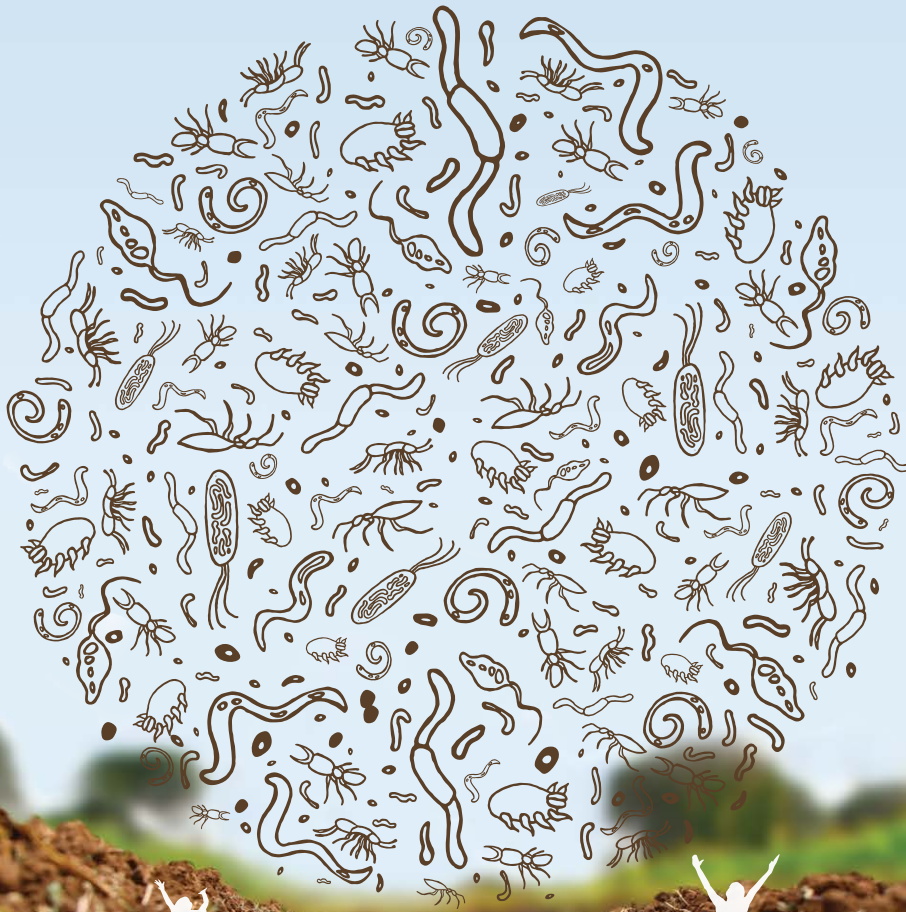




Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

Resumen para los  
formuladores  
de políticas

# ESTADO del CONOCIMIENTO sobre la BIODIVERSIDAD DEL SUELO



## Situación, desafíos y potencialidades

**itps**  
GRUPO TÉCNICO  
INTERGUBERNAMENTAL  
DEL SUELO



Convenio sobre la  
Diversidad Biológica



ALIANZA MUNDIAL  
POR EL SUELO



Comisión  
Europa



GLOBAL  
SOIL BIODIVERSITY  
INITIATIVE



# **ESTADO del CONOCIMIENTO sobre la BIODIVERSIDAD DEL SUELO**

## **Situación, desafíos y potencialidades**

### **Resumen para los formuladores de políticas**

### Cita requerida

FAO, ITPS, GSBI, CDB y CE. 2021. *Estado del conocimiento sobre la biodiversidad del suelo - Situación, desafíos y potencialidades. Resumen para los formuladores de políticas*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1929es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Iniciativa Global sobre la Biodiversidad del Suelo (GSBI), el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) o la Comisión Europea (CE), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites.

La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO, la GSBI, el CDB o la CE los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO, la GSBI, el CDB o la CE.

ISBN 978-92-5-134025-7 [FAO]

© FAO, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado”.

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, tablas, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

# Índice

<b>Prólogo</b>	IV
<b>Introducción</b>	1
<b>Mensajes clave</b>	2
<b>1 Los organismos del suelo impulsan procesos que producen alimento, purifican el suelo y el agua y preservan tanto el bienestar del ser humano como la salud de la biósfera</b>	2
¿Qué es la biodiversidad del suelo?	2
Contribuciones de la biodiversidad del suelo	2
Biodiversidad del suelo y agricultura	4
Biodiversidad del suelo y cambio climático	4
Biodiversidad del suelo y salud humana	5
Biodiversidad del suelo y protección ambiental	5
<b>2 Nuestra comprensión actual del papel de los organismos del suelo en el crecimiento de las plantas y la transformación de los contaminantes ha sido aprovechada para mejorar la producción agrícola y recuperar los suelos degradados</b>	8
Sector agrícola	8
Remediación ambiental	12
Desafíos para el uso de organismos del suelo	12
<b>3 Los avances analíticos y de laboratorio de la última década nos permiten ir más allá de la investigación de especies individuales para estudiar comunidades enteras de organismos y, por lo tanto, desarrollar nuevos enfoques para abordar la seguridad alimentaria y la protección del medio ambiente</b>	14
Industria agrícola	14
Industria alimentaria	14
Restauración de los ecosistemas	14
Industria farmacéutica	16
<b>4 Las contribuciones esenciales de los organismos del suelo están amenazadas por las prácticas de degradación del suelo. Las políticas que minimicen la degradación del suelo y protejan la biodiversidad del suelo deberían ser un componente de la protección de la biodiversidad a todos los niveles</b>	18
Especies exóticas invasoras	23
Intensificación agrícola	23
Evaluación de la biodiversidad de los suelos	23
Formulación de políticas	23
<b>El camino a seguir</b>	25

# Prólogo

Nuestro bienestar y medios de vida de la sociedad humana depende en gran medida de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que provee. Es esencial que podamos comprender estos vínculos y las consecuencias de la pérdida de la biodiversidad para los distintos desafíos globales que enfrentamos actualmente, incluyendo la inseguridad alimentaria y la malnutrición, el cambio climático, la pobreza y las enfermedades. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible establece un enfoque transformador tendiente a alcanzar el desarrollo socioeconómico al tiempo de conservar el medio ambiente.

Cada vez se presta mayor atención a la importancia de la diversidad para la seguridad alimentaria y la nutrición, especialmente la biodiversidad sobre la superficie del suelo representada por plantas y animales. Sin embargo, se presta menos atención a la biodiversidad yacente bajo nuestros pies, a saber, la biodiversidad del suelo. A pesar de ello, la gran diversidad de organismos del suelo conlleva muchos procesos que producen alimento, regeneran el suelo o purifican el agua.

En el año 2006, la Conferencia de las Partes (COP) del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) decidió en su octava asamblea establecer una Iniciativa Internacional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica de los Suelos y desde entonces la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha estado facilitando esta iniciativa. En el año 2012, los miembros de la FAO establecieron la Alianza Mundial Sobre los Suelos para promover un manejo sostenible del suelo e incrementar la atención a este recurso oculto. El Estado Mundial del Recurso Suelo concluyó que la pérdida de la biodiversidad del suelo es considerada como una de las principales amenazas globales para los suelos en muchas regiones del mundo.

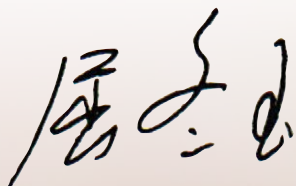
La 14a Conferencia de las Partes, en colaboración con otras organizaciones, invitó a la FAO a considerar la preparación de un informe sobre el estado del conocimiento sobre la biodiversidad del suelo que incluyera su situación actual, desafíos y potencialidades. Este informe es el resultado de un proceso incluyente que involucra a más de 300 científicos de todo el mundo bajo el auspicio de la Alianza Mundial Sobre los Suelos de la FAO y su Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos, el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Iniciativa Global sobre la Biodiversidad del Suelo y la Comisión Europea. El informe presenta el estado del conocimiento sobre biodiversidad del suelo, las amenazas a la misma, las soluciones que la biodiversidad del suelo puede dar a los problemas en diferentes campos, incluyendo la agricultura, la conservación del ambiente, la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus efectos, la nutrición, la medicina y los productos farmacéuticos, la remediación de sitios contaminados y muchos otros temas.

El informe aportará una valiosa contribución a la sensibilización de la importancia de la biodiversidad del suelo y a enfatizar su papel en la búsqueda de soluciones a las amenazas globales de la actualidad; representa un tema transversal en el corazón de la alineación de diversos marcos normativos internacionales, incluyendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los acuerdos ambientales multilaterales. Por otra parte, la biodiversidad del suelo y los servicios ecosistémicos que ofrece, serán críticos para el éxito del recientemente declarado Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030) y el próximo Marco Mundial para la Diversidad Biológica después de 2020.

La biodiversidad del suelo podrá constituir, si se construye un entorno propicio, una solución real basada en la naturaleza para la mayoría de los problemas que enfrenta la humanidad actualmente, desde el campo hasta una escala global. Por lo tanto, los esfuerzos por conservar y proteger la biodiversidad deberán incluir la gama invisible de organismos del suelo que constituyen más del 25% de la biodiversidad total de nuestro planeta.

Director General de la FAO

*QU Dongyu*



Secretario General del Convenio sobre la  
Diversidad Biológica

*Elizabeth Maruma Mrema*







# Introducción

Se ha generado una abundancia de nuevo conocimiento científico, técnico y de otro tipo relacionado con la diversidad del suelo desde el establecimiento de la Iniciativa Internacional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica de los Suelos en el año 2002, el establecimiento de la Iniciativa Global sobre la Biodiversidad del Suelo en 2011, la Alianza Mundial Sobre los Suelos en 2012 y la publicación del Atlas Mundial de la Biodiversidad del Suelo por la Comisión Europea en 2016.

Esta nueva oleada de investigación es consecuencia de la mejora en los métodos disponibles para el estudio de los organismos del suelo por la comunidad científica. Esta investigación ha puesto la biodiversidad del suelo en el corazón de los marcos normativos internacionales, incluyendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, la biodiversidad del suelo y los servicios ecosistémicos serán fundamentales para el éxito del recientemente declarado Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030).

El presente Resumen para los Formuladores de Políticas contiene los mensajes clave del Informe Estado del conocimiento sobre la biodiversidad del suelo: situación, desafíos y potencialidades, preparado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos (GTIS), el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Iniciativa Global sobre la Biodiversidad del Suelo y la Comisión Europea. El informe es resultado del trabajo de más de 300 científicos y expertos en biodiversidad del suelo de todas las regiones del mundo y presenta el mejor conocimiento disponible sobre la biota del suelo y sus funciones y servicios ecosistémicos.

# Mensajes clave

## 1 Los organismos del suelo impulsan procesos que producen alimento, purifican el suelo y el agua y preservan tanto el bienestar del ser humano como la salud de la biósfera

### ¿Qué es la biodiversidad del suelo?

**Definimos la biodiversidad del suelo como la variedad de la vida bajo la superficie del suelo, desde genes y especies hasta las comunidades que éstas forman, así como los complejos ecológicos a los que contribuyen y pertenecen, desde microhábitats hasta paisajes.**

La biodiversidad del suelo es esencial para la mayoría de los servicios ecosistémicos provistos por los suelos que benefician a las especies del suelo y sus múltiples interacciones (bióticas y abióticas) en el medio ambiente. La biodiversidad del suelo también sustenta la mayor parte de las formas de vida sobre la superficie a través de vínculos cada vez mejor comprendidos entre la superficie y debajo de ella. Para los humanos, los servicios provistos por la biodiversidad del suelo tienen fuertes implicaciones sociales, económicas, de salud y ambientales.

Los suelos son uno de los principales reservorios globales de biodiversidad, y más del 40% de los organismos vivientes en los ecosistemas terrestres están asociados durante su ciclo de vida directamente con los suelos. Los organismos del suelo se pueden dividir en diferentes grupos: microbios, micro, meso, macro, y megafauna. Incluyen una amplia gama de organismos, desde formas unicelulares y microscópicas hasta invertebrados como nematodos, lombrices de tierra, artrópodos y sus estadios larvales, hasta mamíferos, reptiles y anfibios que pasan un tiempo considerable de su vida bajo la superficie del suelo. Además, existe una gran diversidad de algas y hongos, así como una amplia variedad de asociaciones simbióticas entre los microorganismos del suelo y algas, hongos, musgos, líquenes, raíces de plantas e invertebrados.

Estos organismos forman parte de una vasta red trófica que garantiza el ciclo de energía y nutrientes desde formas microscópicas a través de la megafauna del suelo hasta organismos que viven sobre la superficie del suelo.

Para el objetivo de este resumen, los términos *biodiversidad del suelo*, *diversidad biológica del suelo* y *biodiversidad bajo la superficie del suelo* fueron usados indistintamente e incluyen microbios del suelo y fauna del suelo. Igualmente, los términos *diversidad microbiana*, *microbios del suelo*, *microbioma del suelo* y *microorganismos del suelo* se usan indistintamente y en forma específica para describir la diversidad microbiana del suelo.

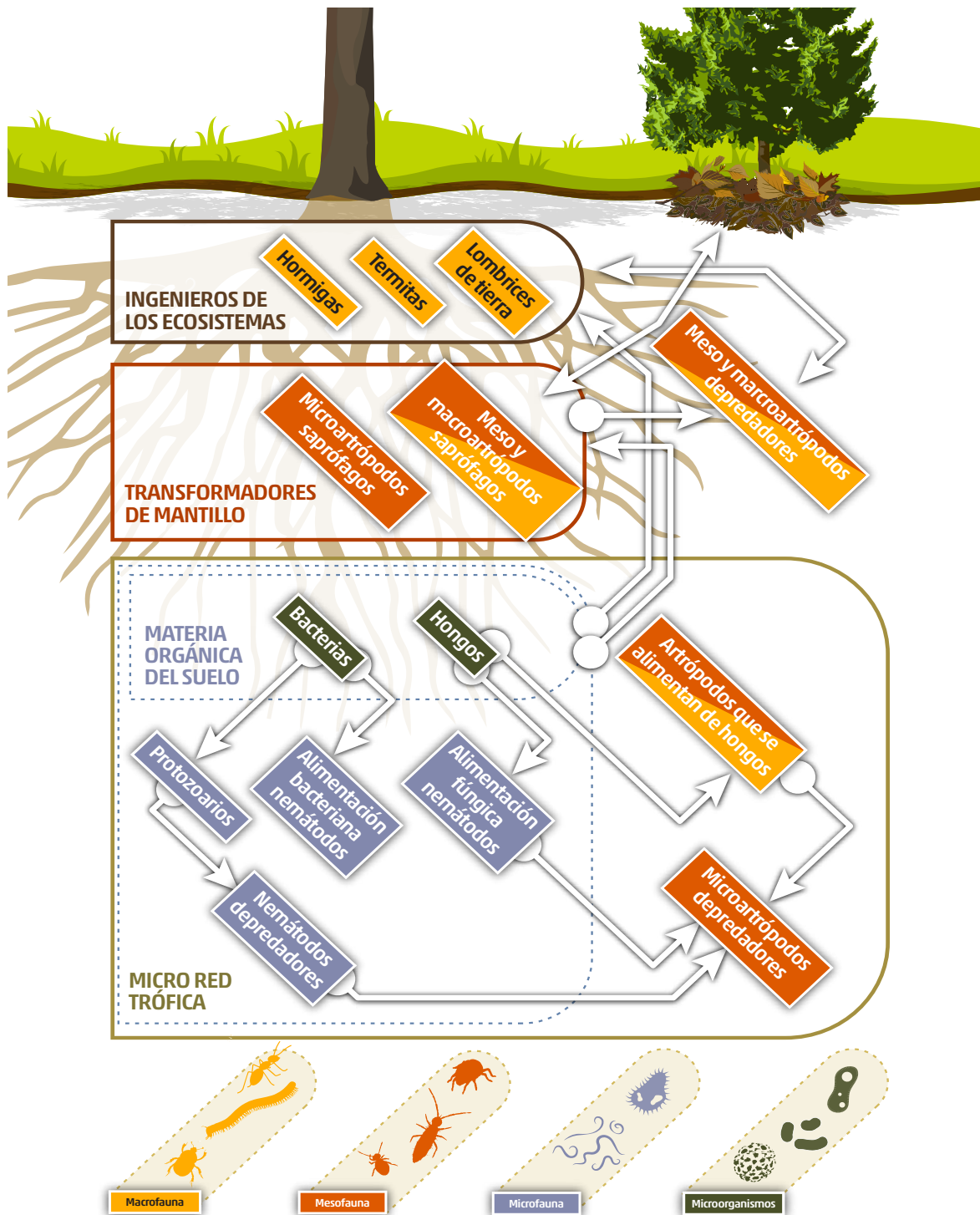
### Contribuciones de la biodiversidad del suelo

Las contribuciones de los organismos del suelo pueden agruparse en tres amplias categorías (Figura 1). En primer lugar, los **microorganismos** (por ejemplo: bacterias, hongos) y la **microfauna** (por ejemplo: los protozoarios y nematodos) transforman los compuestos orgánicos e inorgánicos en formas accesibles como parte de su metabolismo a través de procesos bioquímicos extraordinariamente complejos. Estas transformaciones son críticas para los servicios ecosistémicos como la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de plantas y otros organismos, la materia orgánica del suelo y el ciclo de nutrientes, y la filtración, degradación e inmovilización de los contaminantes en el agua y el suelo.

En segundo lugar, los organismos del suelo son parte de una vasta red trófica que recicla la energía y los nutrientes de formas microscópicas a través de la megafauna del suelo a organismos que viven sobre la superficie del mismo. Una parte importante de la red trófica es representada por la **mesofauna** como los colémbolos y ácaros que aceleran la descomposición del mantillo y optimizan el ciclo y la disponibilidad de los nutrientes (especialmente del nitrógeno) y son depredadores de organismos del suelo más pequeños (Figura 1).

Finalmente, la **macrofauna** y la **megafauna** representada por lombrices de tierra, hormigas, termitas y algunos mamíferos que actúan como ingenieros del ecosistema y modifican la porosidad del suelo, el transporte de agua y gas y también unen las partículas del suelo para formar agregados estables que mantienen el suelo en su lugar, reduciendo así la erosión del suelo (Figura 1).

# Organización de la red alimentaria del suelo



**Figura 1.** Modelo simplificado con los grupos de organismos del suelo: microorganismos, micro, meso y macrofauna agrupados en tres categorías en la red trófica. En primer lugar, aparece la micro red trófica (líneas punteadas) e incluye bacterias y hongos que constituyen la base de la red que descomponen la materia orgánica del suelo que representa el recurso básico del ecosistema del suelo, así como sus depredadores directos, los protozoarios y nemátodos. En segundo lugar, aparecen los transformadores de mantillo que incluyen microartrópodos que lo fragmentan creando nuevas superficies para el ataque microbiano. Finalmente, los ingenieros de los ecosistemas como termitas, lombrices de tierra y hormigas, que modifican la estructura del suelo al mejorar la circulación de nutrientes, energía, gases y agua. Adaptado de Coleman y Wall, 2015.

## Biodiversidad del suelo y agricultura

Los organismos del suelo sirven tanto como fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas como para impulsar la transformación de los nutrientes que los hacen accesibles para ellas. El contenido colectivo de carbono de todas las células bacterianas es comparable con el de todas las plantas de la Tierra, y su contenido total de nitrógeno y fósforo es mucho mayor que el de la totalidad de la vegetación, haciendo de estos microorganismos la fuente primaria de nutrientes indispensables para la vida.

Las plantas fijan el carbono que obtienen de la atmósfera, pero requieren micro y macronutrientes que son absorbidos del suelo para crear la biomasa y transferir nutrientes y energía. Los microbios y la microfauna del suelo interactúan con los factores abióticos - temperatura, pH, contenido de humedad - e impulsan estos procesos de transformación.

La micro, meso y macrofauna del suelo juega un papel fundamental en la descomposición de los residuos de las plantas, permitiendo a los microorganismos del suelo liberar los nutrientes y la energía contenidos en el material vegetal.

El papel de los microorganismos del suelo en la agricultura tiene muchos efectos benéficos que van más allá de la nutrición de la planta. Por ejemplo, la microbiota del suelo entre la que se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares y las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden minimizar el costo y la dependencia de fertilizantes nitrogenados sintéticos en la agricultura y mejorar la fertilidad del suelo y la sostenibilidad ambiental, incluyendo la reducción de los gases de efecto invernadero de la fabricación intensiva de fertilizantes nitrogenados.

## Biodiversidad del suelo y cambio climático

El papel de la biodiversidad del suelo para abordar el cambio climático global no puede ser subestimado: Las actividades de las comunidades del suelo pueden contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero o bien, a la absorción del carbono atmosférico en los suelos. Como parte de las funciones naturales y los servicios ecosistémicos provistos por los suelos, un suelo saludable almacena más carbono que el almacenado en la atmósfera y la vegetación juntas.

El carbono se fija o se libera de los suelos, dependiendo de la actividad de los organismos del suelo y de las condiciones del mismo. El carbono es fijado en los suelos a través de la transformación de los detritus de plantas y animales; igualmente, algunas bacterias y arqueas pueden fijar el carbono utilizando el  $\text{CO}_2$  como fuente de energía. Más allá de su papel directo en el ciclo del carbono, los organismos del suelo son también fundamentales en los esfuerzos por reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de la agricultura. A nivel global, los ecosistemas agrícolas contribuyen entre el 10 y el 12% de todas las emisiones antropogénicas directas de GEI cada año, y se estima que el 38% se debe a las emisiones de óxido nitroso del suelo y el 11% al metano en el cultivo de arroz. Los microorganismos del suelo están involucrados en cada paso de las transformaciones del nitrógeno y carbono que producen estos gases de efecto invernadero, por lo que el manejo del entorno del suelo para reducir al mínimo las emisiones es un objetivo estratégico en el manejo sostenible del suelo.



## Biodiversidad del suelo y salud humana

La biodiversidad del suelo sustenta la salud humana, tanto directa como indirectamente, mediante la regulación de las enfermedades y la producción alimentaria.

A partir de 1900, muchos medicamentos y vacunas han procedido de los organismos del suelo, desde los bien conocidos antibióticos como la penicilina hasta la bleomicina usada para tratar el cáncer y la anfotericina para infecciones micóticas. En un contexto de aumento en las enfermedades debido a microorganismos resistentes, la biodiversidad del suelo tiene un inmenso potencial para proveer nuevos medicamentos para combatirlos.

La biodiversidad del suelo y los suelos saludables ayudan a mitigar el riesgo de las enfermedades transmitidas por los alimentos al reforzar las defensas de las plantas contra infecciones oportunistas. Por ejemplo, la bacteria nociva *Listeria monocytogenes* se encuentra en bajas concentraciones en muchos suelos agrícolas, pero su patogenicidad depende de la riqueza y diversidad de las comunidades microbianas del suelo, así como del tipo de suelo, el pH y otros factores relacionados con el suelo.

La relación entre las raíces de la planta y la biodiversidad del suelo permite a las plantas fabricar químicos como los antioxidantes que las protegen de plagas y otros factores estresantes. Cuando consumimos estas plantas, estos antioxidantes nos benefician estimulando nuestro sistema inmunológico y ayudan a la regulación hormonal.

Una serie de estudios y evidencias sugiere que la exposición temprana a una colección variada de microorganismos del suelo podría ayudar a prevenir las enfermedades inflamatorias crónicas, incluyendo la alergia, el asma, las enfermedades autoinmunes, la enfermedad inflamatoria intestinal y la depresión.

## Biodiversidad del suelo y protección ambiental

Ha quedado bien establecido que la preservación de la biodiversidad del suelo es crítica para el mantenimiento y mejoramiento de la biodiversidad sobre la superficie del suelo. Las complejas redes tróficas que transfieren nutrientes y energía desde los materiales orgánicos del suelo, a través de los organismos que habitan en el suelo, a las aves, mamíferos, reptiles y anfibios, son fundamentales para la vida en la Tierra.

La biodiversidad del suelo puede atenuar las amenazas a los servicios ecosistémicos, por ejemplo, al actuar como una poderosa herramienta en la biorremediación de suelos contaminados. La bioestimulación y bioaumentación son estrategias ambientalmente racionales que contribuyen a la filtración, degradación e inmovilización de los contaminantes objetivo. (Figura 2). Además, el uso integral de organismos como los microbios (bioaumentación), las plantas (fitorremediación) y las lombrices (vermirremediación) como estrategia de biorremediación en los suelos contaminados por hidrocarburos han probado ser una alternativa viable para aumentar la eliminación de los hidrocarburos. Por otro lado, la macrofauna constituida por lombrices de tierra, termitas y hormigas juegan un papel importante en mejorar la estructura y la agregación del suelo, lo que puede mejorar la resistencia a la erosión del suelo causada por el viento y el agua.



# Biorremediación

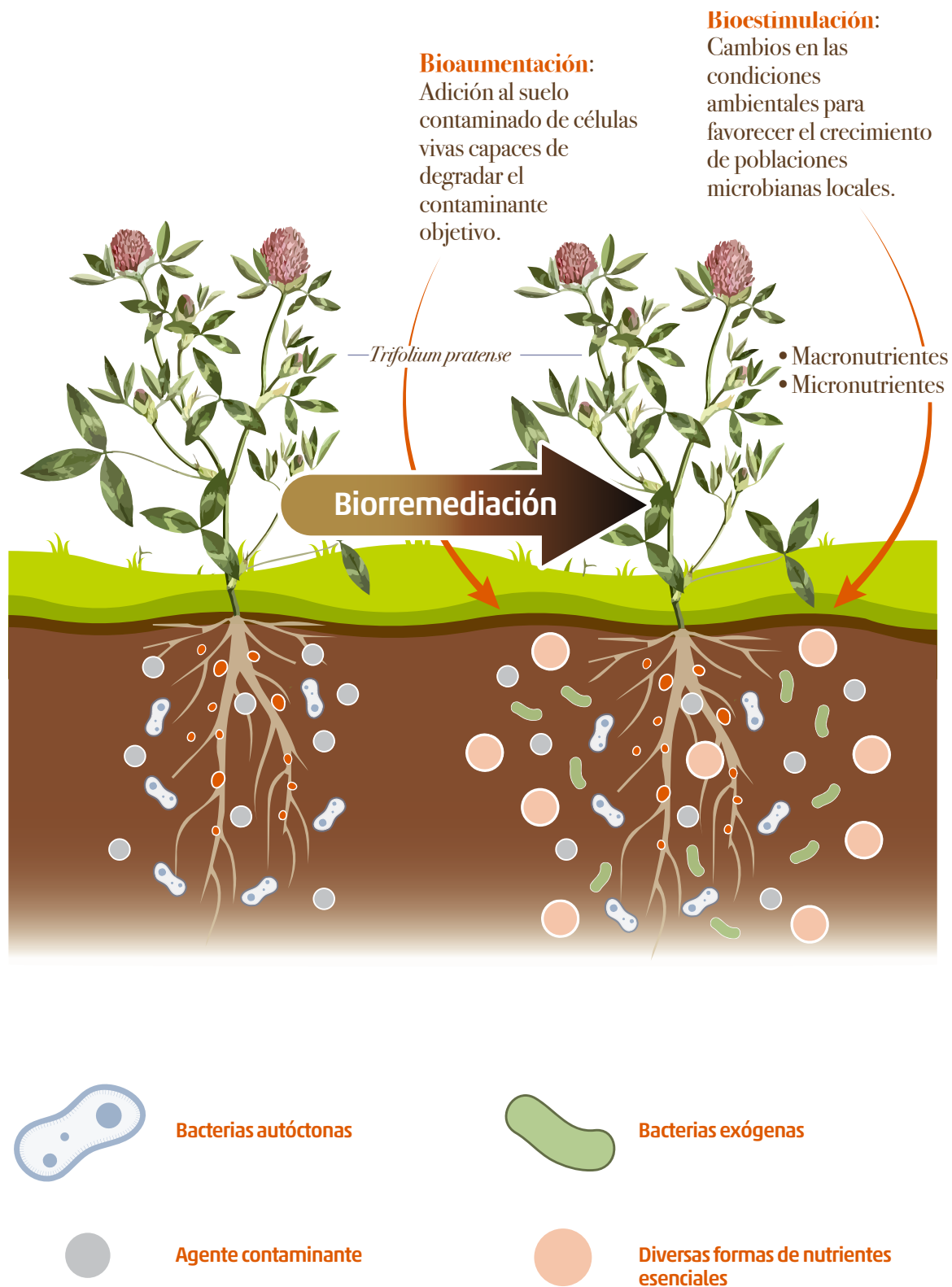


Figura 2. Microorganismos del suelo como herramienta en el manejo de suelos contaminados.



## 2 Nuestra comprensión actual del papel de los organismos del suelo en el crecimiento de las plantas y la transformación de los contaminantes ha sido aprovechada para mejorar la producción agrícola y recuperar los suelos degradados

### Sector agrícola

Los organismos usados comúnmente para la estimulación del ciclo de nutrientes incluyen hongos micorrízicos y bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno (Figura 3). En Brasil y en otros países de Latinoamérica, la inoculación de cepas selectas de la bacteria *Bradyrhizobium* en el frijol de soja es un ejemplo de éxito. En el año 2018 el frijol de soja fue cultivado en una superficie de aproximadamente 35 millones de hectáreas en Brasil. La inoculación de cepas selectas de *Bradyrhizobium* en la producción brasileña de frijol de soja sustituyó por completo a los fertilizantes de nitrógeno (N) mineral, ahorrando millones de dólares anualmente. Además de esta enorme ventaja, la fijación biológica de nitrógeno atmosférico mediante la cepa *Bradyrhizobium* es una biotecnología limpia que impide el sobreuso de fertilizantes sintéticos (Figura 4).

Los organismos del suelo también se utilizan actualmente en medidas de biocontrol en la agricultura. El concepto básico de control biológico consiste en ayudar al ecosistema natural a contrarrestar el potencial de las plagas y por regla general, aumentar la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas.

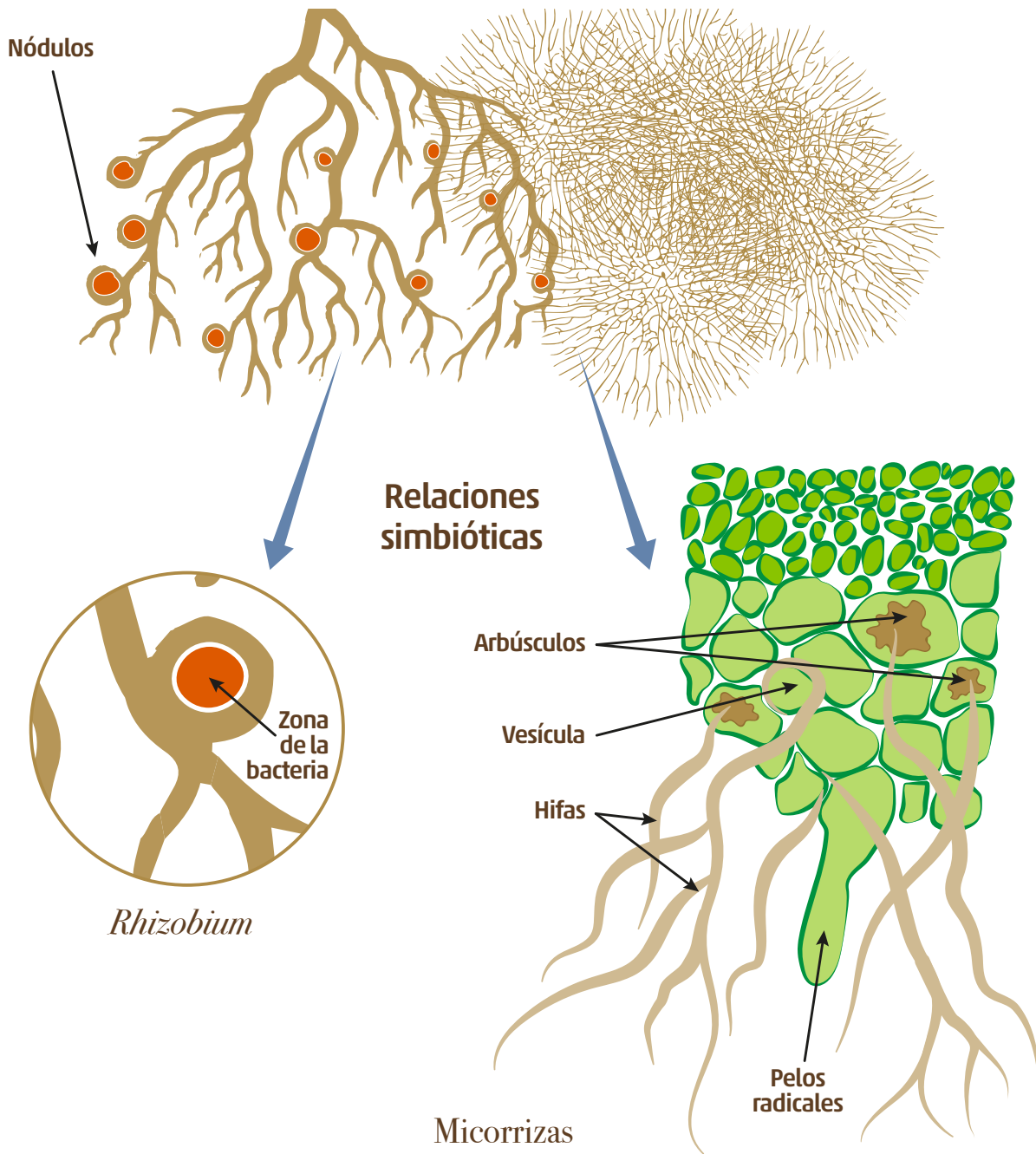
Mundialmente, el mayor éxito comercial de un agente de control biológico es sin duda el de *Bacillus thuringiensis* (Bt), una bacteria común que se aísla del suelo. La bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) es un agente de control biológico con actividad insecticida en contra de una variedad de insectos y diferentes cepas y los productos comercializados aumentan la especificidad frente a los organismos objetivo (Figura 5).

Las retroalimentaciones negativas entre el uso de los organismos del suelo y la producción agrícola también se presentan en este Reporte. Una importante proporción de antibióticos usada en cultivos y ganado termina en el suelo, afectando la biodiversidad del suelo y creando resistencia antimicrobiana en los organismos que lo habitan.



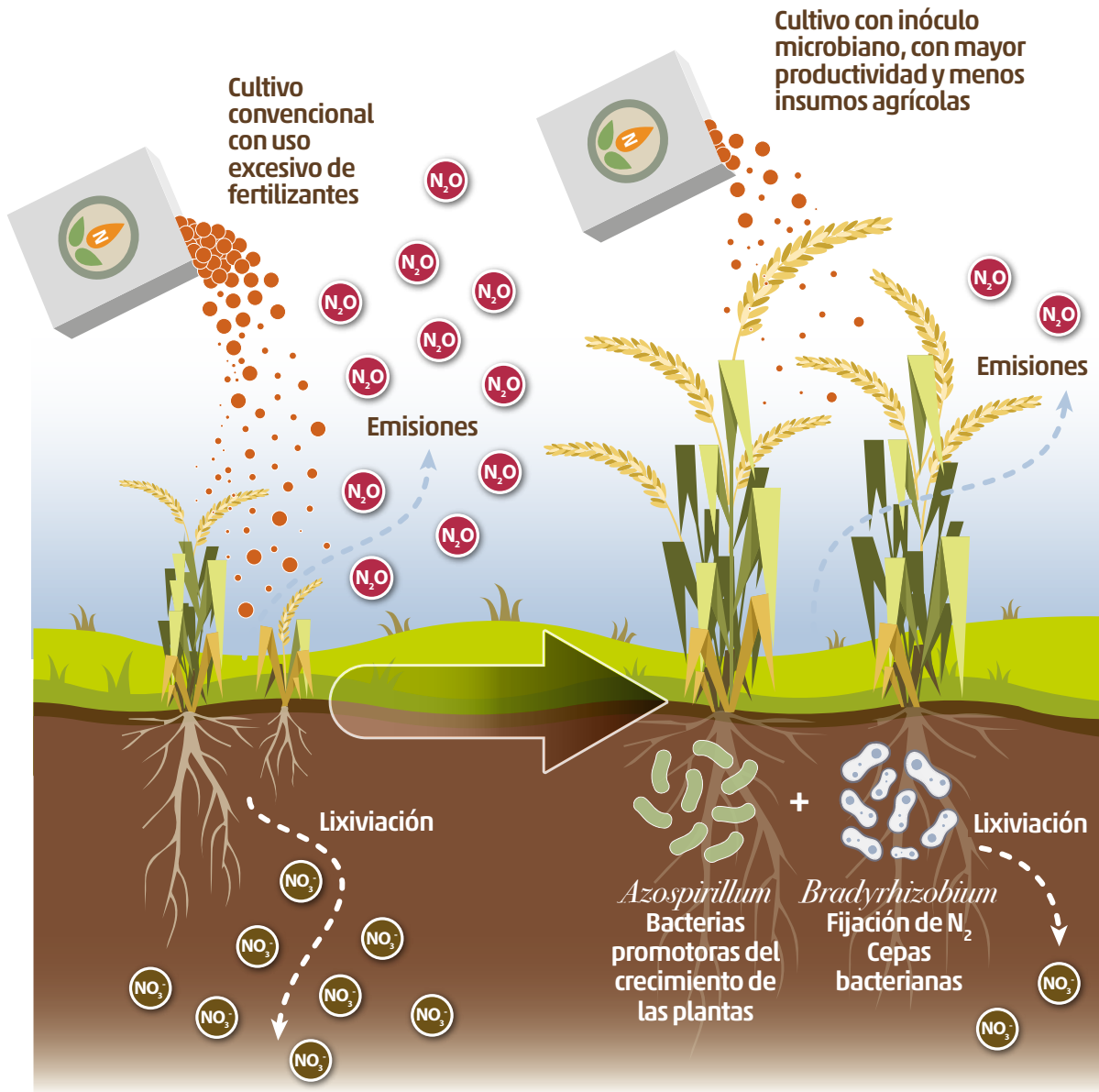


# La rizósfera



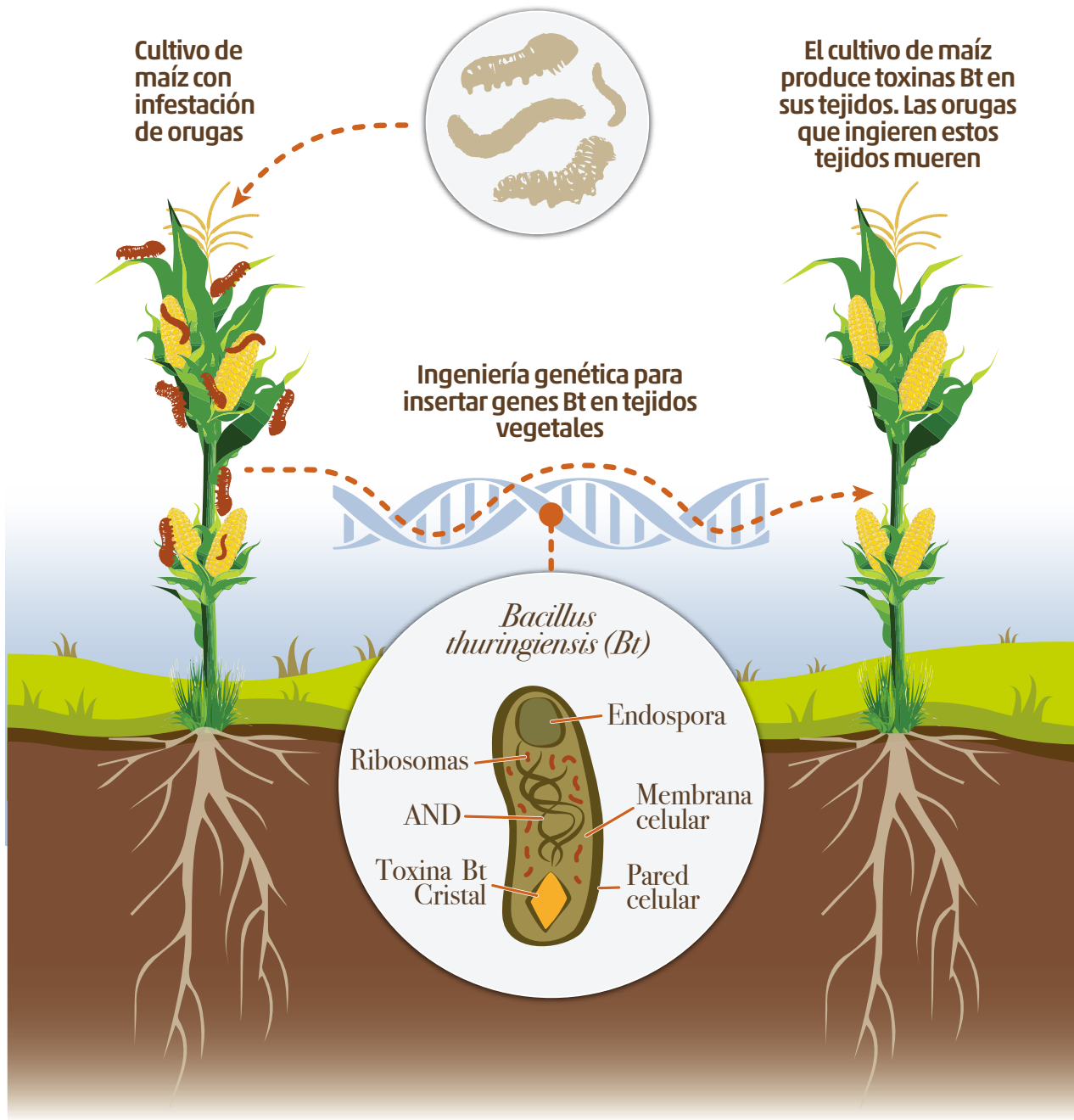
**Figura 3.** La rizósfera es la estrecha región del suelo directamente influenciada por las secreciones/exudados de las raíces y las interacciones de los microorganismos asociados. Las plantas leguminosas reciben nitrógeno -un nutriente limitante en muchos suelos- en forma de amoníaco gracias a *Rhizobium*, una bacteria fijadora de  $N_2$  que forma nódulos en las raíces de las plantas. A cambio, *Rhizobium* recibe nutrientes y la posibilidad del hábitat en las raíces. Las micorrizas (hongos simbiotes en las raíces) desempeñan un papel clave en la provisión de servicios ecosistémicos como fertilidad del suelo, formación y mantenimiento del suelo, ciclos de nutrientes y mejoras en la exploración de las raíces de las plantas en el suelo.

# Biotecnología limpia en la producción agrícola



**Figura 4.** La co-inoculación de cepas bacterianas eficientes fijadoras de  $N_2$  (*Bradyrhizobium*) con otras bacterias promotoras del crecimiento de las plantas como *Azospirillum* en los cereales, podría sustituir parte de los fertilizantes minerales de N reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero como el  $N_2O$  y disminuyendo la lixiviación de formas reactivas de nitrógeno ( $NO_3^-$ ) que contaminan las aguas subterráneas y los ecosistemas costeros, además de ahorrar insumos de inversión y capital.

# Control biológico



**Figura 5.** *Bacillus thuringiensis* (Bt), es una especie bacteriana aislada del suelo que ha sido utilizada exitosamente como agente de control biológico contra insectos. Bt produce una toxina intracelular que cuando es ingerida por un insecto, es liberada en su intestino, matándolo. Los genes que producen la toxina Bt son insertados en los cultivos agrícolas, particularmente en el maíz, dándole a la planta la habilidad de evitar los ataques de ciertos organismos patógenos.

## Remediación ambiental

Las tecnologías de biorremediación pueden conducir a la degradación de un contaminante objetivo, a un estado inocuo o a niveles inferiores a los límites de concentración establecidos por las autoridades reguladoras. Los organismos del suelo también se usan directamente para transformar componentes tóxicos en formas benignas a través de la biorremediación (Figura 2). Muchas bacterias del suelo pueden transformar diferentes contaminantes como los hidrocarburos saturados y aromáticos (por ejemplo, el petróleo, los químicos sintéticos y los pesticidas). Las bacterias y los hongos del suelo pueden reducir los hidrocarburos del petróleo producidos por un derrame hasta en un 85%.

## Desafíos para el uso de organismos del suelo

Muchos biofertilizantes microbianos, biopesticidas y otros productos relacionados muestran grandes efectos cuando se prueban en condiciones de laboratorio e invernadero, pero no proporcionan resultados reproducibles en condiciones de campo. Una razón es la dificultad de ciertos organismos para sobrevivir en un entorno altamente competitivo.

Además de su efecto dependiente transitorio y ambientalmente dependiente, el alto costo de productos biológicos también restringe su adopción por los agricultores y especialmente por los pequeños agricultores con escaso poder adquisitivo y difícil acceso al crédito.

En respuesta a estas limitaciones, algunos agricultores con una capacitación adecuada, intentan reproducir los consorcios nativos de los microorganismos del suelo para ensamblar insumos agrícolas como biofertilizantes, biocontroles y bioestimulantes. Para este fin, los agricultores dependen de técnicas relativamente simples, rápidas y asequibles. El uso de consorcios nativos o especies microbianas nativas -en contraposición a las especies exóticas- como insumos agrícolas pueden ser una estrategia válida para aumentar la resistencia biótica a los microorganismos patógenos exóticos invasores.





### 3 Los avances analíticos y de laboratorio de la última década nos permiten ir más allá de la investigación de especies individuales para estudiar comunidades enteras de organismos y, por lo tanto, desarrollar nuevos enfoques para abordar la seguridad alimentaria y la protección del medio ambiente

Con el advenimiento de nuevos métodos, los investigadores actualmente pueden ir más allá de un enfoque basado en las especies individuales. Los científicos han empezado a descubrir la forma en la cual el inmensamente diverso microbioma del suelo está vinculado al control de patógenos, la salud vegetal, el aumento de la producción y una mayor capacidad para superar el estrés abiótico.

Especialmente en la última década, los avances en los métodos, incluyendo técnicas de secuenciación molecular y herramientas analíticas de “macrodatos”, han ayudado a identificar las especies que viven en los suelos y sus comunidades. La inteligencia artificial tiene un gran potencial en el ensamblaje de datos y la agregación de información de múltiples bases de datos. La nueva metagenómica representa un enfoque prometedor para el estudio simultáneo de toda la información basada en el ADN en los suelos, incluyendo todos los grupos de organismos del suelo e información genética funcional.

#### Industria agrícola

Las nuevas técnicas moleculares que utilizan secuenciación molecular de última generación permiten un mejor conocimiento de los organismos que se encuentran en el suelo, y los efectos que esos organismos pueden tener en los sistemas de cultivo asociados. Este conocimiento proporciona un poder predictivo para que comprendamos cómo responderán los sistemas del suelo a los cambios en los factores

climáticos, los nuevos sistemas de cultivo y manejo del suelo. Otras aplicaciones de estas herramientas son la determinación de qué hongos micorrícicos y bacterias fijadoras de nitrógeno están presentes en el suelo, y la asistencia al profesional de campo en la evaluación de la eficacia de estos organismos.

Se ha descubierto que la microbiota del suelo influye en la calidad y la longevidad de los cultivos cosechados, ya sea de manera positiva (mediante interacciones microbianas beneficiosas) o negativa (mediante patógenos vegetales). Por lo tanto, la aplicación de métodos de cribado para la biota asociada; por ejemplo, mediante secuenciación de última generación, y las posteriores intervenciones necesarias resultarían valiosas en el proceso de poscosecha. Esto podría mejorar la sostenibilidad de toda la cadena de valor agrícola.

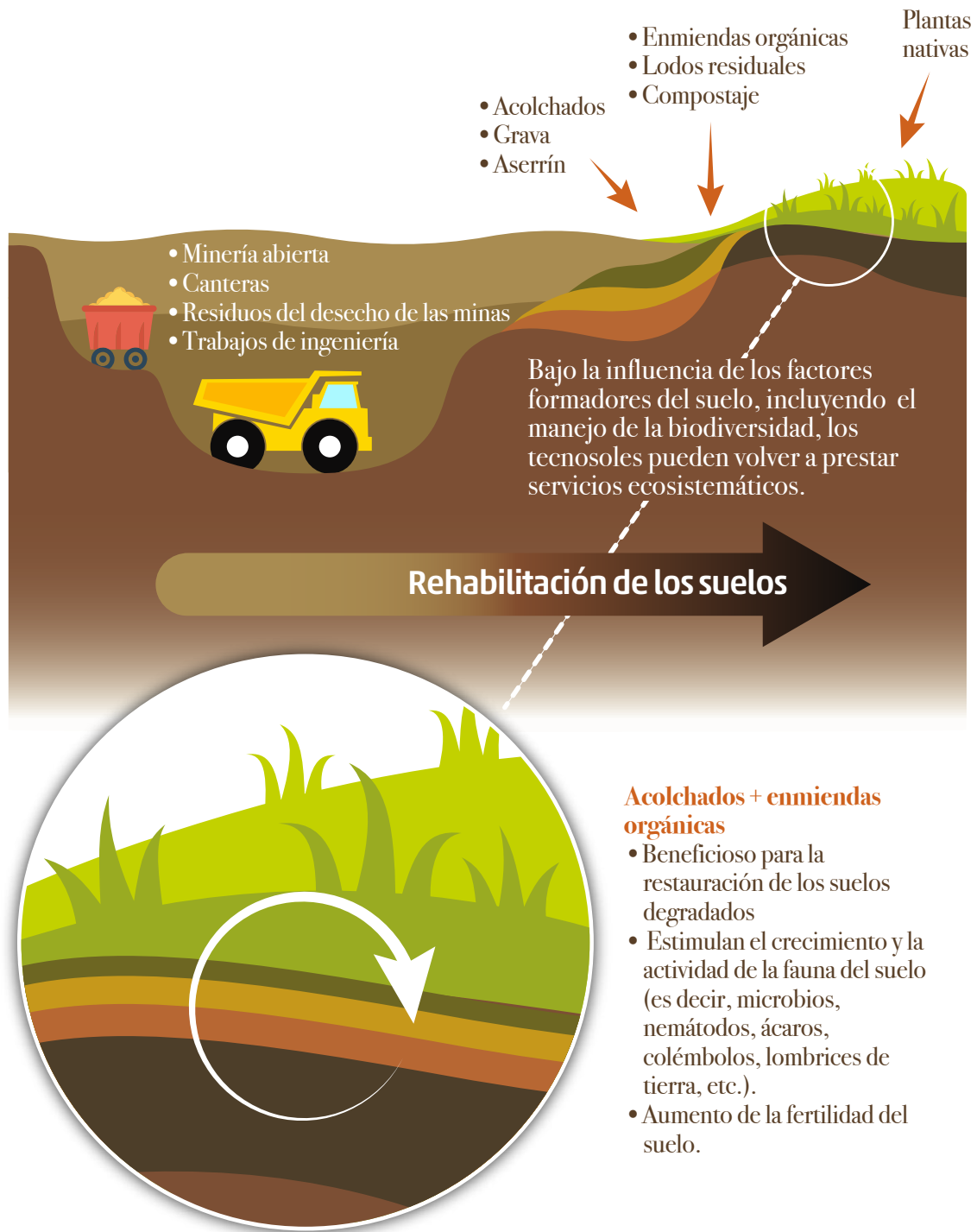
#### Industria alimentaria

Varias bacterias y hongos del suelo se utilizan tradicionalmente en la producción de salsa de soya, queso, vino y otros alimentos y bebidas fermentadas. A partir de muestras de barro y lodo se han descubierto bacterias de ácido láctico que podrían utilizarse potencialmente para producir productos probióticos que absorben metales pesados. Los suelos proporcionan hábitats para una variedad de bacterias ácido lácticas pertenecientes a *Lactobacillus*, *Lactococcus* y otros géneros, abriendo la posibilidad de que las bacterias probióticas útiles en la fermentación de alimentos u otros procesos, sean aisladas de los suelos.

#### Restauración de los ecosistemas

Los estudios de campo realizados a escalas relevantes para la restauración de los ecosistemas (es decir, hectáreas) han demostrado que un método de inoculación de la biota de todo el suelo que represente toda su biodiversidad, es una herramienta poderosa para la restauración de los ecosistemas terrestres. Sin embargo, la eficacia de cualquier programa de restauración de la biodiversidad del suelo depende de la integración adecuada a su paisaje y de las interacciones previstas en él. Cuando los suelos han sido extremadamente degradados, es necesario rehabilitar las propiedades físicas y químicas del sustrato. Bajo la influencia de los factores formadores del suelo, incluida la biodiversidad del suelo, puede producirse el desarrollo de nuevos suelos (Figuras 2 y 6).

# Combinación de estrategias de rehabilitación de suelos



**Figura 6.** Las actividades mineras tienen efectos negativos drásticos en los suelos, especialmente en las zonas áridas. Una alternativa para restaurar las comunidades biológicas de los suelos es el establecimiento de tecnosoles. Entre las acciones esenciales para la recuperación de la funcionalidad de los suelos se encuentra la adición de materia orgánica, que junto con la acción de las plantas pioneras, promueve el crecimiento y la actividad de las poblaciones de la biota del suelo, influyendo finalmente en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos degradados.

# Industria farmacéutica

La pérdida de la biodiversidad de los suelos podría limitar nuestra capacidad para desarrollar nuevos antibióticos y hacer frente a las enfermedades infecciosas. Si bien la mayor parte de la investigación biofarmacéutica se centra en la identificación de microbios únicos que puedan convertirse en bioterapéuticos, las nuevas tecnologías que permiten el estudio del metagenoma (o genoma colectivo) en una muestra ambiental, han despertado el interés por explorar la forma en que las complejas comunidades biológicas del suelo y otros ambientes interiores y exteriores influyen en la respuesta inmunitaria y nerviosa del ser humano a través de la piel, el intestino y los pulmones.







## **4 Las contribuciones esenciales de los organismos del suelo están amenazadas por las prácticas de degradación del suelo. Las políticas que minimicen la degradación del suelo y protejan la biodiversidad del suelo deberían ser un componente de la protección de la biodiversidad a todos los niveles**

El importante papel de la biodiversidad del suelo en el funcionamiento de los ecosistemas y la prestación de servicios ecosistémicos puede verse amenazado tanto por las actividades humanas como por los desastres naturales; aunque estos últimos también pueden verse influidos por los cambios inducidos por el hombre. Entre los cuales figuran la deforestación, la urbanización, la intensificación agrícola, la pérdida de materia orgánica/carbono del suelo, la compactación del suelo, el sellado de la superficie, la acidificación del suelo, el desequilibrio de los nutrientes, la contaminación, la salinización, la sodificación, la desertificación, los incendios forestales, la erosión y los deslizamientos de tierra (Figura 7). Estos impulsores del cambio ambiental concurrentes pueden tener efectos sinérgicos y, por lo tanto, pueden constituir una particular amenaza para los organismos del suelo y las funciones de los ecosistemas. La deforestación y los incendios, en particular, tienen efectos muy negativos en la biodiversidad de los suelos, y las políticas diseñadas para controlar e idealmente reducir su incidencia tendrán efectos muy beneficiosos en la biodiversidad de los suelos.

# Principales amenazas antropogénicas para la biodiversidad de los suelos



**Impulsores de la deforestación y efectos en los suelos.**

- Cambio en el uso del suelo.
- Pérdida de MOS y nutrientes.
- Cambios en las propiedades físicas del suelo.
- Perturbación del hábitat adecuado.
- Cambios de pH.

**Impactos en la biodiversidad del suelo**

- Pérdida de especies especializadas y aumento de los taxones generalistas.
- Disminución de las especies depredadoras.
- Reducción del suelo y de la diversidad funcional
- La recuperación puede tomar décadas.



**Impulsores de la intensificación agrícola y sus efectos en los suelos.**

- Mayor uso de insumos externos (pesticidas, fertilizantes) y mayor alteración del suelo.
- Mayor riesgo de erosión del suelo, contaminación, degradación de la tierra, compactación y salinización.
- Alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos.
- Perturbación de la estructura del suelo.
- Pérdida de MOS.

**Impactos en la biodiversidad del suelo**

- Disminución de la biodiversidad del suelo.
- Redes tróficas bajo la superficie del suelo más pequeñas y menos complejas.
- La recuperación de las comunidades del suelo puede llevar años o décadas.
- Redes alimentarias del suelo menos eficientes y funcionales.
- Pérdida de carbono y nutrientes del suelo por lixiviación.

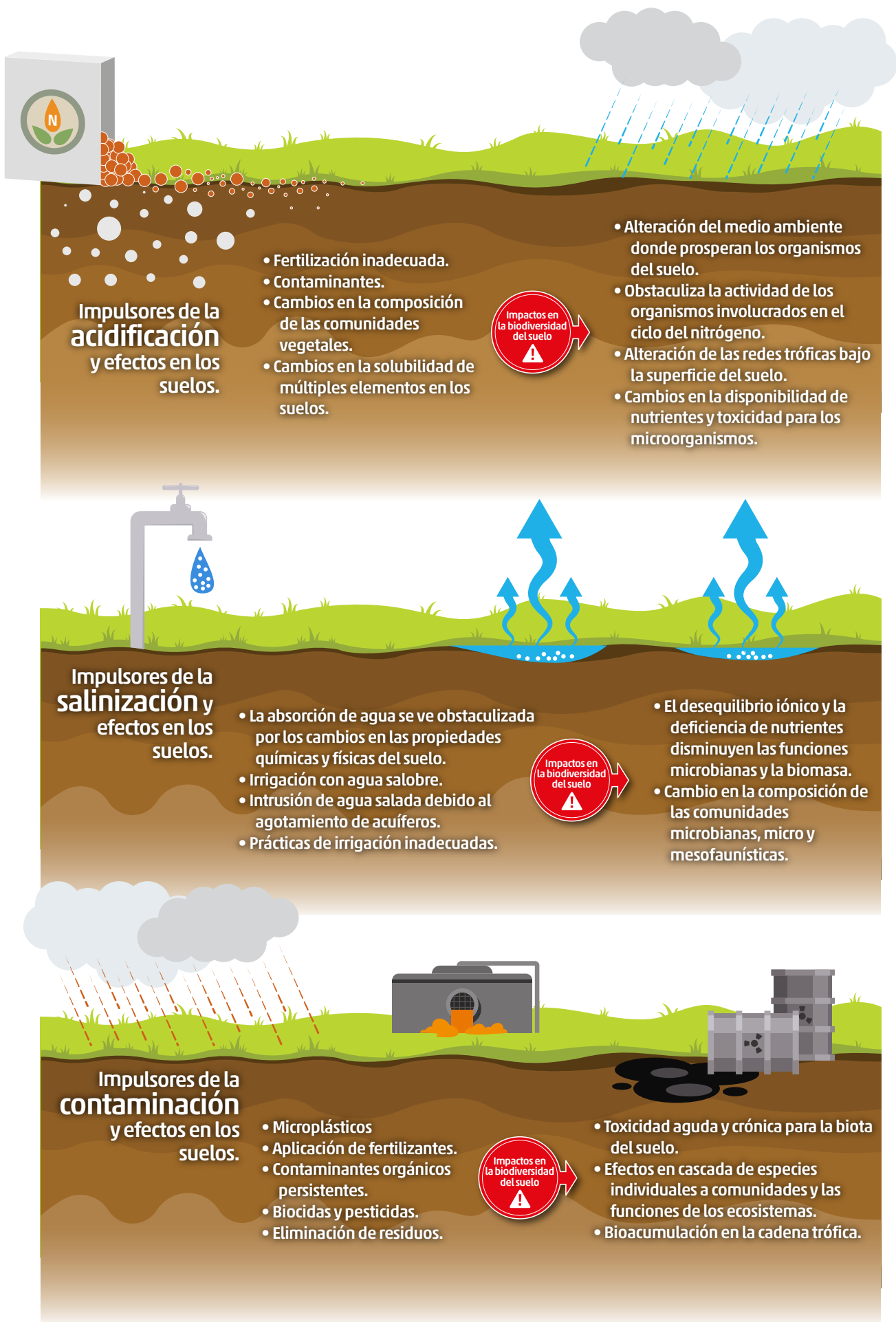


**Impulsores de los desequilibrios de nutrientes y efectos sobre los suelos.**

- Cambio en la disponibilidad de nutrientes esenciales.
- Uso excesivo de fertilizantes minerales.

**Impactos en la biodiversidad del suelo**

- Reduce la capacidad de crecimiento de los microorganismos del suelo.
- Reduce el flujo de nutrientes a través de la red trófica del suelo.
- Alteración del contenido nutricional de los productores primarios y del ingreso de mantillo.



### Impulsores de la acidificación y efectos en los suelos.

- Fertilización inadecuada.
- Contaminantes.
- Cambios en la composición de las comunidades vegetales.
- Cambios en la solubilidad de múltiples elementos en los suelos.



- Alteración del medio ambiente donde prosperan los organismos del suelo.
- Obstaculiza la actividad de los organismos involucrados en el ciclo del nitrógeno.
- Alteración de las redes tróficas bajo la superficie del suelo.
- Cambios en la disponibilidad de nutrientes y toxicidad para los microorganismos.

### Impulsores de la salinización y efectos en los suelos.

- La absorción de agua se ve obstaculizada por los cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo.
- Irrigación con agua salobre.
- Intrusión de agua salada debido al agotamiento de acuíferos.
- Prácticas de irrigación inadecuadas.



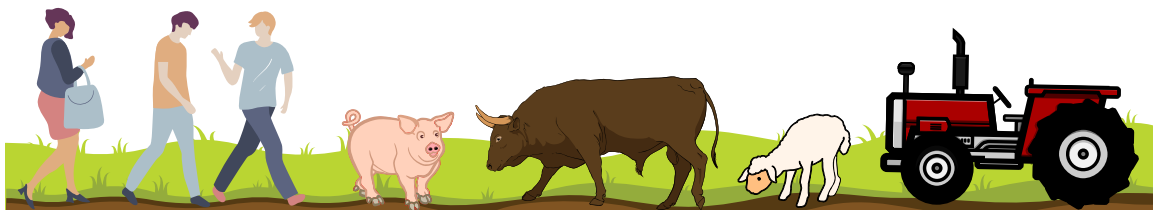
- El desequilibrio iónico y la deficiencia de nutrientes disminuyen las funciones microbianas y la biomasa.
- Cambio en la composición de las comunidades microbianas, micro y mesofaunísticas.

### Impulsores de la contaminación y efectos en los suelos.

- Microplásticos
- Aplicación de fertilizantes.
- Contaminantes orgánicos persistentes.
- Biocidas y pesticidas.
- Eliminación de residuos.



- Toxicidad aguda y crónica para la biota del suelo.
- Efectos en cascada de especies individuales a comunidades y las funciones de los ecosistemas.
- Bioacumulación en la cadena trófica.



### Impulsores de la compactación y efectos en los suelos.

- Disminuye el volumen de los macroporos.
- Aumenta la resistencia a la penetración de las raíces.
- Reduce la infiltración de agua y aumenta la escorrentía.
- Afecta al oxígeno y a los flujos de CO<sub>2</sub>, así como al potencial redox.



- Pérdida de hábitat y espacios porosos para la biota del suelo.
- Afecta la actividad faunística.
- Disminución en la biomasa faunística y de la densidad de la población.

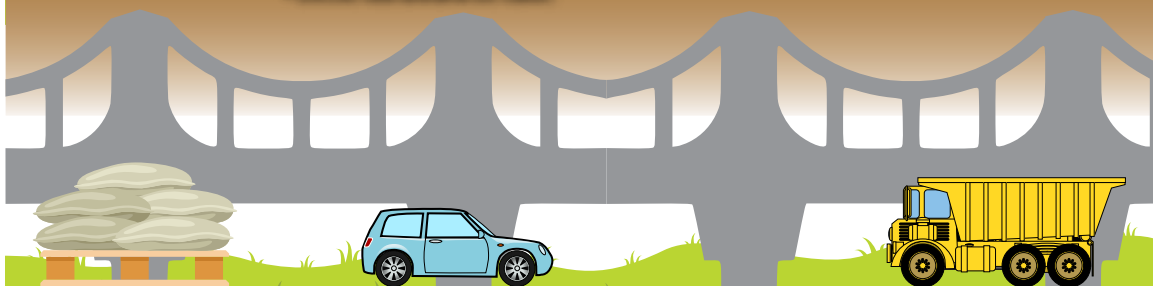


### Impulsores de la urbanización y efectos en los suelos.

- Sellado del suelo, aumento de la escorrentía y reducción de la infiltración.
- Contaminación.
- Remoción o reemplazo de suelo superficial y adición de materiales antropogénicos.
- Efecto isla urbana de calor.



- Reducción del hábitat para la biota del suelo y aumento de la heterogeneidad y fragmentación espacial.
- Alteración de las comunidades del suelo y de la dinámica de la red trófica.
- Alteración drástica del medio ambiente donde viven los organismos del suelo.



### Impulsores del sellado de la superficie y efectos en los suelos.

- Aumenta la escorrentía y reduce la infiltración de agua.
- Cambios en los ciclos de los nutrientes y del carbono.
- Afecta a la regulación del clima y microclima.
- Construcción de carreteras y otras infraestructuras permanentes.



- Pérdida de hábitats para los organismos del suelo.

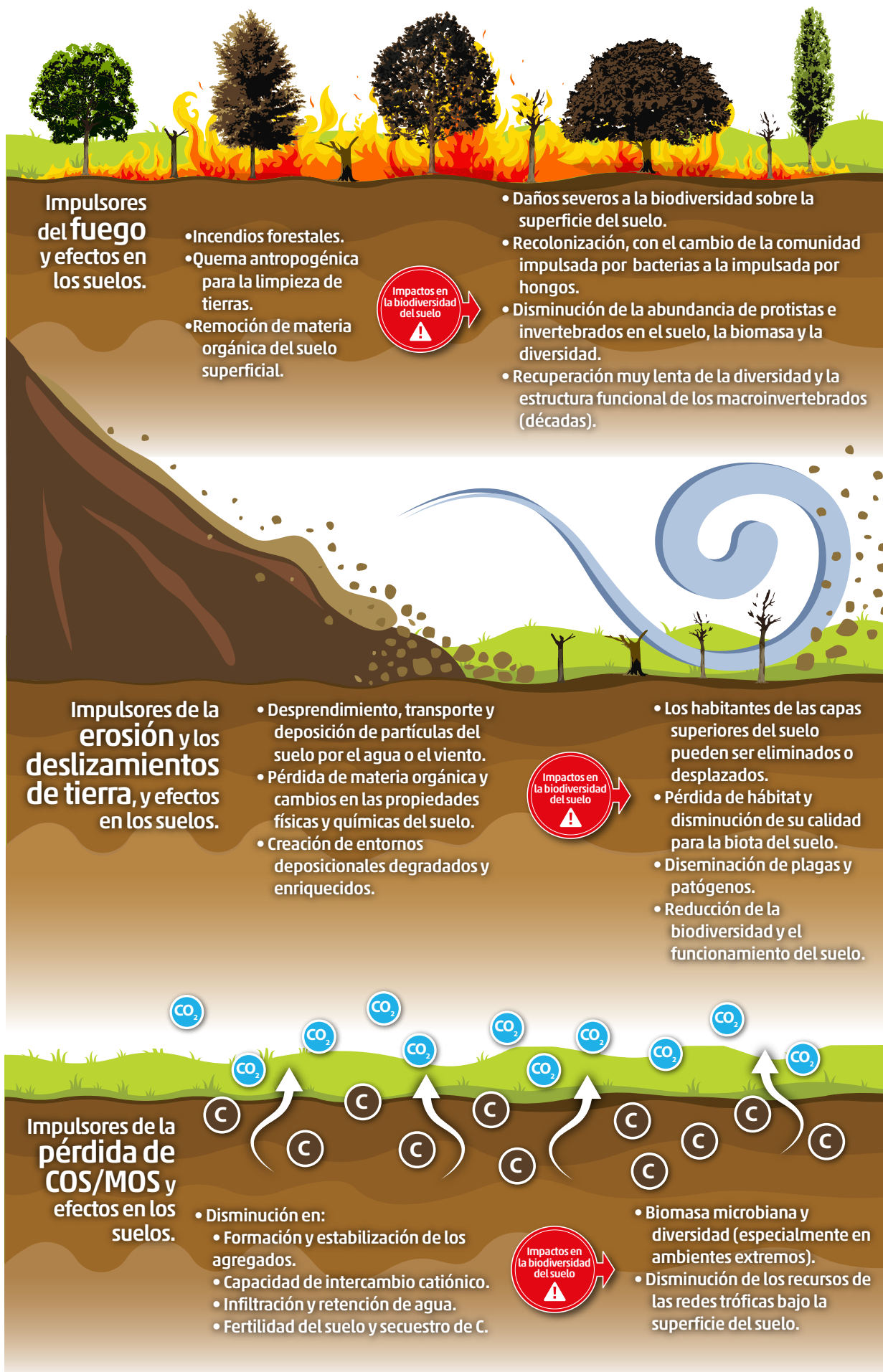


Figura 7. Principales amenazas antropogénicas para la biodiversidad de los suelos.

## Especies exóticas invasoras

La mayor parte de nuestros conocimientos sobre las especies invasoras del suelo se refiere a las plagas agrícolas, muchas de las cuales contribuyen a enormes pérdidas económicas a nivel mundial. Las especies exóticas invasoras amenazan la integridad de la biodiversidad autóctona del suelo. Los invertebrados no nativos del suelo pueden tener drásticos efectos negativos en las plantas nativas, las comunidades microbianas y otros animales del suelo: las especies invasoras terrestres pueden surgir desde cualquier nivel de organización biológica, que van desde virus y microbios (bacterias y hongos) hasta plantas, invertebrados y mamíferos.

## Intensificación agrícola

Los impactos negativos debido a la intensificación agrícola tienen consecuencias para las funciones específicas que desempeñan los animales del suelo, incluyendo la formación de la estructura del suelo y la ingeniería del ecosistema, y la regulación de las poblaciones mediante la depredación. Se sabe que la gestión humana de los suelos agrícolas y de otro tipo de suelos altera significativamente la biodiversidad de los suelos:

**Labranza:** La labranza del suelo provoca la pérdida de la fauna del suelo de mayor tamaño y la disrupción de la cadena trófica del suelo.

**Uso indebido de fertilizantes:** La fertilización sintética puede tener un impacto negativo en las comunidades microbianas y la fauna del suelo. Se han observado impactos negativos de la fertilización con nitrógeno sintético en la biomasa microbiana, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la diversidad faunística.

**Aplicación de cal para la corrección del pH:** La mayoría de los suelos de las selvas tropicales son naturalmente ácidos, y reciben con frecuencia grandes cantidades de cal después de la deforestación para neutralizar el pH, especialmente con el establecimiento de sistemas de cultivo más intensivos. Los grandes cambios de pH imponen estrés a los microorganismos nativos, lo que afecta su crecimiento y reduce la resistencia del ecosistema a las perturbaciones.

**Uso indebido de plaguicidas:** Los plaguicidas pueden causar resistencia y bioacumulación a través de las cadenas tróficas. El uso de plaguicidas puede tener efectos no deseados en los organismos del suelo, ya que los distintos grupos de organismos reaccionan de forma diferente a las distintas sustancias químicas.

**Monocultivos:** Los monocultivos limitan la presencia de bacterias, hongos e insectos beneficiosos y contribuyen a la degradación del ecosistema. Los monocultivos a gran escala también reducen la biodiversidad de los suelos debido a la especificidad del huésped de muchas de las bacterias y los hongos del suelo y la fauna de mayor tamaño del suelo que atraen, lo que facilita la propagación y expresión de enfermedades transmitidas por el suelo.

## Evaluación de la biodiversidad de los suelos

A pesar de los recientes estudios, utilizando la última tecnología y la inteligencia artificial, sobre la distribución mundial de algunos órdenes de la biota del suelo, el estado actual de la biodiversidad de los suelos y la distribución de mucha de la biota del suelo sigue siendo poco conocida en muchos países del mundo.

Los países han evaluado la situación y las tendencias de la biodiversidad de los suelos de diversas maneras, entre ellas la utilización de los conocimientos científicos, las tecnologías más recientes y la inteligencia artificial, las innovaciones y prácticas de los agricultores, los conocimientos indígenas y tradicionales, y la cartografía. En general, existe una necesidad urgente de continuar con los esfuerzos recientes utilizando las últimas tecnologías y la inteligencia artificial, y de coordinar e invertir en la evaluación de la biodiversidad de los suelos a nivel mundial.

## Formulación de políticas

Si bien la biodiversidad sobre la superficie del suelo es conocida por la mayoría de las personas, y su protección está regulada de conformidad con leyes y reglamentos nacionales y mundiales, existen pocas actividades comparables que se centren en la protección de la biodiversidad de los suelos. La protección de la biodiversidad sobre la superficie del suelo no siempre es suficiente para proteger la biodiversidad del suelo. La biodiversidad sobre y por debajo de la superficie del suelo se determina por diferentes impulsores ambientales, y no necesariamente están vinculados entre sí. La biodiversidad sobre y debajo de la superficie del suelo requiere consideraciones adaptadas de protección, conservación y restauración, porque están conectadas pero al mismo tiempo son muy distintas.

Para seguir promoviendo la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad de los suelos, es preciso elaborar protocolos de monitoreo a largo plazo y de muestreo y análisis estandarizados. Con la colaboración mundial, esto debería permitir la recopilación de grandes conjuntos de datos, que son fundamentales para acumular pruebas científicas de la importancia cuantitativa y funcional de la biodiversidad de los suelos.

Si bien algunos países han establecido indicadores y herramientas de monitoreo de la biodiversidad de los suelos, en la mayoría de los países faltan conocimientos, capacidad y recursos para aplicar los principios de salud del suelo y adoptar las mejores prácticas para mejorar la biodiversidad de los suelos.

Algunas de las principales recomendaciones del informe son las siguientes:

- La biodiversidad de los suelos debe reflejarse en los Informes Nacionales y en las Estrategias y Planes de Acción Nacionales sobre Biodiversidad (EPANB).
- Fortalecimiento de la educación y la creación de capacidades para la adopción de herramientas moleculares que contribuyan a la salud humana, vegetal y de los suelos.
- Los agricultores y los usuarios de la tierra deben adoptar prácticas de manejo sostenible de los suelos para evitar y reducir al mínimo la pérdida de la biodiversidad de los suelos.
- Los planes de remediación de los suelos y de restauración de los ecosistemas deben incluir consideraciones relativas a la salud del suelo y a la biodiversidad de los suelos.
- Es preciso promover el cambio necesario para incluir indicadores biológicos de la salud de los suelos junto con indicadores físicos y químicos.
- Es necesario estandarizar los protocolos de muestreo y análisis en todo el mundo para poder recopilar grandes conjuntos de datos comparables.
- Aumento de la colaboración intersectorial e interinstitucional para explorar sinergias y evitar la duplicación o la fragmentación; lo anterior debido a que las políticas sobre los suelos pueden estar a cargo de diferentes Ministerios.
- Es necesario que las políticas y la planificación urbana integren la biodiversidad del suelo en la gestión sostenible de los suelos y en los planes de restauración de los ecosistemas para garantizar a las personas unos suelos sanos mediante la reducción de las amenazas urbanas a la biodiversidad del suelo.





# El camino a seguir

A pesar de la clara importancia de la biodiversidad de los suelos en la prestación de servicios ecosistémicos esenciales (suministro de alimentos, fibras y combustible, filtración del agua, fuente de productos farmacéuticos, ciclo del carbono y de los nutrientes, formación del suelo, mitigación de los GEI, control de plagas y enfermedades, descontaminación y remediación), su uso y manejo adecuados no están a la altura de las circunstancias. Hace apenas una década que se establecieron iniciativas y redes de investigación para contribuir al conocimiento, la conservación, el uso y el manejo sostenible de la biodiversidad de los suelos. Entre ellas figuran el establecimiento de la Iniciativa Internacional para la Conservación y Utilización Sostenible de la Diversidad Biológica de los Suelos en 2002, el establecimiento de la Iniciativa Global sobre la Biodiversidad del Suelo en 2011 y de la Alianza Mundial Sobre los Suelos en 2012, y la publicación del Atlas Mundial de la Biodiversidad del Suelo por la Comisión Europea en 2016.

Desde entonces, la biodiversidad del suelo ha empezado a surgir como una solución alternativa a los desafíos mundiales y no sólo como un campo académico. Algunos países están empezando a utilizar la biodiversidad del suelo en diferentes ámbitos, como la agricultura, la seguridad alimentaria, la biorremediación, el cambio climático, el control de plagas y enfermedades y la salud humana. Algunas regiones, como la Unión Europea, han establecido planes de acción para la producción, el consumo y el crecimiento sostenibles con el fin de convertirse en el primer continente del mundo con clima neutro para 2050; los suelos y la biodiversidad de los suelos son componentes importantes del Pacto Verde Europeo.

Además, algunas instituciones nacionales, centros de investigación, redes, universidades y escuelas están empezando a incluir la biodiversidad de los suelos en sus programas. Algunas de ellas también están realizando investigaciones sobre innovaciones tecnológicas, así como sobre enfoques tradicionales y agroecológicos relacionados con la biodiversidad de los suelos (por ejemplo: investigación, aplicación práctica, evaluación, indicadores y monitoreo).

Debemos aprovechar este impulso para:

- Promover la integración de la biodiversidad de los suelos en la agenda de desarrollo sostenible, en el Marco Mundial para la Diversidad Biológica después de 2020, el Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas y todas las áreas en las que la biodiversidad de los suelos pueda contribuir;
- Desarrollar protocolos y procedimientos estándar para evaluar la biodiversidad de los suelos a diferentes escalas
- Promover el establecimiento de sistemas de información y monitoreo de los suelos que incluyan la biodiversidad de los suelos como un indicador clave de la salud de los suelos.
- Mejorar el conocimiento (incluyendo el conocimiento local o tradicional) del microbioma del suelo;
- Fortalecer el conocimiento sobre los diferentes grupos que conforman la biodiversidad del suelo (es decir, microbios, micro, meso, macro y megafauna);
- Establecer un programa mundial de creación de capacidades para la utilización y el manejo de la biodiversidad del suelo y el Observatorio Mundial de la Biodiversidad del Suelo.

La tabla 1 incluye un resumen, con enfoque prospectivo, para los encargados de formular las políticas.

**Tabla 1**

Resumen para formuladores de políticas

Temática	Desafíos/Vacíos	Acciones Específicas	* Acciones transversales	* Alcances transversales
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Comprensión de la biodiversidad del suelo, desde células hasta vertebrados</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mejor comprensión de las redes del microbioma (o grupos funcionales/especies clave).</li> <li>● Mejor comprensión del papel de la micro, meso y macrofauna en las funciones del suelo y el ciclo de los nutrientes.</li> <li>● Se necesita más investigación para corroborar los datos sobre BS en diferentes ecosistemas y agroecosistemas.</li> <li>● Estudios sobre BS a pequeña y gran escala en numerosas ecorregiones del mundo, especialmente en el hemisferio sur.</li> <li>● Investigación orientada a los impactos/riesgos a largo plazo de los métodos de biocontrol en el medio ambiente.</li> <li>● Se requiere de programas de monitoreo continuo a largo plazo en diferentes ecosistemas, tipos de clima y prácticas de manejo para abordar la variabilidad temporal de los cambios ambientales.</li> <li>● Es necesario desarrollar indicadores biológicos y métodos de medición robustos y fiables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Herramientas de monitoreo que incluyan: nuevos enfoques analíticos; capacidad de cómputo avanzada; secuenciación de última generación para la evaluación de la BS microbiana combinada con técnicas tradicionales; aumento de capacidad predictiva a los cambios en factores climáticos, nuevos sistemas de cultivos y MSS; herramientas de mapeo digital de suelos en combinación con información biológica.</li> <li>● Implementar estudios de BS a gran escala (cuencas y paisajes).</li> <li>● Incluir biodiversidad del suelo en las Directrices para el Estudio de Suelos incluyendo métodos estandarizados de medición.</li> <li>● Implementar modelos de BS basados en macrodatos generados a partir de información de suelo-agua-planta-atmósfera.</li> <li>● Obtener o incrementar el apoyo financiero para implementar tecnologías novedosas -metagenómica, metabolómica, volatilómica- en países en vías de desarrollo.</li> <li>● Establecimiento de un Observatorio Mundial de la Biodiversidad del Suelo.</li> <li>● Apoyar el desarrollo de sistemas comunitarios de vigilancia e información (CBMIS).</li> <li>● Simplificar las metodologías y herramientas para la evaluación de la biodiversidad del suelo que sean directamente accesibles en todas las regiones del mundo.</li> <li>● Movilizar la investigación y el desarrollo participativos específicos, garantizando la equidad de género, empoderamiento femenino, juventud, enfoques con perspectiva de género y la participación de personas indígenas así como comunidades locales.</li> <li>● Incrementar la capacidad taxonómica y abordar las necesidades de evaluación taxonómica en las diferentes regiones.</li> <li>● Apoyar la capacitación en la identificación y descripción de la BS a todos los niveles, particularmente para los taxones menos conocidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Abogar por la implementación del MSS bajo las DVGSS a nivel nacional.</li> <li>● Implementar el uso/manejo y conservación de la biodiversidad del suelo como soluciones basadas en la naturaleza.</li> <li>● Promover los enfoques basados en los ecosistemas que conserven, restauren y eviten la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.</li> <li>● Desarrollar alianzas que apoyen enfoques multidisciplinarios, fomenten sinergias y garanticen una perspectiva del MSS y la BS con múltiples interesados.</li> <li>● Implementar el uso combinado de conocimientos tradicionales, tecnologías novedosas e innovación y garantizar que las partes interesadas relevantes tengan acceso a estas herramientas y políticas asociadas.</li> <li>● Desarrollar indicadores biológicos sólidos y fiables así como protocolos de monitoreo/evaluación para la BS.</li> <li>● Aumentar la conciencia social sobre la pérdida de la BS y su recuperación; las amenazas a la BS incluyendo la intensificación agrícola y las mejores prácticas para la evaluación de la BS así como el manejo y monitoreo de todas las actividades de ordenamiento territorial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantizar la salud del suelo para la vitalidad de todos los ecosistemas y el bienestar humano.</li> <li>● Apoyar la agricultura para la sostenibilidad, productividad y la eficiencia en el uso de recursos.</li> <li>● Apoyar a los agricultores a reducir la vulnerabilidad al disminuir los costos de producción, aumentar los rendimientos y fortalecer su capacidad para diseñar e implementar prácticas de MSS.</li> <li>● La BS puede contribuir significativamente a enfrentar problemas ambientales.</li> <li>● El conocimiento de que el suelo está vivo amplía las posibilidades de las relaciones entre el hombre y el suelo.</li> <li>● La BS debe considerarse un activo de capital natural a partir del cual se producen los servicios ecosistémicos.</li> </ul>
	<p style="text-align: center;">*Este contenido hace referencia a todos los temas abordados en la tabla 1</p>	<p>BS: biodiversidad del suelo; N: nitrógeno; COS: carbono orgánico del suelo; MSS: manejo sostenible de los suelos.</p>		

Temática	Desafíos/Vacíos	Acciones Específicas	* Acciones transversales	* Alcances transversales
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Contribuciones de la biodiversidad del suelo a los servicios y funciones de los ecosistemas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Las valoraciones económicas de las funciones de la BS y los servicios ecosistémicos brindados son escasas.</li> <li>● Debe prestarse más atención a los servicios de regulación -como el almacenamiento de carbono- que dependen de la BS.</li> <li>● Es sumamente necesario desarrollar métodos para medir la contribución de la BS a todos los servicios ecosistémicos afectados, y a diferentes escalas espaciales y temporales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Apoyar proyectos enfocados en la valoración económica de las funciones y servicios de la BS.</li> <li>● Medir la contribución de la BS a las diferentes funciones y servicios del suelo a diferentes escalas y en diferentes condiciones.</li> <li>● Desarrollar datos de referencia en BS y hacer mediciones regulares a pequeña y gran escala a lo largo del tiempo.</li> <li>● Mejorar el análisis de la relación entre la estructura de las comunidades de la BS y su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y los agroecosistemas.</li> <li>● Promover la adopción y la viabilidad del Pago por Servicios Ambientales basado en la BS, con políticas apropiadas en varios niveles gubernamentales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Abogar por la implementación del MSS bajo las DVGSS a nivel nacional.</li> <li>● Implementar el uso/manejo y conservación de la biodiversidad del suelo como soluciones basadas en la naturaleza.</li> <li>● Promover los enfoques basados en los ecosistemas que conserven, restauren y eviten la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.</li> <li>● Desarrollar alianzas que apoyen enfoques multidisciplinares, fomenten sinergias y garanticen una perspectiva del MSS y la BS con múltiples interesados.</li> <li>● Implementar el uso combinado de conocimientos tradicionales, tecnologías novedosas e innovación y garantizar que las partes interesadas relevantes tengan acceso a estas herramientas y políticas asociadas.</li> <li>● Desarrollar indicadores biológicos sólidos y fiables así como protocolos de monitoreo/evaluación para la BS.</li> <li>● Aumentar la conciencia social sobre la pérdida de la BS y su recuperación; las amenazas a la BS incluyendo la intensificación agrícola y las mejores prácticas para la evaluación de la BS así como el manejo y monitoreo de todas las actividades de ordenamiento territorial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantizar la salud del suelo para la vitalidad de todos los ecosistemas y el bienestar humano.</li> <li>● Apoyar la agricultura para la sostenibilidad, productividad y la eficiencia en el uso de recursos.</li> <li>● Apoyar a los agricultores a reducir la vulnerabilidad al disminuir los costos de producción, aumentar los rendimientos y fortalecer su capacidad para diseñar e implementar prácticas de MSS.</li> <li>● La BS puede contribuir significativamente a enfrentar problemas ambientales.</li> <li>● El conocimiento de que el suelo está vivo amplía las posibilidades de las relaciones entre el hombre y el suelo.</li> <li>● La BS debe considerarse un activo de capital natural a partir del cual se producen los servicios ecosistémicos.</li> </ul>

\*Este contenido hace referencia a todos los temas abordados en la tabla 1

BS: biodiversidad del suelo;  
 N: nitrógeno;  
 COS: carbono orgánico del suelo;  
 MSS: manejo sostenible de los suelos.

## Amenazas para la biodiversidad del suelo

Temática	Desafíos/Vacios	Acciones Específicas	* Acciones transversales	* Alcances transversales
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Es crucial vislumbrar el cambio en el uso de suelo y su manejo como detonantes de otras amenazas para la BS.</li> <li>● Hay vacíos de conocimiento en la BS urbana.</li> <li>● Falta de conocimiento acerca de concentraciones de contaminantes en los suelos y los umbrales de exposición para la BS.</li> <li>● Falta de comprensión sobre los efectos interactivos entre múltiples impulsores del cambio global en la BS.</li> <li>● Mala comprensión del papel e impactos de las amenazas a la BS en ecorregiones selectas y en la región global.</li> <li>● Incapacidad para mapear adecuadamente la importancia de las amenazas para la BS a nivel global.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Considerar la BS y los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial.</li> <li>● Fomentar actividades para promover la aplicación práctica de la BS e integrarla en agendas políticas más amplias para la seguridad alimentaria, la restauración de ecosistemas, la adaptación y mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible.</li> <li>● Promover la gestión de la planificación sostenible de los entornos urbanos y la rehabilitación del suelo urbano.</li> <li>● Evaluación de especies y paisajes vulnerables para priorizar su protección.</li> <li>● Minimizar los impulsores de la pérdida de la BS y promover el mejoramiento de la salud del suelo.</li> <li>● Inclusión de la BS en la evaluación de riesgos de los insumos agrícolas.</li> <li>● Evaluación periódica de los contaminantes del suelo y experimentos de pruebas ecotoxicológicas con diferentes especies objetivo.</li> <li>● Realizar evaluaciones detalladas de las amenazas para la BS a varias escalas y/o para varios taxones.</li> <li>● Realizar una síntesis regional y global de las amenazas para la BS utilizando datos georreferenciados y espacialmente relevantes.</li> <li>● Promover la inclusión en la Lista Roja de especies de la BS en peligro de extinción a nivel nacional y mundial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Abogar por la implementación del MSS bajo las DVGSS a nivel nacional.</li> <li>● Implementar el uso/manejo y conservación de la biodiversidad del suelo como soluciones basadas en la naturaleza.</li> <li>● Promover los enfoques basados en los ecosistemas que conserven, restauren y eviten la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.</li> <li>● Desarrollar alianzas que apoyen enfoques multidisciplinarios, fomenten sinergias y garanticen una perspectiva del MSS y la BS con múltiples interesados.</li> <li>● Implementar el uso combinado de conocimientos tradicionales, tecnologías novedosas e innovación y garantizar que las partes interesadas relevantes tengan acceso a estas herramientas y políticas asociadas.</li> <li>● Desarrollar indicadores biológicos sólidos y fiables así como protocolos de monitoreo/evaluación para la BS.</li> <li>● Aumentar la conciencia social sobre la pérdida de la BS y su recuperación; las amenazas a la BS incluyendo la intensificación agrícola y las mejores prácticas para la evaluación de la BS así como el manejo y monitoreo de todas las actividades de ordenamiento territorial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantizar la salud del suelo para la vitalidad de todos los ecosistemas y el bienestar humano.</li> <li>● Apoyar la agricultura para la sostenibilidad, productividad y la eficiencia en el uso de recursos.</li> <li>● Apoyar a los agricultores a reducir la vulnerabilidad al disminuir los costos de producción, aumentar los rendimientos y fortalecer su capacidad para diseñar e implementar prácticas de MSS.</li> <li>● La BS puede contribuir significativamente a enfrentar problemas ambientales.</li> <li>● El conocimiento de que el suelo está vivo amplía las posibilidades de las relaciones entre el hombre y el suelo.</li> <li>● La BS debe considerarse un activo de capital natural a partir del cual se producen los servicios ecosistémicos.</li> </ul>

\*Este contenido hace referencia a todos los temas abordados en la tabla 1

BS: biodiversidad del suelo;  
N: nitrógeno;  
COS: carbono orgánico del suelo;  
MSS: manejo sostenible de los suelos.

## Manejo de la biodiversidad del suelo

Temática	Desafíos/Vacíos	Acciones Específicas	* Acciones transversales	* Alcances transversales
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Incrementar la investigación sobre el rendimiento a escala de campo de los inoculantes microbianos y los nematodos entomopatógenos como control biológico de las plagas de insectos.</li> <li>● Conocimiento insuficiente acerca del papel que tiene el manejo directo e indirecto de la micro, meso y macrofauna en el funcionamiento del suelo y la prestación de servicios ecosistémicos.</li> <li>● La cartera de soluciones para problemas ambientales actualmente está basada en los microbios, la micro, meso y macrofauna casi nunca se incluyen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Promover la prevención, supresión y control de patógenos y especies invasoras.</li> <li>● Invertir en investigación orientada a enfermedades transmitidas por el suelo y promover el manejo integrado de plagas.</li> <li>● Privilegiar el desarrollo de inoculantes microbianos de toda la comunidad por encima del de cepas microbianas individuales.</li> <li>● Implementar soluciones basadas en la naturaleza hacia la micro, meso y macrofauna, no solo en microbios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Abogar por la implementación del MSS bajo las DVGSS a nivel nacional.</li> <li>● Implementar el uso/manejo y conservación de la biodiversidad del suelo como soluciones basadas en la naturaleza.</li> <li>● Promover los enfoques basados en los ecosistemas que conserven, restauren y eviten la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad.</li> <li>● Desarrollar alianzas que apoyen enfoques multidisciplinarios, fomenten sinergias y garanticen una perspectiva del MSS y la BS con múltiples interesados.</li> <li>● Implementar el uso combinado de conocimientos tradicionales, tecnologías novedosas e innovación y garantizar que las partes interesadas relevantes tengan acceso a estas herramientas y políticas asociadas.</li> <li>● Desarrollar indicadores biológicos sólidos y fiables así como protocolos de monitoreo/evaluación para la BS.</li> <li>● Aumentar la conciencia social sobre la pérdida de la BS y su recuperación; las amenazas a la BS incluyendo la intensificación agrícola y las mejores prácticas para la evaluación de la BS así como el manejo y monitoreo de todas las actividades de ordenamiento territorial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantizar la salud del suelo para la vitalidad de todos los ecosistemas y el bienestar humano.</li> <li>● Apoyar la agricultura para la sostenibilidad, productividad y la eficiencia en el uso de recursos.</li> <li>● Apoyar a los agricultores a reducir la vulnerabilidad al disminuir los costos de producción, aumentar los rendimientos y fortalecer su capacidad para diseñar e implementar prácticas de MSS.</li> <li>● La BS puede contribuir significativamente a enfrentar problemas ambientales.</li> <li>● El conocimiento de que el suelo está vivo amplía las posibilidades de las relaciones entre el hombre y el suelo.</li> <li>● La BS debe considerarse un activo de capital natural a partir del cual se producen los servicios ecosistémicos.</li> </ul>

\*Este contenido hace referencia a todos los temas abordados en la tabla 1

BS: biodiversidad del suelo;  
N: nitrógeno;  
COS: carbono orgánico del suelo;  
MSS: manejo sostenible de los suelos.









ALIANZA MUNDIAL  
POR EL SUELO

La Alianza mundial sobre los suelos (AMS) se estableció en 2012 como un mecanismo reconocido mundialmente para posicionar los suelos en la Agenda Global a través de la acción colectiva. Nuestros objetivos clave son promover la gestión sostenible de los suelos y mejorar la gobernanza del suelo para garantizar suelos saludables y productivos y apoyar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la seguridad alimentaria y la mejora en la nutrición, la adaptación y mitigación del cambio climático y el desarrollo sostenible.

Gracias al apoyo financiero de



Ministerio de Finanzas de la  
Federación de Rusia



Comisión  
Europea



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

ISBN 978-92-5-134025-7



9 789251 340257

CB1929ES/1/05.21