

GUÍA DE BUENAS  
PRÁCTICAS EN  
EL MANEJO  
DEL SUELO  
RESPECTO A LA  
BIODIVERSIDAD

SOILBIO

Un proyecto coordinado por UPA para mejorar  
la salud de los suelos agrícolas en España.

Guía de buenas prácticas en el manejo agrícola del suelo  
Julio, 2025

Edita

UPA, 2025

Calle Agustín de Betancourt, 17, 3º.

28003 Madrid

upa.es

SOILBIO es un proyecto de investigación coordinado por UPA y en el que han trabajado la Universidad de Córdoba, Universitat de València, Universidad de Cádiz, el IRNAS-CSIC y el CEBAS-CSIC. Cuenta con la financiación de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) financiado por la Unión Europea –NextGenerationEU y el apoyo de Syngenta.



Universidad  
de Cádiz



UNIVERSITAT  
ID VALÈNCIA



Las opiniones y documentación aportadas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor o autores de los mismos, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de las entidades que apoyan económicamente el proyecto





Guía de buenas prácticas en el manejo del suelo respecto a la biodiversidad


# SOILBIO





7 //	Introducción
11 //	La importancia de la biodiversidad del suelo
16//	Funciones de la biodiversidad del suelo
18//	Ciclo de nutrientes
21 //	La biodiversidad y la agricultura
25//	La degradación de los suelos
29 //	La salud del suelo y sus indicadores
39 //	Proyecto Soilbio
43 //	Resultados
46//	Propiedades físico-químicas del suelo
56//	Actividad microbiana
64//	Biodiversidad
73 //	Conclusiones
75//	Impacto de los Sistemas de Manejo en la Salud del Suelo
76//	Implicaciones Prácticas
77 //	Recomendaciones generales





**S**egún Naciones Unidas, el 95% de los alimentos que consumimos dependen de nuestros suelos. Las investigaciones más recientes sugieren que el 60 % de las especies dependen directamente de los suelos, lo que resalta aún más su importancia ecológica. Sin embargo, según la Comisión Europea, el 60 % de los suelos de la UE no se encuentra en estado saludable. El suelo y la multitud de organismos que viven en él nos proporcionan alimentos, biomasa, fibras y materias primas; regulan los ciclos del agua, del carbono y de los nutrientes y hacen que la vida sobre la tierra sea posible. Esta característica, unida a la capacidad del suelo para absorber el agua y reducir el riesgo de inundaciones y sequías, convierte el suelo en un aliado indispensable para la mitigación del cambio climático y la adaptación a éste.

Los cambios y la intensificación del uso del suelo en áreas agrícolas y forestales durante las últimas décadas han contribuido significativamente a la degradación de estos ecosistemas. Para evitar los riesgos y efectos que tiene la degradación continua del suelo en la economía y en el bienestar de las personas, los suelos merecen la máxima atención y prioridad por parte de los gobiernos, parlamentos y autoridades públicas a todos los niveles, así como de los agricultores y ganaderos y de los ciudadanos.

Además, la degradación de los suelos agrícolas se puede ver acelerada por los procesos de erosión y desertificación derivados del cambio climático. Por ello, se hace imprescindible conocer las interacciones entre las prácticas culturales realizadas y la biodiversidad que albergan los suelos. La idea es poder identificar y evaluar las prácticas y manejos del suelo ligados a la gestión agrícola sostenible, que tienen un impacto ambiental positivo, para de esta manera poder responder a los retos planteados. En el día a día, las y los agricultores y ganaderos toman decisiones y algunas de ellas pueden ser relevantes para definir la salud de los suelos. Por ello, se pretende identificar aquellas prácticas que mejoran la biodiversidad del suelo y, en general, su salud, como estrategia eficaz para luchar contra los efectos del cambio climático.



Los organismos del suelo actúan como los principales agentes impulsores del ciclo de nutrientes, bien directamente descomponiendo la materia orgánica o a través de su actividad depredadora sobre otros organismos, contribuyendo a regular la fertilidad, el secuestro de carbono del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero. Además, los organismos del suelo modifican la estructura física de éste y los regímenes hídricos, mejorando la cantidad y eficiencia de la adquisición de nutrientes por parte de la vegetación y mejorando la salud de las plantas.

El presente informe tiene como objetivo proporcionar información innovadora sobre el efecto del manejo del suelo que hacen las y los agricultores sobre la biodiversidad del suelo y algunas propiedades físico-químicas clave, para de esta forma poder mejorar la salud de los suelos y su resiliencia frente a los efectos del cambio climático.

Con esta guía queremos acercar a las y los agricultores conocimientos sobre las interacciones que se producen en el suelo en relación con su biodiversidad y cómo estas influyen en la fertilidad y resiliencia según la práctica agrícola utilizada por el agricultor/a. Ha llegado la hora de tener más presente al suelo en nuestras decisiones, y para ello hay que conocer y entender cómo el manejo que hacemos del suelo afecta a su biodiversidad y cómo esta, a su vez, influye en su fertilidad.



1.

LA

IMPORTANCIA

DE LA

BIODIVERSIDAD

DEL SUELO



## I// LA IMPORTANCIA DE LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO

Los suelos agrícolas son la base para la producción de los alimentos de una población mundial en continuo crecimiento. Una gran parte de su importancia radica en su papel como fuente de nutrientes esenciales, así como en la elevada biodiversidad que alberga, desde los microbios del suelo incluyendo bacterias, hongos, protozoos y arqueas (microbioma del suelo) a la micro y macrofauna que incluye lombrices y nematodos. Esta biodiversidad interacciona de forma tanto directa como indirecta con los cultivos, contribuyendo al equilibrio del ecosistema y, por tanto, al estado de salud de las plantas, así como a la productividad y calidad de las cosechas. Según las previsiones, en el año 2050 la población mundial alcanzará los 9,500 millones de habitantes, lo cual implica el gran reto de mantener la cantidad y calidad de la producción de alimentos, al mismo tiempo que la sostenibilidad de los sistemas productivos.

*Figura 1: Servicios ecosistémicos del suelo (pag. sig.)*

# Funciones del Suelo

Los suelos aportan servicios ecosistémicos que permiten la vida en la Tierra



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Con el apoyo de



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
Federal Office for Agriculture FOAG



2015

Año Internacional  
de los Suelos

[fao.org/soils-2015/es](http://fao.org/soils-2015/es)

Purificación del agua  
y reducción de  
contaminantes del suelo

Regulación  
del clima

Ciclo de  
nutrientes

Hábitat para  
organismos

Regulación de  
inundaciones

Base para las  
infraestructuras  
humanas

Fuente de productos  
farmacéuticos y recursos  
genéticos



## Funciones de la biodiversidad del suelo

1

Mantenimiento de la estructura del suelo: mediante la formación de agregados del suelo, donde las sustancias producidas por bacterias y hongos, tales como los exopolisacáridos, ayudan a unir partículas en agregados, mejorando su estructura y minimizando la compactación..

2

Intercambio de gases y secuestro de carbono.

3

Regulación de los procesos hidrológicos. Un suelo rico en microorganismos y materia orgánica tiene una mejor estructura y, por tanto, mayor capacidad de retención de humedad, beneficiando el crecimiento de las plantas..

4

Descomposición de la materia orgánica: Hongos y bacterias degradan restos vegetales y animales, liberando nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno.



5

Defensa contra organismos patógenos: Los suelos son uno de los mayores reservorios de patógenos del planeta. La presencia de microorganismos beneficiosos que compiten con los patógenos por el espacio y los nutrientes, dificultando su crecimiento, y son promovidos gracias a determinadas prácticas agrícolas. Además, algunos de estos microorganismos producen sustancias naturales que actúan como antibióticos, inhibiendo o eliminando a los agentes que causan enfermedades a los cultivos. También existen bacterias del suelo capaces de activar los mecanismos de defensa de las plantas, mejorando su capacidad de respuesta frente a posibles ataques. Gracias a estas interacciones, un suelo con elevada diversidad biológica contribuye a mantener la salud de los cultivos de forma natural.

6

Control del crecimiento vegetal, mediante el incremento de la disponibilidad de nutrientes por los microorganismos del suelo.

7

Ciclo de los nutrientes: los organismos del suelo descomponen la materia orgánica, como restos de plantas y animales, transformándola en nutrientes que las plantas pueden absorber. Este proceso natural mantiene la fertilidad del suelo, reduce la necesidad de fertilizantes químicos y asegura un suministro constante de elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio para el crecimiento saludable de los cultivos.

## Ciclo de nutrientes

### Ciclo del Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un nutriente esencial para la formación de proteínas y ADN en las plantas. Sin embargo, la mayoría de los seres vivos no pueden usarlo directamente en su forma gaseosa ( $N_2$ ). Los microorganismos lo convierten en formas disponibles mediante diferentes procesos:

- Fijación biológica del nitrógeno: Bacterias como *Rhizobium* (en leguminosas) y *Azotobacter* (en suelos libres) convierten el  $N_2$  del aire en amonio ( $NH_4^+$ ), que puede ser absorbido por las plantas. Ejemplo: En cultivos de leguminosas, las raíces desarrollan nódulos donde se desarrolla *Rhizobium*, que fija nitrógeno en la planta.
- Nitrificación: Bacterias como *Nitrosomonas* convierten el amonio ( $NH_4^+$ ) en nitritos ( $NO_2^-$ ), y después *Nitrobacter* transforma estas formas de nitrógeno en nitratos ( $NO_3^-$ ), la forma más fácilmente asimilable por las plantas. Por tanto, la nitrificación es clave para la fertilidad del suelo. En suelos bien aireados, se favorece la nitrificación.
- Desnitrificación: Bacterias como *Pseudomonas* y *Paracoccus* que convierten los nitratos ( $NO_3^-$ ) en  $N_2$  gaseoso, devolviendo el nitrógeno a la atmósfera.

### Ciclo del Fósforo (P)

El fósforo es esencial para la energía celular (ATP) y el desarrollo radicular, pero en el suelo suele estar en formas insolubles o poco disponibles para los cultivos. Sin embargo, determinados microorganismos tienen la capacidad de liberarlo mediante:

- Solubilización del fósforo: Bacterias como *Pseudomonas* y *Bacillus* liberan ácidos orgánicos que disuelven fosfatos minerales, haciéndolos accesibles para las plantas. Ejemplo: En suelos ricos en fuentes minerales de fósforo (como la roca fosfórica), las bacterias solubilizadoras mejoran la absorción de fósforo sin necesidad de aplicación de fertilizantes químicos.
- Mineralización del fósforo: Hongos como *Aspergillus* y *Penicillium* descomponen materia orgánica rica en fósforo, liberándose en formas

inorgánicas utilizables (fosfatos). Ejemplo: En suelos con alto contenido de materia orgánica, estos hongos facilitan el reciclaje del fósforo, beneficiando la productividad agrícola.

### Ciclo del Carbono (C)

El carbono es el elemento base de la vida y circula entre la atmósfera, los organismos y el suelo mediante procesos microbianos:

- Descomposición de materia orgánica: Bacterias como *Actinomyces* y hongos como *Trichoderma* degradan restos vegetales y animales, liberando  $\text{CO}_2$  al ambiente. Ejemplo: En los campos, los hongos descomponedores reciclan la paja y restos de cosecha, incorporando carbono al suelo y evitando su acumulación.
- Fijación de carbono: Las cianobacterias capturan  $\text{CO}_2$  del aire mediante fotosíntesis, almacenando el  $\text{CO}_2$  en forma de materia orgánica. Ejemplo: En suelos degradados, las cianobacterias pueden ayudar a regenerar la fertilidad al acumular carbono orgánico.

Por tanto, cuando hablamos de biodiversidad, no solo estamos analizando el contenido y la variabilidad de especies de organismos y microorganismos del suelo, sino que, desde la perspectiva de este estudio, lo que se está analizando es cómo esa biodiversidad influye en la fertilidad actual y futura de los suelos y cómo influirá en los resultados económicos de la explotación. Además, cómo afecta su mayor o menor resiliencia frente a episodios de sequía o lluvias torrenciales, y cómo ese suelo es capaz de responder frente a determinadas enfermedades.

Se trata, por tanto, de un conocimiento clave que es necesario que las y los agricultores tengan presente a la hora de tomar decisiones en sus explotaciones.




2.  
LA  
BIODIVERSIDAD  
Y LA  
AGRICULTURA

La agricultura convencional, ampliamente utilizada debido a su capacidad de incrementar la productividad a corto plazo, conlleva un alto coste ambiental. Prácticas como el uso excesivo o indebido de agroquímicos, desbrozar tierras forestales o pastizales para la agricultura, la labranza excesiva y los monocultivos han demostrado deteriorar significativamente la biodiversidad del suelo, comprometiendo la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. En este punto, el cambio climático juega un papel muy relevante para explicar el declive de la biodiversidad, también la del suelo: las sequías prolongadas, las lluvias torrenciales son elementos que influyen negativamente en la biodiversidad del suelo.

La labranza intensiva destruye la estructura del suelo, aumentando su vulnerabilidad a la erosión y reduciendo su capacidad para retener agua y nutrientes. Además, favorece la compactación del suelo por maquinaria pesada, limitando la aireación y, en consecuencia, la actividad biológica y el desarrollo de las raíces. Por otro lado, los fertilizantes y fitosanitarios pueden alterar la actividad biológica del suelo y, por tanto, alteran los ciclos naturales, eliminando microorganismos beneficiosos esenciales para eliminar plagas, descomponer la materia orgánica y reciclar nutrientes.

Los monocultivos agravan esta situación al reducir la diversidad vegetal, lo que afecta a los hábitats de muchos de los organismos del suelo. Todas estas prácticas generan una disminución de entre un 50% y un 60% de la



biodiversidad edáfica en suelos intensamente cultivados, produciendo una reducción de la fertilidad, y una menor resiliencia frente al cambio climático. Un informe de la Comisión Europea de 2022 advierte que el uso excesivo de fitosanitarios y monocultivos ha reducido la biodiversidad del suelo hasta en un 70% en algunas regiones. En Europa, la compactación del suelo ha disminuido en un 50% la población de lombrices, organismos esenciales para mantener el equilibrio del ecosistema y la productividad agrícola.

Por ello, prácticas sostenibles como la agricultura de conservación, la ecológica, la reducción de la labranza, la rotación de cultivos, evitar el suelo desnudo, el uso de enmiendas orgánicas, biofertilizantes, etc., pueden aumentar de forma sostenible la productividad agrícola sin aumentar la degradación de los suelos y los recursos hídricos.

## La degradación de los suelos

La degradación de los suelos es causada por usos y prácticas de ordenación de la tierra insostenibles y por fenómenos climáticos extremos resultantes de diferentes factores sociales, económicos y de gobernanza (Fig. 2). La radiografía actual de los suelos españoles aporta información preocupante acerca de su potencial a medio y largo plazo. En la Península Ibérica, en torno a un 50 % del suelo agrícola está clasificado con un riesgo medio-alto de erosión, cifra que alcanza el 70 % en algunas regiones españolas. Esto es especialmente preocupante en el contexto de zonas áridas y semiáridas, y la futura aridificación en el que se enmarca la península ibérica. Una de las consecuencias de la erosión sobre el suelo, es la pérdida de materia orgánica y del carbono orgánico del suelo (COS). Teniendo en cuenta que el COS es capital en todos los procesos que se dan en el suelo y en su calidad, ya que mejora su estructura, fertilidad y capacidad de almacenamiento de agua, un bajo contenido de COS en el suelo constituye un problema para el potencial productivo de nuestros suelos. Así, Loveland y Webb (2003), sugirieron que un contenido de carbono del 1 %, podría representar el umbral por debajo del cual la producción de los cultivos se vería comprometida. Mientras que por debajo del 2 % de contenido en COS se pueden originar pérdidas importantes en la calidad del suelo. A nivel de la geografía española, Rodríguez Martín et al. (2009), en un estudio realizado para el INIA, determinaron el porcentaje medio de materia orgánica en cada provincia, a través del análisis de más de 4.000 muestras de suelo repartidas por toda la geografía española. El resultado fue concluyente respecto al mal estado de los suelos a nivel nacional. Así pues, los suelos de 16 provincias tenían un porcentaje de COS por debajo del 1 %, y 28 provincias entre el 1 % y el 2 %, dibujando un panorama en el que 44 provincias (un 88 %) están en riesgo de pérdidas importantes de la calidad de sus suelos.

La degradación del suelo como consecuencia del cambio global, incluyendo factores climáticos (incrementos de temperatura y reducciones de precipitación), y antrópicos (e.j, agricultura intensiva) puede tener como resultado una reducción en el contenido de carbono y la biodiversidad del suelo.

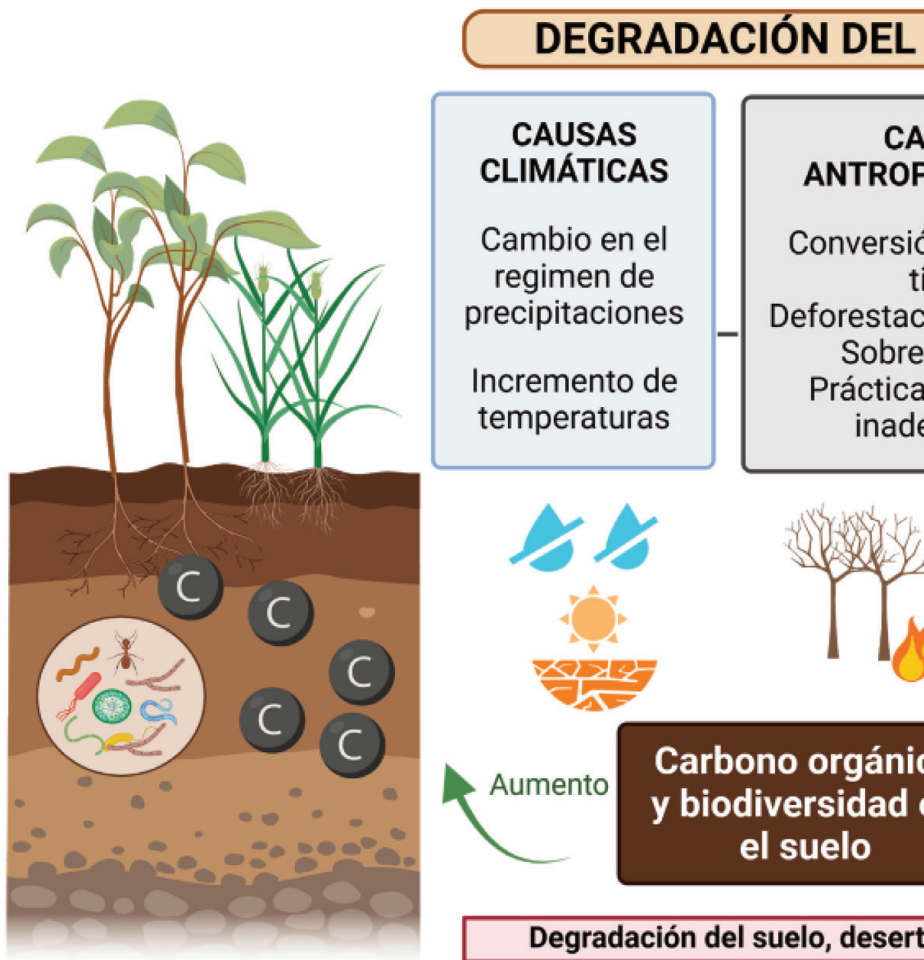


Figura 2: Procesos y causas de la degradación del suelo (Muñoz Rojas et al. 2021).

## SUELO

### USOS ANTRÓPICOS

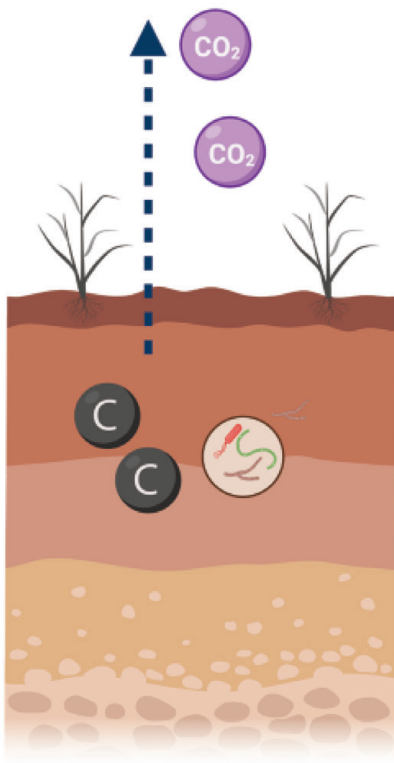
Cambios en usos de la tierra  
Deforestación/Incendios  
Pastoreo  
Actividades agrícolas  
Estructuras



Carbono en

Pérdida

Deforestación



**PROCESOS**

- Erosión
- Contaminación y salinización
- Pérdida de biodiversidad
- Reducción de biomasa
- Pérdida de nutrientes

3.

LA SALUD  
DEL SUELO  
Y SUS  
INDICADORES



### 3 // LA SALUD DEL SUELO Y SUS INDICADORES

El concepto de salud del suelo refleja la capacidad del mismo para llevar a cabo funciones dentro del ecosistema. Un suelo de calidad, es capaz de:

- Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible).
- Atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental).
- Favorecer la salud de plantas, animales y humanos.

Este concepto nos permite, por tanto, establecer un marco dentro del cual evaluamos la sostenibilidad de las actividades humanas.

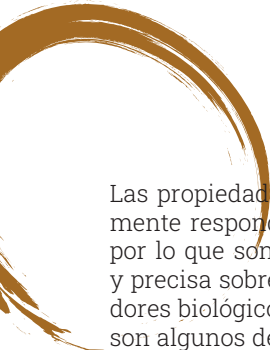
Para evaluar la calidad de un suelo y, así, determinar si el uso que se le está dando es sostenible, se ha recurrido al uso de índices e indicadores. Los indicadores del suelo son propiedades del suelo medibles que afectan a la capacidad de éste para ejercer alguna de sus funciones (Tabla 1).

Los **indicadores físicos** están compuestos por aquellas propiedades físicas asociadas con el uso eficiente del agua y los nutrientes. Los más utilizados son: textura, densidad real y aparente, así como, la capacidad de retención hídrica y la estabilidad de los agregados., esta última sirve para evaluar la resistencia de un suelo a la erosión.

Por su parte, los **indicadores químicos** están relacionados con las condiciones químicas que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de nutrientes para plantas y otros seres vivos.

Los más usados son el carbono orgánico del suelo, la materia orgánica del suelo, la disponibilidad de nutrientes (N, P, K), el nitrógeno total, la capacidad de intercambio catiónico y la conductividad eléctrica (salinización).

Por último, los **indicadores biológicos** son aquellos organismos o procesos desarrollados por éstos que, con su presencia o abundancia, señalan cambios o estados de ciertas propiedades o procesos del suelo. Los indicadores biológicos están basados en la medición de la abundancia, diversidad, o actividad de los organismos del suelo (Tabla1).



Las propiedades biológicas de los suelos son las que más rápido y claramente responden a los pequeños cambios que ocurren en el ecosistema, por lo que son especialmente útiles para obtener información inmediata y precisa sobre alteraciones en la calidad del suelo. De entre estos indicadores biológicos, el C de la biomasa microbiana y la actividad microbiana, son algunos de los parámetros que más se han relacionado con la salud y, por tanto, con la calidad del suelo. Así como, parámetros de medidas de actividad enzimática reflejo de la actividad microbiana total (actividad deshidrogenasa) y los relacionados con los diferentes ciclos de los nutrientes (actividad fosfatasa,  $\beta$ -glucosidasa, ureasa y/o arilsulfatasa). Sin embargo, dado que las propiedades biológicas tienen una estrecha relación con las propiedades físicas y químicas del suelo es esencial considerar parámetros de distinta índole (físicos, químicos y biológicos) para proporcionar una imagen completa de la calidad del suelo.

Consideración aparte merece la evaluación de la biodiversidad del suelo como indicador de su calidad. Como se ha indicado con anterioridad, la biodiversidad de un suelo se define como la variabilidad de los organismos vivos presentes en dicho suelo, incluida una multitud de organismos que no son visibles a simple vista. Dichos organismos incluyen a microorganismos tales como las bacterias, los hongos, los protistas, o los nemátodos, así como a macroorganismos que forman parte de la mesofauna (por ejemplo, ácaros y colémbolos) y macrofauna (por ejemplo, lombrices de tierra, insectos y arácnidos). De entre estos, la abundancia y diversidad de lombrices de tierra (Annelida) se han empleado frecuentemente como un indicador clásico de calidad del suelo debido al papel de estos organismos como ingenieros del ecosistema debido a su importante contribución a la aireación del suelo, la formación de agregados, y el reciclado de nutrientes. Además del potencial uso de especies o grupos de organismos del suelo como indicadores, no podemos olvidar que estos organismos interactúan entre sí y con las diversas plantas y animales del ecosistema, formando una compleja red de actividad biológica. La complejidad de dichas redes del suelo y el número de niveles tróficos también se ha usado frecuentemente como un indicador clásico de calidad de los suelos. La importancia de dichas redes

y de los organismos implicados en ellas es importante para generar una amplia gama de servicios esenciales para el funcionamiento sostenible de todos los ecosistemas, incluyendo los sistemas agrícolas.

Los organismos del suelo actúan como los principales agentes impulsores del ciclo de nutrientes, bien directamente descomponiendo la materia orgánica o a través de su actividad depredadora sobre otros organismos del suelo, contribuyendo a regular la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro de carbono del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero. Además, modifican la estructura física del suelo y los regímenes hídricos, mejorando la cantidad y eficiencia de la adquisición de nutrientes por parte de la vegetación y mejorando la salud de las plantas

<b>Tabla 1. Parámetros físicos, químicos, biológicos y de biodiversidad</b>	
<b>Físicos</b> Densidad aparente Textura, color y mineralogía-Rayos X	<b>Biológicos</b> Meso y macro-fauna
<b>Químicos</b> pH, CE, Carbonatos, caliza activa, capacidad de intercambio catiónico y bases de cambio C orgánico, total y Nitrógeno total Macro-micro-nutrientes, capacidad de intercambio catiónico	<b>Biodiversidad</b> Diversidad y taxonomía Amplificación de marcadores específicos 16S rRNA (bacterias y arqueas), ITS para hongos y 18S rRNA (protistas y nematodos). Índices de biodiversidad  Funcionalidad Análisis de datos metagenómicos, proteómicos o metabólicos
<b>Biológicas</b> C biomasa microbiana Respiración A. deshidrogenasa Actividades enzimáticas (Enzimas hidrolíticas ligadas a los ciclos del C, N, P y S)	Co-ocurrencia Redes (análisis de co-ocurrencia vía ADN)

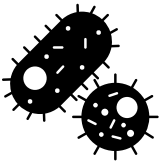


Organismos del suelo

Funciones ecosistémicas

Servicios ecosistémicos

Bacterias  
Hongos



Descomposición materia orgánica  
Ciclo del Carbono

Producción alimentos

Biotechnología

Microfauna



Ciclo de nutrientes

Regulación del clima

Conservación de la biodiversidad


Mesofauna



Estructura y mantenimiento del suelo

Servicios hidrológicos

Macrofauna



Control biológico poblacional

Hábitat

Retención carbono

Figura 3: Organismos del suelo

## Aspectos destacados

- El suelo es un recurso no renovable, por lo que, cuidando el suelo, nos cuidamos y aseguramos el futuro de nuestras explotaciones.
- El suelo no es solo el sustrato donde sembramos, sino que realiza muchas funciones imprescindibles para nuestras explotaciones.
- El suelo esconde un mundo (biodiversidad del suelo) donde esos organismos vivos alimentan y protegen a los cultivos, mantienen los suelos fértiles y saludables, y están involucrados en los principales ciclos biogeoquímicos del suelo.



**¿SABÍAS QUE EL SUELO ES UN RECURSO VIVO, QUE ALBERGA MÁS DEL 25% DE LA BIODIVERSIDAD DE NUESTRO PLANETA Y QUE HAY MÁS DE 40 000 ORGANISMOS DIFERENTES EN SOLO 1 G DE SUELO?**

# la biodiversidad del suelo

Esta diversa comunidad de organismos vivos mantiene el suelo sano y fértil y determina los principales procesos que hacen POSIBLE LA VIDA EN LA TIERRA.

**DEMOS UN VISTAZO A LOS MUCHOS ROLES DE LA BIODIVERSIDAD DEL SUELO**

La biodiversidad del suelo va desde los microorganismos hasta la macrofauna y todo lo intermedio.

La biodiversidad del suelo se puede observar a través de la macrofauna (> 2 mm, p. ej. lombrices de tierra)

Aquí hay un método simple para comparar el efecto de diversas condiciones del suelo (p. ej. bosque versus pradera, suelo arcilloso versus suelo arenoso)

**ECHEMOS UN VISTAZO A LA BIODIVERSIDAD EN TU SUELO**



Experimento del Atlas Mundial de Biodiversidad del Suelo de la Comisión Europea

Cooperación al desarrollo



4  
El procedimiento se puede repetir para cestas más profundas (por ejemplo, de 10 a 20 cm) y los resultados se pueden comparar.

La diversidad de organismos del suelo se puede evaluar separándolos por forma y tamaño. Los números y tipos de individuos difieren según los tipos de suelo y los hábitats.



Figura 4: La biodiversidad del suelo. Fuente: FAO.

4.

PROYECTO

SOILBIO




La biodiversidad del suelo, incluyendo fauna edáfica y microorganismos, es clave para el funcionamiento y la salud de los agroecosistemas dado su papel en el reciclado de la materia y la protección frente a estreses ambientales, tanto bióticos como abióticos. Sin embargo, en la actualidad muchos sistemas agrícolas tienen suelos altamente degradados, lo que conlleva una creciente demanda de insumos tales como fertilizantes o productos fitosanitarios, con el consecuente impacto medioambiental y coste económico para el agricultor/a. Por tanto, comprender el papel de la biodiversidad de suelo en campos de cultivo es un primer paso clave para poder desarrollar estrategias que permitan regenerar la biodiversidad, funcionamiento y, por tanto, la salud de dichos campos.

Las decisiones tomadas por las y los titulares de explotaciones agrícolas condicionan la resiliencia económica, y la sostenibilidad y competitividad a medio y largo plazo de los suelos agrícolas. Estas decisiones deben estar basadas en conocimiento científico aplicado a las condiciones particulares de la península ibérica, con el objetivo de alcanzar cambios estructurales, que impliquen un impacto duradero en el tiempo.

En la bibliografía científica de ámbito nacional es fácil encontrar la relación entre las diferentes prácticas agrarias y el impacto medioambiental en términos principalmente de erosión. De manera general, también hay bastante disponibilidad sobre biodiversidad terrestre asociada a ambientes agrarios en lo relativo a aves, polinizadores o lepidópteros. Por el contrario, existe un claro déficit sobre el efecto de las diferentes prácticas agronómicas sobre la biodiversidad de suelos agrícolas, en lo relativo a micro y macro fauna.

El objetivo de SOILBIO es proporcionar conocimiento innovador sobre cómo la agricultura sostenible puede ayudar a fomentar la conservación del suelo mientras aseguramos la sostenibilidad de la producción de alimentos para las siguientes generaciones.



Para proporcionar esta información, SOILBIO ha llevado a cabo un muestreo en 300 zonas de estudio de España con la ayuda de 55 agricultores/as, de tres manejos de suelo (cultivo convencional, siembra directa y ecológico) donde hemos caracterizado la biodiversidad (micro, meso y macro-organismos) y funcionamiento de estos suelos e identificando indicadores de salud del suelo. Con ello se pretende apoyar el desarrollo de cultivos sostenibles en España, y liderar la recuperación de las tierras agrícolas en un marco de cambio global.

La agricultura convencional se basa en el laboreo de la tierra, bien sea con volteo de la tierra o mediante el cincelado vertical de la misma (mínimo laboreo), permite preparar de una forma óptima el lecho de siembra para asegurar una nascencia óptima de los cereales. Además, es un sistema muy eficaz para eliminar las hierbas adventicias.

La siembra directa se define como práctica agronómica de agricultura de conservación en cultivos anuales, en la que no se realizan labores; al menos el 30% de su superficie se encuentra protegida por restos vegetales y la siembra se realiza con maquinaria habilitada para sembrar sobre los restos vegetales del cultivo anterior.

La agricultura ecológica es un método de producción cuyo objetivo es obtener alimentos utilizando sustancias y procesos naturales. la gestión de las especies adventicias en agricultura ecológica se hace en la mayoría de los casos mediante el laboreo de la tierra, además de una combinación de principios agronómicos (rotación de cultivos, retraso de la fecha de siembra y métodos de control postemergencia)

El proyecto ha sido desarrollado por:

- **Grupo científico ecología/agricultura:**
  - CSIC (CEBAS e IRNAS).
  - Universidad de Cádiz.
- **Grupo científico edafología/producción vegetal:**
  - Universidad de Córdoba
  - Universidad de Valencia.
- **Grupo agrario:**
  - UPA.

5.

# RESULTADOS





## 5 // RESULTADOS

En el proyecto se han analizado 300 parcelas diferentes de 55 agricultores/as repartidas por las principales zonas productoras de cereales. Cada muestra ha generado 3 análisis diferentes:

- La microbiota que ha sido analizado por el CSIC.
- La macrofauna responsabilidad de la Universidad de Cádiz.
- El análisis edafológico de las muestras que lo ha realizado la Universidad de Córdoba y Valencia.

## Propiedades físico-químicas del suelo

Como se puede apreciar en la Tabla 1, los porcentajes de arcilla, limo y arena en función del manejo fueron similares. El porcentaje de arcilla estuvo alrededor del 20% en agricultura convencional y en siembra directa, mientras que superó el 22% en ecológico. Sin embargo, el porcentaje en limo del suelo bajo ecológico tuvo los mayores valores (32.4%) seguido de siembra directa (29.0%) y, finalmente, agricultura convencional (26.9%). Por último, el contenido medio en arena varió de 52.8% en agricultura convencional, pasando por 51.0% en siembra directa y 45.3% en ecológico. El manejo del suelo tiene un rol fundamental en la erosión del suelo, de manera que los sistemas que incluyan laboreo como práctica habitual favorecen la pérdida de suelo de las capas superficiales (más fértiles), al no facilitarse la formación de agregados y la mejora en la estructura del suelo como con otros sistemas en los que no se aplica laboreo. Las partículas más finas del suelo (principalmente las de tamaño arcilla) son las más susceptibles de perderse.

Tabla 1. Granulometría del suelo en función del manejo.

	Arcilla			Limo			Arena		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Convencional	20.3	1.6	43.2	26.9	7.8	59.3	52.8	21.2	85.7
Siembra directa	20.0	0.7	50.4	29.0	2.7	68.4	51.0	10.9	88.4
Ecológico	22.8	3.8	49.5	32.4	9.7	82.1	45.3	8.3	86.3

El contenido en carbonatos medio (Tabla 2) fue similar bajo los tres manejos evaluados (convencional, siembra directa y ecológico), al igual que el pH del suelo. Los valores mínimos de carbonatos fueron 0% (ausencia) y los valores máximos superaron el 60% en todos los manejos. Sin embargo, bajo siembra directa se obtuvieron los menores valores medios (17.3%), mientras que bajo agricultura convencional los mayores (20.7%). La agricultura ecológica incrementó en 0.3 décimas el valor del pH con respecto a la agricultura con-

vencional y la siembra directa (valores medios), probablemente debido a la naturaleza de los insumos de base orgánica que se aplican habitualmente en agricultura ecológica (de pH neutro o básico), oscilando los valores mínimos alrededor de 5 hasta 8.7 para los tres tipos de manejo.

**Tabla 2. Contenido en carbonatos del suelo (%) y pH en función del manejo.**

	Carbonatos %			pH(1:2.5)		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Convencional	20.7	0.0	62.0	7.65	5.18	8.81
Siembra directa	17.3	0.0	62.0	7.71	4.80	8.72
Ecológico	19.7	0.0	63.5	8.01	5.12	8.71

El contenido de **Carbono orgánico** en los suelos con los manejos de siembra directa y ecológico fueron mayores que en el manejo convencional (Tabla 3) debido a la incorporación de restos vegetales y de materia orgánica externa, lo que podría indicar una mayor formación de agregados del suelo, una mayor fertilidad y liberación de nutrientes conforme se mineraliza la materia orgánica, que pueden estar disponibles para el cultivo y una mayor capacidad de retención y almacenamiento de agua., Además de una mayor capacidad de intercambio catiónico como podemos observar (Tabla 5). Todo ello va a favorecer una mayor actividad de los microorganismos y la mesofauna del suelo. Sin olvidar la contribución a la mitigación del cambio climático al actuar como un sumidero de carbono. Esto los convierte en estrategias clave para mitigar el cambio climático, mejorar la salud del suelo y aumentar la resiliencia de los sistemas agrícolas.

**Tabla 3. Carbono orgánico (C orgánico), nitrógeno total (N total) y relación carbono orgánico: nitrógeno total (C:N) en función del manejo.**

	C orgánico g/kg			N total g/kg			C:N		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Convencional	9.8	2.2	24.9	9.5	3.1	23.0	10.3	4.6	18.5
Siembra directa	12.3	4.4	28.3	12.9	4.2	36.2	9.6	5.0	17.7
Ecológico	11.1	0.9	31.7	11.4	2.3	28.5	9.7	3.9	17.3

Como se puede apreciar en la Tabla 4, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los primeros 20 centímetros del suelo osciló entre 28 (siembra directa y ecológico) y 30 (agricultura convencional) cmol+/kg, valores medios. Sin embargo, la agricultura ecológica produjo los menores valores mínimos (6.9 frente a 10; cmol+/kg) y máximos (54.2 frente a 69; cmol+/kg). La CIC es un indicador general de fertilidad del suelo, que depende principalmente del contenido en materia orgánica y de la presencia y tipo de minerales de arcilla.

**Tabla 4. Capacidad de intercambio catiónico (CEC), potasio de cambio (K) y fósforo disponible (P disponible) en suelo en función del manejo.**

	CIC cmol+/kg			N cmol+/kg			P disponible mg/kg		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Convencional	30.6	10.1	69.8	0.58	0.11	2.02	26.3	3.4	86.1
Siembra directa	28.0	10.2	69.3	0.78	0.12	3.90	17.5	1.4	50.7
Ecológico	28.4	6.9	54.2	0.77	0.10	3.64	12.9	1.0	128.1

El contenido en **nitrógeno** del suelo se muestra más elevado en siembra directa y ecológico y además la relación C/N mostró valores por debajo de 10 lo que indica que el potencial de mineralización o liberación de nitrógeno disponible para los cultivos en de dichos suelos será mayor que en el manejo convencional (Tabla 5).

	C orgánico g/kg			N total g/kg			C:N		
	Media	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
Convencional	9.8	2.2	24.9	9.5	3.1	23.0	10.3	4.6	18.5
Siembra directa	12.3	4.4	28.3	12.9	4.2	36.2	9.6	5.0	17.7
Ecológico	11.1	0.9	31.7	11.4	2.3	28.5	9.7	3.9	17.3

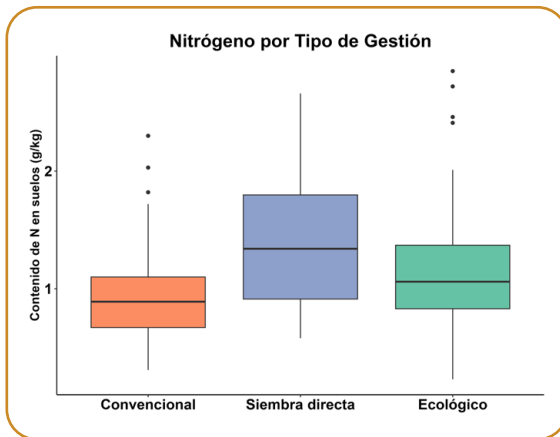


Figura 5. Contenido de nitrógeno por tipo de manejo

En cuanto al contenido de **potasio** (Figura 6), los análisis realizados arrojan los siguientes resultados respecto a la fertilidad de los suelos examinados en el seno del proyecto:

- **Ecológico**: muestra un contenido de potasio más alto en promedio que los otros dos tipos de manejo. Además, presenta un rango de valores más amplio, lo que indica una mayor variabilidad entre parcelas, con algunas alcanzando niveles muy elevados.
- **Siembra directa**: tiene una mediana de contenido de potasio similar a la del manejo ecológico, aunque con una dispersión ligeramente menor. Esto sugiere que este sistema también mantiene buenos niveles de potasio, con algo más de uniformidad.
- **Convencional**: es el tipo de gestión con el contenido de potasio más bajo en promedio y con menor variabilidad, lo que indica que en general las parcelas bajo este manejo presentan niveles más bajos y homogéneos de este nutriente.

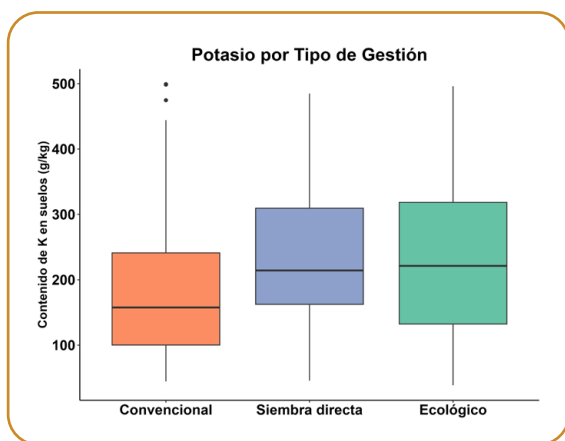


Figura 6. Contenido de potasio por tipo de manejo

Estos resultados indican que tanto el manejo ecológico como la siembra directa pueden favorecer una mayor disponibilidad de potasio en el suelo en comparación con el manejo convencional. Esto podría estar relacionado con un menor grado de alteración del suelo, una mayor incorporación de materia orgánica (residuos vegetales, fertilizantes de base orgánica) cuya mineralización libera más potasio y mejores condiciones para la retención de nutrientes.

Por último, relacionando la concentración de **fósforo** disponible en suelo y la fertilidad del suelo, se alcanzan las siguientes conclusiones (Figura 7):

- **Convencional** presenta el contenido de fósforo más alto en promedio. Además, muestra una variabilidad amplia entre parcelas, lo que indica diferencias notables en el nivel de fósforo según el manejo individual.
- **Siembra directa** tiene una mediana más baja que el manejo convencional, con un rango también amplio, pero con menor número de valores extremos.
- **Ecológico** muestra el contenido de fósforo más bajo en promedio, con una mediana claramente inferior y menor dispersión de valores.

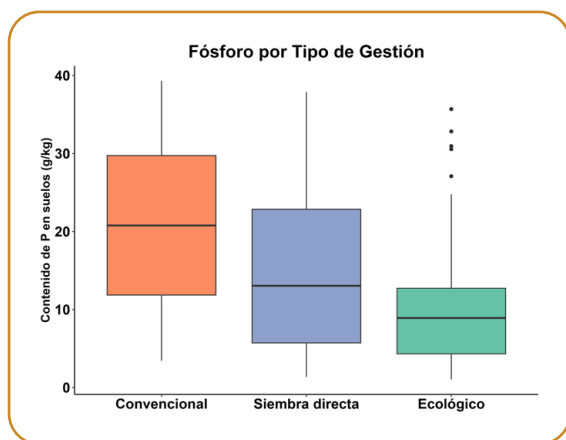


Figura 7. Contenido de fósforo por tipo de manejo

Los resultados indican que el manejo convencional tiende a concentrar más fósforo en el suelo, probablemente debido al uso regular de fertilizantes minerales y a su mayor solubilidad que los fertilizantes o enmiendas orgánicas. En contraste, los sistemas de siembra directa y ecológicos muestran niveles más bajos de este nutriente, lo que puede estar relacionado con una menor aplicación de fertilizantes sintéticos o una liberación más gradual del fósforo presente en la materia orgánica, y, en el caso de la siembra directa, al no laboreo (el fertilizante fosfórico tiende a aplicarse junto a la semilla y se produce una estratificación de su contenido en suelo mayor que en sistemas convencionales, donde, al aplicar laboreo, se homogeneiza el contenido del mismo en la capa arable).

## Secuestro de carbono

Igualmente, se ha analizado el secuestro de carbono en los suelos estudiados, atendiendo a diferentes parámetros:

En el caso del **carbono orgánico**, los análisis arrojan los siguientes resultados, tal como puede observarse en la Figura 8:

- **Siembra directa** presenta el contenido más alto de carbono orgánico en promedio, con una mediana superior y una amplia variabilidad entre parcelas. Esto sugiere que este sistema favorece el almacenamiento de carbono en el suelo, probablemente por la menor perturbación del perfil del suelo y la acumulación de residuos vegetales en superficie.
- **Ecológico** también muestra niveles relativamente altos de carbono orgánico, con una mediana similar a la de siembra directa, aunque con menor número de valores extremos. Esto indica que el manejo ecológico contribuye al secuestro de carbono de manera estable, posiblemente gracias al uso de abonos orgánicos y prácticas que promueven la actividad biológica del suelo.
- **Convencional** presenta el contenido más bajo de carbono orgánico, tanto en términos de mediana como de rango. Esto puede deberse al uso intensivo del laboreo, menor aporte de materia orgánica y degradación progresiva de la estructura del suelo.

Además, el análisis de **materia orgánica** indicó (Figura 9):

- **Siembra directa** presenta los valores más altos de materia orgánica en promedio, con una mediana superior y una amplia variabilidad entre parcelas. Esto indica que este sistema contribuye de forma significativa a la acumulación de materia orgánica en el suelo, un componente clave del carbono orgánico.
- **Ecológico** también muestra niveles elevados de materia orgánica, con una mediana comparable a la de siembra directa. La variabilidad es alta, lo que refleja diferencias según las prácticas concretas aplicadas, como el uso de compost, rotaciones o cultivos de cobertura.
- **Convencional** es el sistema con el contenido más bajo de materia orgánica en promedio y con menor dispersión. Esto sugiere una menor capacidad de secuestrar carbono, posiblemente por el laboreo intensivo, el uso limitado de enmiendas orgánicas y una menor cobertura vegetal del suelo.

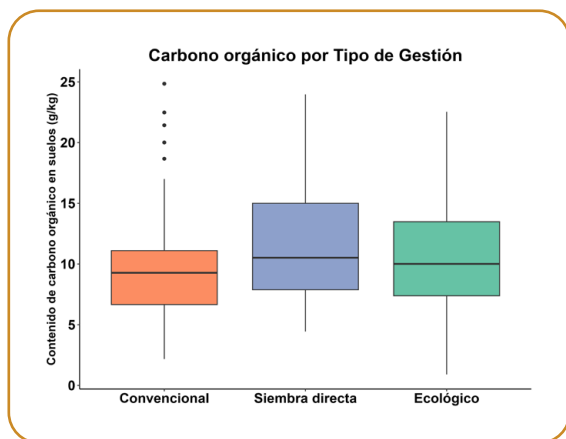


Figura 8. Carbono orgánico por tipo de manejo

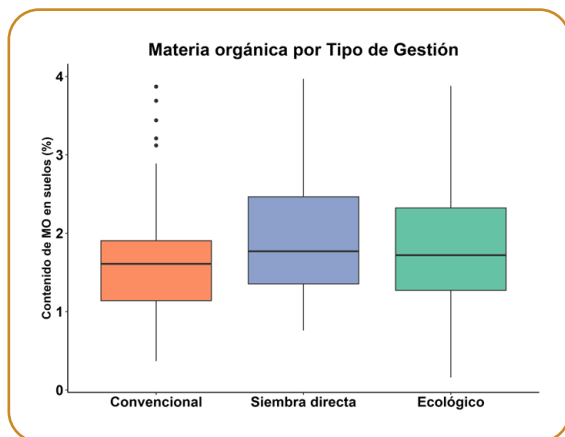


Figura 9. Materia orgánica por tipo de manejo

Estos resultados refuerzan la idea de que los sistemas de siembra directa y manejo ecológico tienen un mayor potencial para el secuestro de carbono en suelos agrícolas, al favorecer la acumulación de materia orgánica. Esto no solo mejora la fertilidad y estructura del suelo, sino que también representa una estrategia eficaz para mitigar el cambio climático a través de la agricultura sostenible.

## Actividad microbiana

Se han analizado las **enzimas del suelo** que se utilizan como indicadores tempranos de los cambios en ecosistemas naturales y agrícolas, ya que desempeñan un papel crucial en la salud del suelo y el funcionamiento del ecosistema, particularmente en el ciclo de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica (Figura 10-11-12).

- **Siembra directa:** Las actividades enzimáticas relacionadas con el ciclo del C como la  $\beta$ -glucosidasa, celobiosidasa o  $\beta$ -xilosidasa mostraron valores elevados, debido principalmente a un mayor contenido en materia orgánica, favorecido por la incorporación de materia orgánica externa como la incorporación de los restos de cultivo. Esto favorece la descomposición de la materia orgánica, y de los residuos y mayores tasas de ciclo de carbono y nutrientes.
- **Ecológico:** En el manejo orgánico obtiene resultados similares a la siembra directa porque ambos sistemas aumentan el contenido de materia orgánica en el suelo (ya sea mediante compost o estiércol), lo que estimula la actividad microbiana y enzimática.
- **Convencional:** Se ha observado una menor actividad enzimática en el manejo convencional en comparación con los dos manejos sostenibles, debido principalmente a que no se incorpora tanta materia orgánica (compost, estiércol, residuos de cultivos) y, la materia orgánica es el principal sustrato para la actividad microbiana y enzimática. Sin ella, las enzimas tienen menos "alimento" que procesar. En el manejo convencional, el uso intensivo de agroquímicos puede tener efectos tóxicos o inhibitorios sobre los microorganismos y con ello posiblemente con las enzimas del suelo.

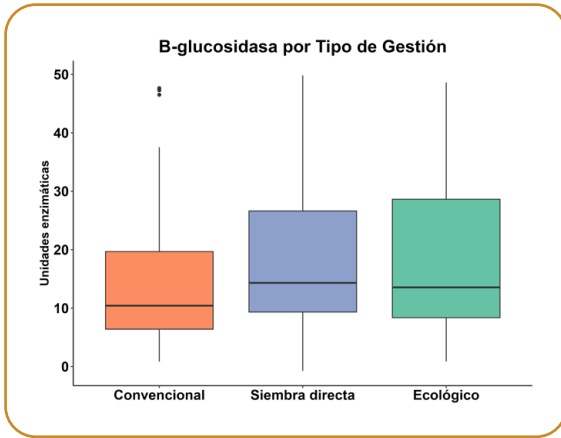


Figura 10. B-glucosidasa por tipo de manejo

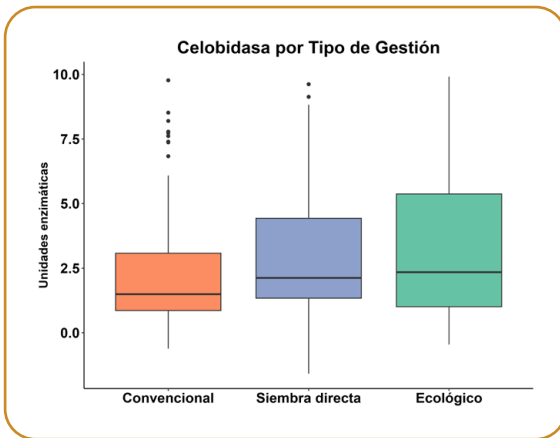


Figura 11. Celobidasa por tipo de manejo

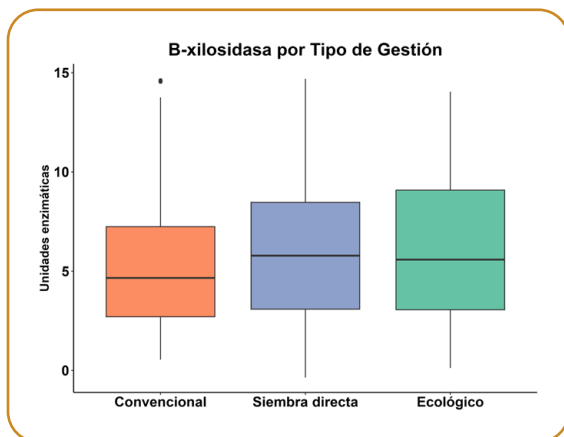


Figura 12. B-xilosidasa por tipo de manejo

Dentro de las **enzimas relacionadas con el ciclo del N** (Figura 13-14-15), hemos observado:

- **Siembra directa:** Las enzimas del ciclo del N como la N-acetil- $\beta$ -glucosaminidasa y la L-leucina aminopeptidasa también son mayores en la siembra directa y, podría deberse a que también pueden atacar a los compuestos de carbono, lo que implica un tipo de respuesta que involucra varios ciclos de nutrientes.
- **Ecológico:** En el manejo orgánico se observan niveles similares de estas enzimas porque, al igual que en la siembra directa, hay un mayor aporte de materia orgánica y una actividad microbiana más intensa, lo que favorece procesos ligados tanto al ciclo del nitrógeno como al del carbono.
- **Convencional:** Se ha observado una menor actividad enzimática en el manejo convencional en comparación con los dos manejos sostenibles, debido principalmente a que los niveles son menores porque la menor actividad microbiana y la baja disponibilidad de materia orgánica limitan la producción de enzimas, y, por tanto, la interacción entre ciclos de nutrientes es menos activa.

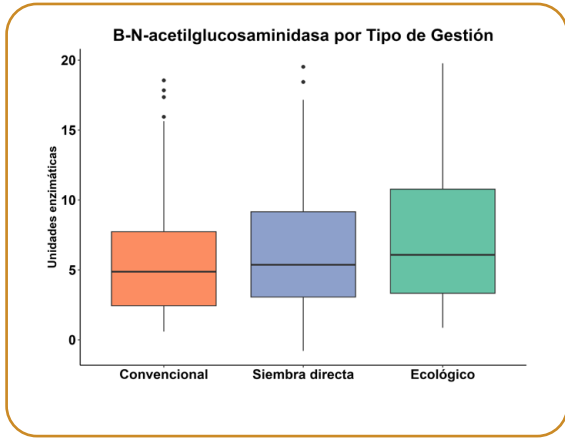


Figura 13. B-N-acetilglucosaminidasa por tipo de manejo

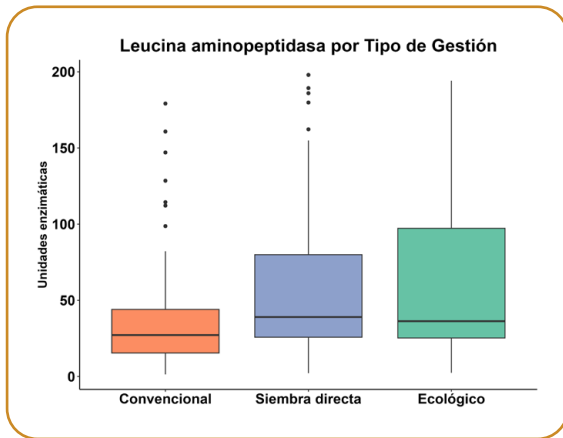


Figura 14. Leucina aminopeptidasa por tipo de manejo

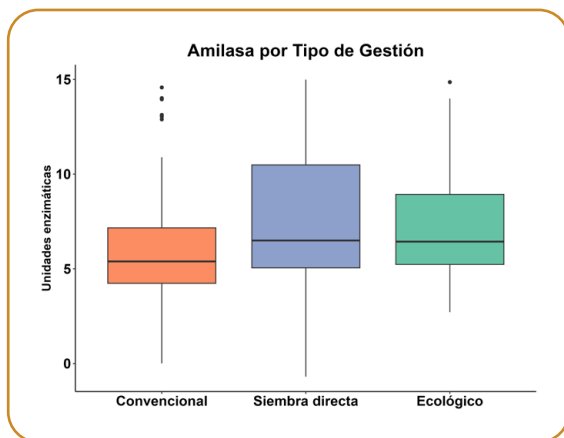


Figura 15. Amilasa por tipo de manejo

Por último, dentro de las **enzimas relacionadas con el ciclo del fósforo** (Figura 16), podemos observar:

- **Siembra directa:** La actividad fosfatasa fue evidentemente mayor en la siembra directa, ya que es mayor respecto al manejo convencional debido al aumento de la materia orgánica en el suelo y la demanda de P de los cultivos.
- **Ecológico:** En el manejo orgánico se observa una actividad fosfatasa similar a la de la siembra directa, ya que el mayor contenido de materia orgánica y la menor interferencia química también favorecen la disponibilidad y movilización del fósforo.
- **Convencional:** la actividad fosfatasa es menor debido a la escasa incorporación de materia orgánica y al uso de fertilizantes químicos, que pueden reducir la necesidad de liberación enzimática de fósforo por parte de los microorganismos del suelo.

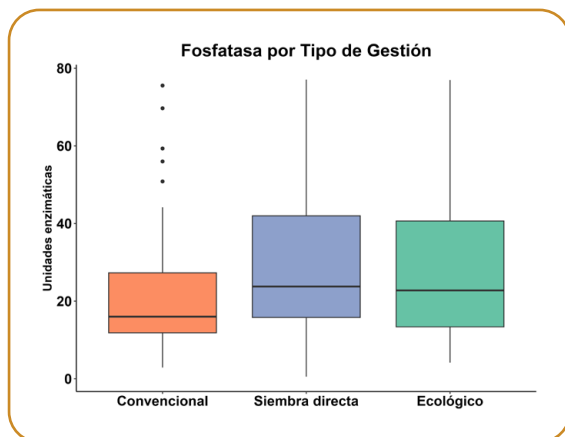


Figura 16. Fosfatasa por tipo de manejo

La medida de actividad microbiana de los suelos medida mediante la **actividad deshidrogenasa (DHA)** (Figura 17) nos indicó que:

- **Siembra directa:** La actividad deshidrogenasa (DHA), como indicador general de actividad microbiana, fue la más baja entre los tres manejos. Esto podría deberse a que, aunque hay una mejor conservación de la estructura del suelo y una microbiota más especializado, la actividad microbiana general es menor en comparación con el ecológico, posiblemente por una materia orgánica más estable.
- **Ecológico:** La DHA fue mayor en este sistema porque se promueve una microbiota activa, gracias al uso de materia orgánica como compost o estiércol y la eliminación de agroquímicos. Una mayor actividad microbiana en este manejo es una clara indicación de una mejor calidad del suelo y de los procesos del suelo importantes para el crecimiento de los cultivos, como el ciclo del carbono, el nitrógeno y el fósforo.
- **Convencional:** La actividad DHA fue intermedia. Aunque el uso de fertilizantes químicos y pesticidas puede inhibir parcialmente la mi-

crobiota, la mineralización rápida de nutrientes y la disponibilidad inmediata de compuestos pueden mantener cierta actividad microbiana basal, lo que explica valores moderados.

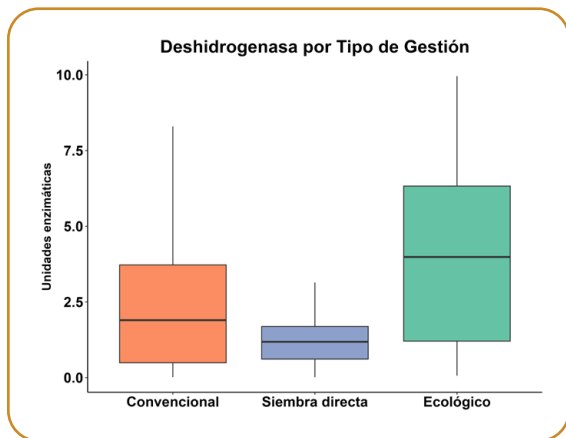


Figura 17. Deshidrogenasa por tipo de manejo

La actividad microbiana y enzimática del suelo fue significativamente mayor en los sistemas de siembra directa y manejo ecológico en comparación con el manejo convencional. Esta mayor actividad se relaciona directamente con el mayor aporte de materia orgánica, ya sea por la incorporación de restos de cultivo o la reducción en el uso de insumos químicos. Las enzimas asociadas a los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo mostraron valores más elevados bajo prácticas sostenibles, reflejando un suelo más activo y funcional. Por el contrario, el manejo convencional presentó menor actividad enzimática, probablemente por un mayor uso de agroquímicos y la baja disponibilidad de sustratos orgánicos, lo que limita la proliferación microbiana y, en consecuencia, la salud del suelo.

## Biodiversidad

También se han analizado las comunidades microbianas del suelo (hongos y bacterias) para entender el microbioma que podemos encontrar en los suelos de cada tipo de manejo, ya que es un indicador fundamental de salud en los suelos.

La presencia de **hongos micorrícicos** en el suelo es importante que ya favorecen el crecimiento de las plantas al favorecer una mayor ramificación de las raíces de las plantas, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes de las plantas, mejoran la estructura del suelo e incrementan la resistencia frente a patógenos (Figura 18)

- **Siembra directa:** Se favorece la abundancia de micorrizas arbusculares gracias a la labranza cero, que mantiene la estructura del suelo y la integridad de las redes de hifas. Esta condición mejora la colonización y funcionalidad de las micorrizas, lo que a su vez:

- Mejora la absorción de agua y nutrientes.
- Aumenta la resistencia de las plantas frente a plagas y enfermedades.

- **Ecológico:** Este sistema mostró la menor abundancia de micorrizas, posiblemente debido a que ciertos tipos de materia orgánica y prácticas de manejo pueden alterar la dinámica y estabilidad de las redes de hifas micorrízicas. Además, la alta diversidad microbiana y competencia en estos suelos podría limitar la proliferación específica de micorrizas arbusculares.

- **Convencional:** Aunque con menor abundancia que en la siembra directa, el manejo convencional presenta más micorrizas que el ecológico, probablemente porque el suelo recibe menos perturbaciones que en otros sistemas ecológicos muy intensivos o con enmiendas orgánicas que afectan la dinámica fúngica. Sin embargo, la labranza y el uso de agroquímicos limitan parcialmente el desarrollo óptimo de las micorrizas.

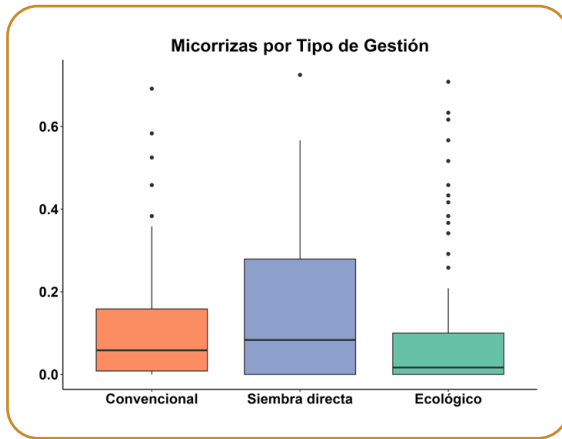


Figura 18. Micorrizas por tipo de manejo

Los **microorganismos (hongos) descomponedores** (Figura 19) que descomponen la materia orgánica muerta y liberan nutrientes esenciales para las plantas, mostraron:

- **Siembra directa:** La abundancia de descomponedores es alta y se mantiene estable gracias a la conservación de la estructura del suelo y la incorporación de restos de cultivo, lo que proporciona un sustrato constante para su actividad.
- **Ecológico:** Aunque los niveles de descomponedores son similares a los otros sistemas, se observan ligeramente más bajos. Esto puede deberse a que el tipo de materia orgánica y la mayor competencia microbiana en estos suelos generan un entorno donde la población de descomponedores específicos está un poco más restringida.
- **Convencional:** Presenta niveles similares a la siembra directa, aunque pueden estar ligeramente afectados por el uso de agroquímicos, pero la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes mantiene una comunidad de descomponedores relativamente activa.

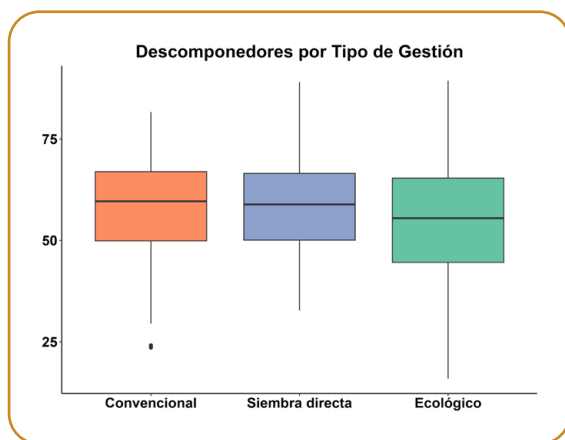


Figura 19. Descomponedores por tipo de manejo

Con respecto a los **microorganismos patógenos capaces de provocar enfermedades en los cultivos** (Figura 20), podemos observar:

- **Siembra directa:** Presenta niveles ligeramente más bajos de patógenos en comparación con el manejo convencional, posiblemente gracias a la conservación de la estructura del suelo y la mejor salud del sistema radicular, lo que dificulta la proliferación de patógenos y mejora la resistencia natural de las plantas.
- **Ecológico:** Se observó una mayor abundancia de patógenos de plantas, posiblemente asociada al tipo y estabilidad de la materia orgánica utilizada (como compost o estiércol no completamente estabilizados), que puede favorecer la proliferación de ciertos microorganismos patógenos. Además, la ausencia o menor uso de agroquímicos limita el control químico de estos patógenos. Sin embargo, la materia orgánica estable presente en estos suelos genera concentraciones de nitrato más bajas y niveles más altos de amonio, lo cual puede reducir la incidencia y gravedad de enfermedades transmitidas por el suelo.
- **Convencional:** La abundancia de patógenos es moderada y similar a la siembra directa. El uso de agroquímicos puede reducir la presencia de algunos patógenos, pero las prácticas intensivas y la menor diversidad del suelo pueden favorecer otros.

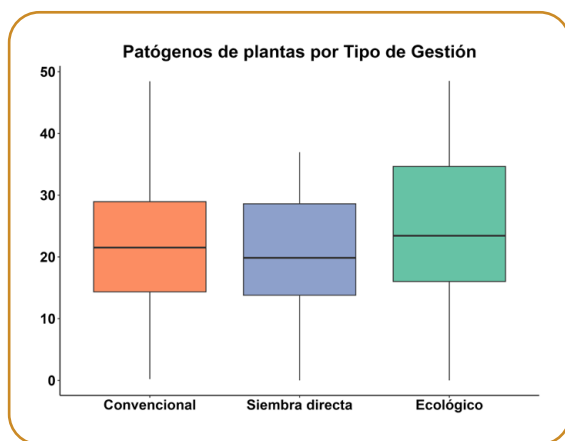


Figura 20. Patógenos de plantas por tipo de manejo

Los sistemas de **manejo ecológico** y de **siembra directa** favorecen una mayor actividad biológica del suelo en comparación con el manejo convencional, destacando una mayor abundancia de micorrizas en siembra directa, y una actividad enzimática más intensa relacionada con los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo. La siembra directa preserva la estructura del suelo, beneficiando la funcionalidad de las micorrizas, mientras que el manejo ecológico, aunque presenta mayor contenido de patógenos, también muestra condiciones edáficas que podrían reducir su impacto gracias a un equilibrio entre nitratos y amonio. En contraste, el manejo convencional, caracterizado por menor materia orgánica y un mayor uso de fertilizantes, limita la actividad microbiana afectando negativamente la salud del suelo.



La **mesofauna edáfica** comprende a los animales menores de 2 mm que habitan los intersticios del suelo y que cumplen una función clave en el reciclado de la materia orgánica a través de su fragmentación y en el mantenimiento de la salud de las redes tróficas.

En este apartado se ha estudiado la mesofauna total, los ácaros, separando los juveniles de los totales, y los oribátidos, por ser bioindicadores ecológicos y de contaminación.

- **Siembra directa:** Muestra valores intermedios de abundancia de ácaros, lo que podría estar relacionado con el efecto positivo de la siembra directa sobre las redes tróficas del suelo y el negativo del uso de agroquímicos como el glifosato antes de la siembra para acabar con las malas hierbas.

- **Ecológico:** Muestra los mayores niveles de ácaros del suelo (grupo dominado por descomponedores y algunos depredadores), el grupo predominante de organismos del suelo. Este resultado destaca sobre todo para los juveniles. Esto se debe a su sensibilidad a la presencia de productos tóxicos empleados en agricultura convencional, sensibilidad que se acentúa más en el caso de los juveniles debido a la mayor permeabilidad de su cutícula.

**Convencional:** El laboreo convencional y uso de agroquímicos tiene un efecto combinado negativo sobre la presencia de ácaros, que son sensibles a los productos tóxicos y que además se ven afectados por la labranza del suelo, que destruye las redes tróficas de las que depende y que a su vez contribuye a establecer.

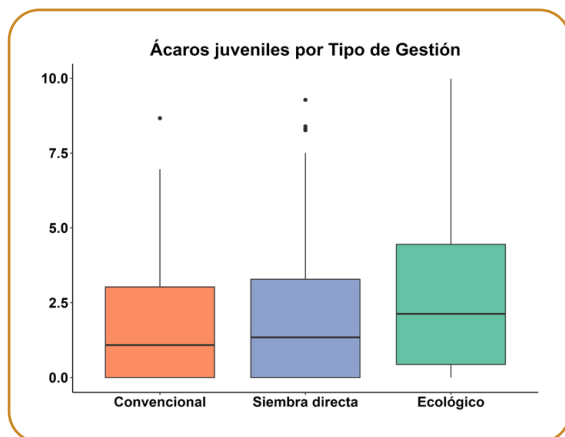


Figura 21. Ácaros juveniles por tipo de manejo

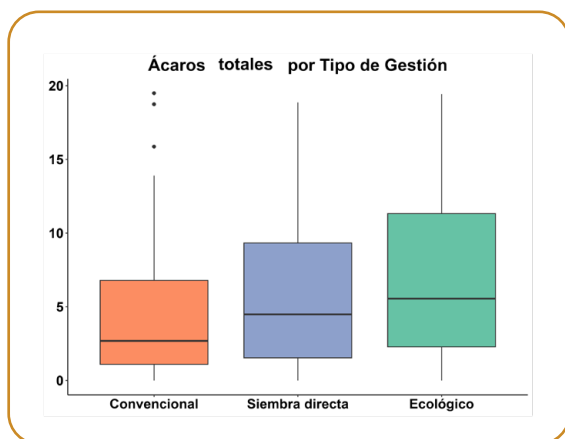


Figura 22. Ácaros totales por tipo de manejo

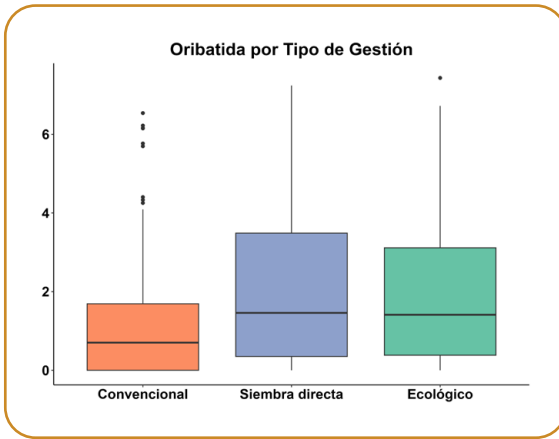


Figura 23. Oribatida por tipo de manejo

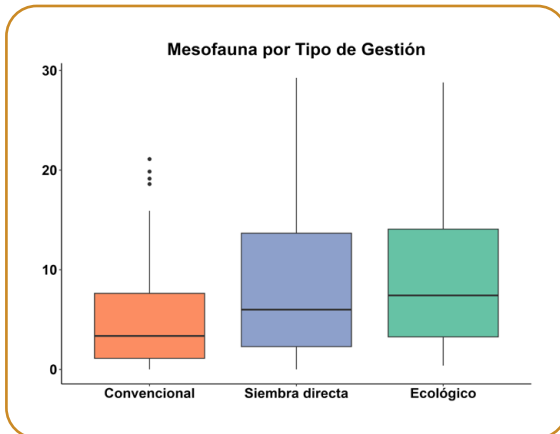


Figura 24. Mesofauna por tipo de manejo

## Macrofauna (lombrices)

Adicionalmente, también evaluamos la presencia de lombrices en los suelos de los tres tipos de cultivos y observamos que, acorde con su papel de indicadores de salud del suelo, sólo encontramos lombrices en suelos con altos niveles de materia orgánica y en cultivos de siembra directa. Por el contrario, las lombrices estuvieron completamente ausentes de los campos labrados independientemente de si estos fueron ecológicos o convencionales. Esto indica el papel de las lombrices como indicadoras de perturbación del suelo y señalan la importancia de conservar la estructura física del suelo no sólo para favorecer el secuestro de carbono como ya se ha demostrado previamente, sino también para permitir el desarrollo de un grupo de organismos fundamental para el aireado y reciclado de la materia orgánica como son las lombrices.



6.

# CONCLUSIONES





## 6 // CONCLUSIONES DEL ESTUDIO SOBRE LA SALUD DEL SUELO

### Impacto de los Sistemas de Manejo en la Salud del Suelo

#### 1. Materia Orgánica y Secuestro de Carbono

Siembra directa y manejo ecológico destacan como sistemas superiores para el secuestro de carbono, con contenidos de carbono orgánico significativamente mayores (12.3 g/kg y 11.1 g/kg respectivamente) que el manejo convencional (9.8 g/kg).

Esta mayor acumulación de materia orgánica representa una estrategia efectiva para mitigar el cambio climático mientras se mejora la fertilidad del suelo.

#### 2. Estructura y Propiedades Físicas del Suelo

Los sistemas sin laboreo (siembra directa) favorecen la conservación de la estructura del suelo, reduciendo la susceptibilidad a la erosión.

El manejo ecológico, con mayor contenido de arcilla y limo, presenta un mejor potencial para la formación de agregados estables.

#### 3. Fertilidad y Disponibilidad de Nutrientes


**Nitrógeno:** Los sistemas sostenibles (siembra directa y ecológico) muestran mayor contenido de nitrógeno total y relaciones C:N más favorables para la mineralización.

**Potasio:** Significativamente mayor en sistemas sostenibles, demostrando mejor retención de este nutriente.

**Fósforo:** Mayor en sistemas convencionales posiblemente debido a la aplicación directa de fertilizantes minerales.

#### 4. Actividad Biológica

La actividad enzimática relacionada con los ciclos de C, N y P es notablemente superior en sistemas sostenibles, indicando procesos bioquímicos más activos y funcionales.



El manejo ecológico muestra la mayor actividad deshidrogenasa, evidenciando una microbiota más activa y diversa.

## 5. Biodiversidad Edáfica

**Micorrizas:** La siembra directa favorece significativamente la presencia de hongos micorrícicos, mejorando la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes.

**Mesofauna:** El manejo ecológico presenta mayor abundancia de ácaros, especialmente juveniles, indicando un ambiente más favorable para la vida del suelo.

**Macrofauna:** Las lombrices solo se encontraron en suelos con altos niveles de materia orgánica y sin laboreo, confirmando su valor como indicadores de salud del suelo.

### Implicaciones Prácticas

**1. Para la sostenibilidad agrícola:** Los sistemas de siembra directa y manejo ecológico demuestran ser claramente superiores para mantener y mejorar la salud integral del suelo a largo plazo.

**2. Para la productividad:** Aunque el sistema convencional puede proporcionar nutrientes más rápidamente disponibles (como el fósforo), los sistemas sostenibles ofrecen una fertilidad más equilibrada y resiliente, con una actividad biológica que hará más eficiente la puesta a disposición de la planta de los macro y micro nutrientes.

**3. Para servicios ecosistémicos:** Los sistemas sostenibles contribuyen significativamente a servicios adicionales como secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad y regulación hídrica.

**4. Para la adaptación al cambio climático:** La mayor capacidad de retención de agua y la mejor estructura del suelo en sistemas sostenibles aumentan la resiliencia frente a eventos climáticos extremos.

7.

# RECOMENDACIONES GENERALES





## 7 // RECOMENDACIONES GENERALES

1

Adoptar prácticas de conservación del suelo: como la siembra directa o el manejo ecológico, para mejorar la estructura y la retención de carbono.

Monitorear regularmente el estado del suelo: análisis de nutrientes, biodiversidad y signos de enfermedades.

2

3

Usar enmiendas orgánicas bien compostadas: evitar aplicar materia orgánica fresca o inestable.

Fomentar la biodiversidad del suelo: mediante rotación de cultivos, interseembra y cubiertas vegetales.

4



5

Promover el control biológico: reducir el uso de fitosanitarios y favorecer enemigos naturales.

Favorecer la rotación de los cultivos



6



7

Evitar suelos desnudos

Establecer estrategias de gestión integrada de nutrientes y fitosanitarios.



8

# SOILBIO



Ministerio de  
Agricultura, Pesca y  
Alimentación



Plan de Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU

SOILBIO