

SOSTE NIBILI DAD



Suelos vivos y fertilidad biológica

Un «suelo vivo» es un suelo biológicamente activo, con una diversidad de microorganismos, como bacterias, hongos, protozoos y nematodos, y organismos más grandes, como lombrices de tierra, que contribuyen al ciclo de nutrientes y a su equilibrio como ecosistema. El manejo del suelo incide directamente en su actividad biológica, por lo que la elección de las prácticas agrícolas adecuadas es una herramienta fundamental para construir fertilidad y conseguir un suelo de calidad.

La implementación de prácticas de manejo que mejoren y conserven la calidad del suelo resulta esencial para mantener la productividad y garantizar una agricultura sostenible.

En los últimos años, la percepción del suelo agrícola ha experimentado un cambio significativo a medida que se ha profundizado en la comprensión de la complejidad de sus procesos y su papel en la producción de alimentos, la salud ambiental y la mitigación del cambio climático. De ser considerado simplemente como un soporte para el cultivo, el suelo ha pasado a ser reconocido como pieza fundamental para lograr niveles óptimos de producción y, al mismo tiempo, asegurar la gestión sostenible del agrosistema.

Existe un fenómeno bien conocido en agricultura por el que, a pesar de realizarse una fertilización mineral adecuada y el manejo fitosanitario habitual, se produce una reducción en el desarrollo de las plantas y una disminución de las cosechas obtenidas. En ocasiones, las hojas amarillean e incluso empiezan a manifestarse enfermedades que hasta entonces no suponían un problema. Este fenómeno es llamado **fatiga o cansancio del suelo** y aparece como consecuencia de la disminución de su calidad. Un suelo de baja calidad va a presentar problemas, como mal drenaje, erosión, presencia de contaminantes, baja fertilidad y actividad biológica reducida, que repercutirán en el desarrollo del cultivo. Por lo tanto, la implementación de prácticas de manejo que mejoren y conserven la calidad del suelo resulta esencial para mantener la productividad y garantizar una agricultura sostenible. Este enfoque cobra aún más importancia en la agricultura ecológica, donde las herramientas disponibles para luchar contra posibles problemas son limitadas y la clave radica en minimizar al máximo su aparición.

Diversos factores determinan la calidad de un suelo, pero sobre todos ellos destacan el contenido de materia orgánica y el nivel de actividad biológica.

Diversos factores determinan la calidad de un suelo, pero sobre todos ellos destacan el contenido de materia orgánica y el nivel de actividad biológica. Sin un óptimo contenido de materia orgánica y una buena actividad biológica, un suelo no puede funcionar adecuadamente. La materia orgánica es un componente esencial del suelo, si no el de mayor importancia. Está en la base de su estructura física, de su capacidad de mantener agua, aire y nutrientes a disposición de las plantas, y del mantenimiento de la vida en el suelo. La actividad biológica, también llamada fertilidad biológica del suelo, refleja la capacidad de este para albergar y promover la actividad de organismos vivos beneficiosos que facilitan la liberación de nutrientes, estimulan el crecimiento vegetal y dificultan la proliferación de microorganismos patógenos. Considerar el contenido de materia orgánica de un suelo como indicador de su calidad es ampliamente conocido, sin embargo, puede resultar insuficiente. Efectivamente, aunque un suelo pueda exhibir un contenido óptimo de materia orgánica, su calidad puede verse notablemente deteriorada por una actividad biológica reducida, por ejemplo, por la presencia de un vertido tóxico. Es por ello que evaluar la fertilidad biológica y potenciar el manejo de los suelos como «suelos vivos», preservando y mejorando sus propiedades biológicas, está cobrando cada vez más relevancia y resulta determinante para obtener suelos de calidad. Las normativas actuales relacionadas con los suelos agrícolas se orientan en este sentido. El Reglamento Europeo sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos (UE 2018/848) indica claramente la necesidad de producir en suelos vivos y de incrementar y mantener la fertilidad biológica del suelo. Así mismo, el recientemente publicado Real Decreto por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios (RD 1051/2022) busca regular un aporte sostenible de nutrientes y productos fertilizantes que protejan y estimulen la actividad y la biodiversidad ligadas a los suelos agrarios.

PRINCIPALES FACTORES DETERMINANTES DE LA CALIDAD DE UN SUELO AGRÍCOLA



MATERIA ORGÁNICA

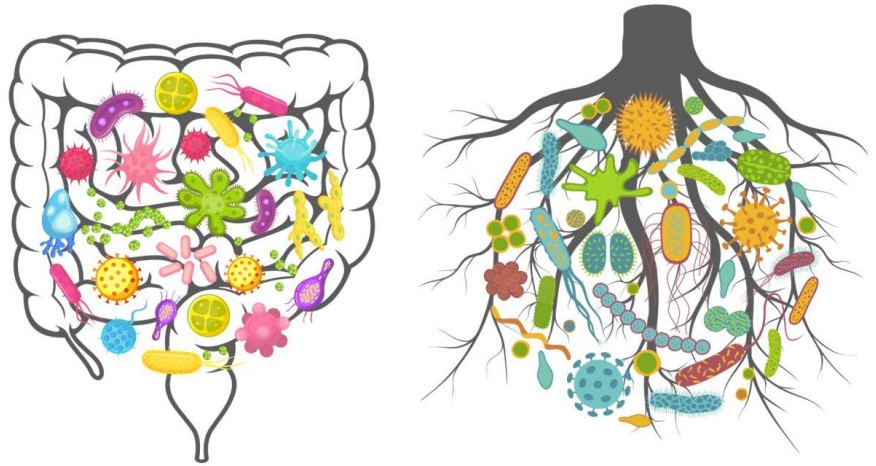
- Efecto en la estructura del suelo:
 - Mayor resistencia a la erosión y la degradación.
 - Aumento de la porosidad, facilitando la aireación.
 - Aumento de la capacidad de retención de agua, incrementando la humedad del suelo.
 - Aumento de la infiltración, mejorando la capacidad de lavado.
- Efecto en la absorción de nutrientes:
 - Mayor temperatura del suelo.
 - Aumento de la humedad.
 - Mayor capacidad del suelo a resistir a cambios de pH.
- Aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- Aumento del contenido de los nutrientes esenciales.
- Aumento de la capacidad de secuestro de C del suelo.

ACTIVIDAD BIOLÓGICA

- Descomposición de la materia orgánica: mineralización.
- Formación de materia orgánica estable: humificación.
- Solubilización de nutrientes.
- Promover la absorción de nutrientes.
- Creación y mantenimiento de la estructura del suelo.
- Descontaminación de suelos.
- Promover la capacidad fotosintética de las plantas y el uso eficiente del agua.
- Tolerancia al estrés de las plantas.
- Supresión de enfermedades.

Un suelo de calidad se logra mediante la combinación de un contenido adecuado de materia orgánica y una actividad biológica óptima, formando un tandem ganador. La relación estrecha entre ambos elementos se manifiesta en su complementariedad funcional. La materia orgánica enriquece el suelo, mejorando su estructura y capacidad para retener nutrientes, mientras que la actividad biológica, que incluye la acción de microorganismos beneficiosos, contribuye a la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. En conjunto, este tandem fortalece la salud del suelo, proporcionando un entorno propicio para el desarrollo sostenible de los cultivos.

MICROBIOMA INTESTINAL, MICROBIOMA DEL SUELO: DIFERENTES ECOSISTEMAS, MISMOS PRINCIPIOS



Existen muchas similitudes en la forma en que los seres humanos y las plantas dependen de los microorganismos para la nutrición, la defensa contra patógenos y la salud en general. Del mismo modo que una dieta equilibrada favorece la flora intestinal en el ser humano, un adecuado contenido de materia orgánica en el suelo favorece la abundancia de microorganismos y su actividad (fuente: Nina Vinot, «Gut Microbiome, Soil Microbiome: Different Ecosystems, Same Principles», publicado en *Medium*, octubre de 2023).

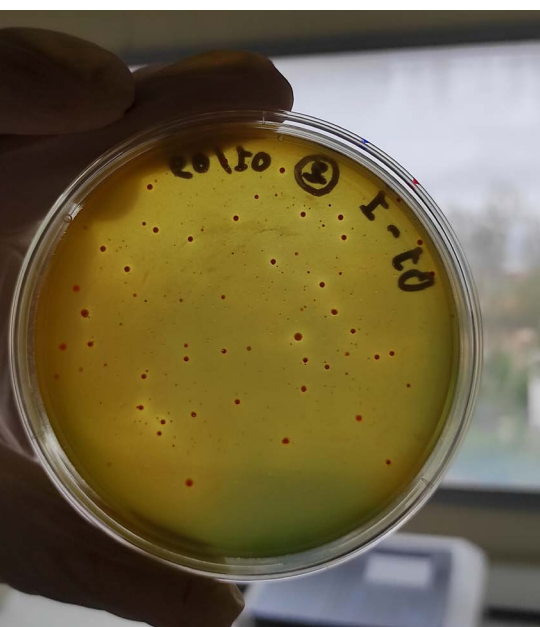
La importancia de los microorganismos radica en su participación en una gran variedad de procesos que sustentan la salud y la fertilidad del suelo y el buen estado de todo el ecosistema.

LA IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

El concepto de «suelo vivo» suele asociarse con un suelo rico en lombrices, insectos, miriápodos... La macrofauna (2-20 mm de tamaño) y la mesofauna (0,1-2 mm) del suelo fragmentan restos de plantas, ayudan a mezclar las partículas orgánicas y minerales, crean bioporos que facilitan la aireación del suelo y promueven la mineralización de la materia orgánica y la creación de humus. Sin embargo, un suelo vivo va más allá; se trata de un suelo abundante en microorganismos, tales como bacterias, hongos, protozoos y nematodos. Un gramo de suelo puede contener hasta cien millones de bacterias, cien mil propágulos fúngicos, diez mil protozoos y mil nematodos, y presentar una biodiversidad de hasta diez mil genotipos microbianos diferentes. Los microorganismos se encuentran en la superficie y en el interior de los agregados del suelo, formando parte de la rizosfera de las plantas y creciendo en la superficie de los restos de cultivo. Su gran importancia reside en su participación en una variedad de procesos que sustentan la salud y la fertilidad del suelo, así como la salud general del ecosistema.

Los microorganismos producen enzimas que descomponen la materia orgánica del suelo liberando nutrientes esenciales, como carbono, nitrógeno y fósforo, en formas que las plantas pueden absorber. La actividad enzimática contribuye así mismo a la formación de materia orgánica estable o humus. Estos enzimas pueden estar asociados a microorganismos vivos o estar estabilizados en el complejo arcillo-húmico del suelo, donde conservan su actividad durante largos periodos de tiempo. Los microorganismos son también capaces de solubilizar nutrientes que se encuentran en formas minerales no disponibles para las plantas.

Con el objetivo de incrementar la calidad de los suelos agrarios, Europa desarrolla nuevas normativas para regular un aporte sostenible de nutrientes y de productos fertilizantes que promuevan y protejan la fertilidad biológica.



Los análisis biológicos de los suelos se abordan respondiendo a tres cuestiones: cuántos microorganismos hay, cuál es su nivel de actividad y cuáles son.

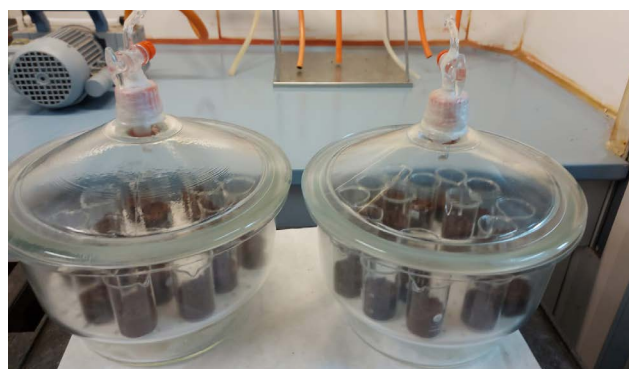
Arriba, medio de cultivo selectivo para la determinación de bacterias solubilizadoras de fósforo.

Derecha arriba, método de fumigación extracción para la determinación de la biomasa microbiana del suelo.

Derecha abajo, análisis de la actividad deshidrogenasa, indicadora del nivel de actividad de los microorganismos vivos presentes en el suelo.

Es el caso, por ejemplo, de especies bacterianas pertenecientes al género *Bacillus*, capaces de solubilizar el fósforo y el potasio presentes en el suelo en forma de fosfato de calcio o de mica, respectivamente. Igualmente, existen microorganismos productores de sideróforos, moléculas que captan el hierro difícilmente asimilable por los cultivos, actuando a modo de quelatos orgánicos. La absorción de nutrientes por las raíces de las plantas también puede verse mejorada por la acción de diferentes organismos. Es el caso de las micorrizas. Esta asociación simbiótica entre hongos y raíces permite a la planta explorar un mayor volumen de suelo del que alcanza por sí sola, al mismo tiempo que se beneficia de la capacidad del hongo para captar con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, **nitrógeno**, calcio y potasio). Del mismo modo, ciertas especies bacterianas y fúngicas son capaces de producir fitohormonas tales como ácido indolacético, giberelinas y auxinas que promueven el crecimiento radicular. La capacidad fijadora de nitrógeno de las bacterias asociadas a las raíces de las leguminosas es ampliamente conocida, pero igualmente existen bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre en el suelo, como las del género *Azotobacter* y *Clostridium*, que desempeñan un papel importante en la fijación de nitrógeno.

Los microorganismos del suelo pueden secretar sustancias, como polisacáridos y glicoproteínas, que actúan como pegamento natural, uniéndose a las partículas del suelo y formando agregados estables. Desempeñan, por tanto, un papel esencial en la creación y mantenimiento de la estructura del suelo, al afectar a la porosidad y la retención de agua. Por otro lado, algunas especies bacterianas tienen la capacidad de incorporar sustancias tóxicas, como hidrocarburos, en su metabolismo, lo que resulta en una contribución significativa a la descontaminación del suelo. Desde una perspectiva fitosanitaria, la actividad microbiana actúa como un freno al desarrollo de organismos patógenos mediante diversos mecanismos, fortaleciendo así la capacidad supresiva del suelo frente a enfermedades.





¿CÓMO MEJORAR LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE UN SUELO?

Existen dos formas de abordar esta cuestión: introduciendo microorganismos beneficiosos por medio de la aplicación de bioestimulantes microbianos, o estimular los microorganismos ya existentes en el suelo por medio de distintas prácticas agrícolas. La introducción de microorganismos en el suelo es un método eficaz dependiendo de las dosis utilizadas, del momento y método de aplicación, y, sobre todo, de las interacciones entre los microorganismos introducidos y la microbiota nativa del suelo, ya que pueden cooperar o, todo lo contrario, competir, con la microbiota existente.

Los restos de cultivo, los restos de cosecha no comercializados y los abonos verdes constituyen una fuente esencial de nutrientes que, aplicados al suelo, sirven de alimento para los microorganismos y, en algunos casos, inhiben el desarrollo de patógenos.

La actividad biológica puede ser mejorada por medio de prácticas agrícolas adecuadas, dado que el manejo del suelo ejerce un efecto directo sobre los microorganismos presentes en él. Así, por ejemplo, el exceso de laboreo puede perturbar la estructura del suelo y disminuir la población microbiana, por lo que se recomienda optar por prácticas de laboreo mínimo o incluso la siembra directa. La utilización de cubiertas vegetales proporciona cobertura y protección al suelo, lo cual mejora su estructura, temperatura y humedad y crea un entorno propicio para el desarrollo de microorganismos. Adicionalmente, las raíces desempeñan un papel crucial al liberar compuestos orgánicos, conocidos como exudados radiculares, que actúan como fuente de alimento y estimulación para la microbiota.

La rotación de cultivos es otra práctica recomendada, ya que aumenta la diversidad de las comunidades microbianas presentes en el suelo. Sin embargo, la forma más directa y efectiva de asegurar una buena fertilidad biológica es aumentar y preservar el contenido de materia orgánica del suelo. Los restos de cultivo, los restos de cosecha no comercializados y los abonos verdes constituyen una fuente importante de nutrientes que, al ser aplicados al suelo, sirven de alimento para los microorganismos. Además, algunos de estos residuos poseen propiedades desinfectantes, como es el caso de los restos de brásicas, ricos en glucosinolatos, que inhiben el desarrollo de patógenos, contribuyendo así al adecuado estado sanitario de los cultivos.

El aporte de estiércoles también es una forma de aumentar la actividad biológica; sin embargo, al tratarse de **materia orgánica** fresca o poco estabilizada, puede generar problemas que deben tenerse en cuenta. Efectivamente, los estiércoles pueden producir una proliferación excesiva de la microbiota del suelo y, con ello, dar lugar a un descenso del oxígeno disponible, con la consecuente asfixia radicular y la producción de sustancias fitotóxicas. Además, la presencia de gérmenes patógenos para el hombre puede suponer un problema adicional si los estiércoles no se aplican en el momento y forma adecuados. Como alternativa a todo ello, se encuentra la aplicación de material compostado. Un compost realizado de forma adecuada es un producto estabilizado e higienizado, que va a ser beneficioso para las plantas, al mismo tiempo que aumenta la biomasa microbiana del suelo, estimula su actividad y aumenta su diversidad.



La elección de técnicas agrícolas adecuadas es fundamental para estimular los microorganismos del suelo. El uso de cubiertas vegetales, la rotación de cultivos y la aplicación de estiércol son prácticas que ayudan a construir fertilidad biológica.

EL CONOCIMIENTO DE LOS MICROORGANISMOS

Profundizar en el conocimiento de los microorganismos del suelo es esencial para avanzar en prácticas agrícolas sostenibles, mejorar la resiliencia de los ecosistemas y abordar desafíos ambientales como la degradación del suelo y el cambio climático. Un mejor manejo de los microorganismos del suelo podría traducirse en un aumento de la productividad agrícola, una mejora de la salud de las plantas, mayor eficacia en la absorción de nutrientes y menor incidencia de enfermedades. Comprender y manejar los microorganismos del suelo revolucionaría la forma en que abordamos actualmente la agricultura, promoviendo el desarrollo de soluciones más eficaces y sostenibles en la gestión de la tierra y la agricultura.

LA CALIDAD DEL SUELO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL AGROSISTEMA

Preservar y mejorar la calidad del suelo es fundamental para lograr niveles óptimos de producción y gestionar de forma sostenible el agrosistema. El suelo es un componente vivo por lo que resulta fundamental emplear prácticas agrícolas que promuevan la cantidad, actividad y diversidad de los organismos presentes en él. La actividad biológica del suelo puede mejorarse introduciendo microorganismos beneficiosos mediante la aplicación de bioestimulantes microbianos o estimulando la microbiota nativa a través de prácticas agrícolas adecuadas, como la reducción del laboreo, el uso de cubiertas vegetales, la rotación de cultivos y la aplicación de materia orgánica estabilizada.

Profundizar en el conocimiento de los microorganismos del suelo es esencial para avanzar en prácticas agrícolas sostenibles, mejorar la resiliencia de los ecosistemas y abordar desafíos ambientales como la degradación del suelo y el cambio climático.



>Autora del artículo

Ana Pérez Piqueres

*Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA). Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible.
perez_anapiq@gva.es*