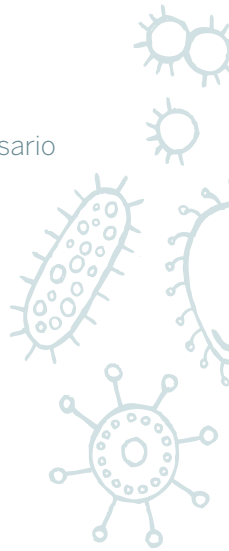
Microorganismos ubicuos: son los que tienen la capacidad de residir en cualquier hábitat (aire, agua o suelo).

Microbiota: grupo de microorganismos como bacterias, hongos, protozoarios, entre otros, que cumplen un papel fundamental en procesos geoquímicos.

Mutualistas: acción de los organismos en la cual existe un beneficio por una relación.

Pseudocelomados: “es una cavidad corporal llena de líquido que se encuentra dentro de la pared externa del cuerpo del nematodo que baña los órganos internos, incluidos el sistema alimentario y el sistema reproductivo” (Altun & Hall, 2009).





Red trófica: sucesión de organismos en una comunidad ecológica que están vinculados entre sí a través de la transferencia de energía y nutrientes.

Sideróforos: son compuestos orgánicos con masas moleculares bajas producidos por microorganismos y plantas, crecen en condiciones de bajo contenido de hierro y su función principal es quelar el hierro férrico (Fe III) en diferentes hábitats terrestres y acuáticos, dejándolo a disposición de las células microbianas y vegetales.

Sustancia húmica: materia orgánica bien descompuesta.





Bibliografía

Altun, Z. F., & Hall, D. H. (2009). *Pericellular structures*. WormAtlas.

Beare, M. H. (1997). Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soil. En L. Brussaard, & R. Ferrera-Cerrato (Eds.), *Soil ecology in sustainable agricultural systems* (pp. 37-70). Lewis.

Bolo, P., Kihara, J., Mucheru-Muna, M., Njeru, E. M., Kinyua, M., & Sommer, R. (2021). Application of residue, inorganic fertilizer and lime affect phosphorus solubilizing microorganisms and microbial biomass under different tillage and cropping systems in a Ferralsol. *Geoderma*, 390.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114962>

Choi, S., Song, H., Tripathi, B. M., Kerfahi, D., Kim, H., & Adams, J. M. (2017). Effect of experimental soil disturbance and recovery on structure and function of soil community: a metagenomic and metagenetic approach. *Scientific Reports*, 7(1), 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02262-6>

Crawford, J. W., Deacon, L., Grinev, D., Harris, J. A., Ritz, K., Singh, B. K., & Young, I. (2012). Microbial diversity affects self-organization of the soil-microbe system with consequences for function. *Journal of the Royal Society Interface*, 9(71).

<https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0679>

Demain, A. L., & Sanchez, S. (2009). Microbial drug discovery: 80 years of progress. *The Journal of Antibiotics*, 62(1), 5-16.

Foissner, W. (1999). Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. En *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 95-112). Elsevier.

- Gómez, C., & Corlay, L. (2007). Microbiota edáfica y su importancia en la agricultura. En Ferrera-Cerrato R., & Alarcón, A. (Eds.), *Microbiología agrícola* (pp. 39-55). Trillas.
- Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500>
- Islam, R., & Sherman, B. (Eds.). (2021). *Cover crops and sustainable agriculture*. CRC Press.
- Jarosch, K. A., Kandeler, E., Frossard, E., & Bünemann, E. K. (2019). Is the enzymatic hydrolysis of soil organic phosphorus compounds limited by enzyme or substrate availability? *Soil Biology and Biochemistry*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107628>
- Kalayu, G. (2019). Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>
- Mejía Kerguelén, 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://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/38>

Rodríguez-Zaragoza, S. (2014). *Protozoarios del suelo*. Trillas.

Siddique, R., Gul, A., Ozturk, M., & Altay, V. (2021). Phosphate solubilizing bacteria for soil sustainability. En *Handbook of Assisted and Amendment: Enhanced Sustainable Remediation Technology* (pp. 423–435). <https://doi.org/10.1002/9781119670391.ch21>

Smetanska, I. (2008). Production of secondary metabolites using plant cell cultures. En U. Stahl, U. E. B. Donalies, & E. Nevoigt (Eds.), *Food Biotechnology* (pp. 187–228).

Stewart, A., Rioux, D., Boyer, F., Gielly, L., Pompanon, F., Saillard, A., Thuiller, W., Valay, J. G., Marécha, E., & Coissac, E. (2021). Altitudinal zonation of green algae biodiversity in the French Alps. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1066. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.679428>

Szoboszlay, M., Dohrmann, A. B., Poeplau, C., Don, A., & Tebbe, C. C. (2017). Impact of land-use change and soil organic carbon quality on microbial diversity in soils across Europe. *FEMS Microbiology Ecology*, 93(12), fix146. <https://doi.org/10.1093/femsec/fix146>

Tucker, M. (2020). Fossil viruses. *Geology Today*, 36(4), 156–160.

Vargas-Rojas, R. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. FAO.

Wilpiseski, R. L., Aufrecht, J. A., Retterer, S. T., Sullivan, M. B., Graham, D. E., Pierce, E. M., Zablocki, O. D., Palumbo, A. V., & Elias, D. A. (2019). Soil aggregate microbial communities: towards understanding microbiome interactions at biologically relevant scales. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(14), e00324–19. 9. <https://doi.org/10.1128/AEM.00324-19>



El sector ganadero en Colombia enfrenta grandes desafíos, ya que juega un papel vital en la economía nacional al proporcionar alimentos, ingresos y empleos directos. Por ello se considera esencial para aliviar la pobreza y el estado nutricional de la población, pero a la vez debe contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente. En ese camino, AGROSAVIA ha implementado un modelo de producción sostenible de carne bovina para la región Caribe, que permite incrementar la productividad promoviendo la diversidad de especies vegetales, árboles, arbustos, gramíneas y leguminosas, así como el reciclaje de nutrientes, el aumento de materia orgánica, la actividad biológica del suelo y la reducción de gases de efecto invernadero. Este modelo alberga una diversidad microbiana asociada a pasturas como *Megathyrus maximus*, representada en una microflora benéfica con diversos potenciales como la fijación de nitrógeno, solubilización, mineralización, control de patógenos, tratamiento de los residuos orgánicos, entre otros, además de una microfauna (protozoos y nematodos) que se alimenta de microbios y con ello regula las poblaciones y se involucra en la descomposición y liberación de nutrientes en el suelo, lo que en últimas favorece el rendimiento del modelo productivo.



**MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL**

AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



Distribución gratuita
Prohibida su venta