



# COMISIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA

## Tema 9.1 del programa provisional

### 19.<sup>a</sup> reunión ordinaria

Roma, 17-21 de julio de 2023

## BIORREMEDIACIÓN Y MICROORGANISMOS E INVERTEBRADOS DE LOS SUELOS IMPLICADOS EN EL CICLO DE LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS

### ÍNDICE

	Párrafos
I. Introducción .....	1-4
II. Funciones en los procesos del suelo.....	5-11
III. Situación, tendencias y amenazas .....	12-23
IV. Conservación y utilización sostenible .....	24-51
V. Marcos normativos y jurídicos .....	52-55
VI. Redes y cooperación.....	56-57
VII. Capacidad en investigación y educación.....	58-60
VIII. Lagunas, necesidades y posibles medidas.....	61-71
IX. Orientación que se solicita .....	72

## I. INTRODUCCIÓN

1. En su 17.<sup>a</sup> reunión ordinaria, la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (CRGAA) aprobó su Plan de trabajo para la utilización sostenible y la conservación de los recursos genéticos de microorganismos e invertebrados para la alimentación y la agricultura<sup>1</sup>. El Plan de trabajo aborda los microorganismos e invertebrados como grupos funcionales y prevé que los dos grupos funcionales examinados por la Comisión en su 19.<sup>a</sup> reunión ordinaria sean los siguientes: i) microorganismos e invertebrados de los suelos, con énfasis en la biorremediación y los organismos del ciclo de los elementos nutritivos; ii) microorganismos de interés para la digestión de los rumiantes<sup>2</sup>.
2. El Plan de trabajo prevé que cada grupo funcional se aborde con base en las siguientes aportaciones: un resumen de la situación y las tendencias de la conservación, la utilización y el acceso, y la distribución de los beneficios basado en la labor previa de la Comisión, la bibliografía existente y, en su caso, una encuesta abierta que podría recopilar también las mejores prácticas en relación con su utilización sostenible y conservación; un catálogo de las organizaciones regionales e internacionales y otras instituciones de mayor pertinencia para el grupo funcional y la determinación de las esferas estratégicas de posible colaboración; y un análisis de las lagunas y las necesidades en los respectivos ámbitos y las oportunidades para que la Comisión y sus miembros las aborden<sup>3</sup>.
3. En respuesta al Plan de trabajo, la FAO encargó al Instituto Austriaco de Tecnología de Viena la preparación de un estudio sobre los microorganismos e invertebrados de los suelos de interés para la biorremediación y el ciclo de los elementos nutritivos de los suelos. En el documento titulado “Draft study on the sustainable use and conservation of soil microorganisms and invertebrates that contribute to bioremediation of agricultural pollutants and soil nutrient cycling” (Proyecto de estudio sobre la utilización sostenible y la conservación de los microorganismos e invertebrados de los suelos que contribuyen a la biorremediación de los contaminantes agrícolas y al ciclo de los elementos nutritivos de los suelos)<sup>4</sup> figura una versión preliminar del estudio.
4. El presente documento se basa en las conclusiones del proyecto de estudio para presentar una visión general de la situación de los microorganismos e invertebrados de los suelos que contribuyen al ciclo de los elementos nutritivos y a la biorremediación. Asimismo, en el documento se solicita la orientación de la Comisión en cuanto a la forma en que deberían avanzar los trabajos relacionados con este grupo de microorganismos e invertebrados.

## II. FUNCIONES EN LOS PROCESOS DEL SUELO

5. Los microorganismos e invertebrados de los suelos son muy diversos y se encuentran en comunidades complejas que desempeñan funciones esenciales en el ciclo de los elementos nutritivos y el mantenimiento de la estructura del suelo. Por lo tanto, son fundamentales para la producción de alimentos. Ofrecen distintas opciones para combatir la contaminación de los suelos con metales pesados y otros contaminantes (biorremediación). Sus funciones en el ciclo del carbono indican que son decisivos para las actividades encaminadas a mantener y aumentar la fijación de carbono en el suelo. Contribuyen de distintas formas al enfoque “Una sola salud”, que combina la salud de las personas, los animales, las plantas y el medio ambiente.
6. En consonancia con el Plan de trabajo, el proyecto de estudio se centra especialmente en las funciones que desempeñan los microorganismos e invertebrados de los suelos en el ciclo de los elementos nutritivos y la biorremediación.
7. Para que crezcan sanas, las plantas necesitan una gran variedad de macro y micronutrientes, en concreto los siguientes elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro y cloro. Obtienen el carbono a través de la fotosíntesis y generalmente extraen otros nutrientes del suelo en el que crecen.

---

<sup>1</sup> CGRFA-17/19/Informe, Apéndice E.

<sup>2</sup> Véanse los documentos CGRFA-19/23/9.2 y CGRFA-19/23/9.2/Inf.1.

<sup>3</sup> CGRFA-17/19/Informe, Apéndice E, párr. 7.

<sup>4</sup> CGRFA-19/23/9.1/Inf.1.

8. En el caso del ciclo del carbono, el material orgánico inerte se transforma en materia orgánica del suelo gracias a descomponedores microbianos e invertebrados. El carbono queda fijado en el suelo de forma natural mediante la fotosíntesis, la bioturbación por invertebrados y la producción de oxalatos.
9. El ciclo, la biodisponibilidad y la biomineralización de todos los macro y micronutrientes están conectados a las actividades biológicas de los organismos del suelo. Algunas de las principales funciones microbianas son la fijación del nitrógeno de la atmósfera y su transformación en formas disponibles para las plantas, así como la biomineralización del fósforo orgánico en compuestos inorgánicos.
10. Las plantas pueden absorber activamente diversos microorganismos de la rizosfera para colonizar sus tejidos radiculares internos. Esto da lugar a una estrecha relación desde el punto de vista metabólico entre las plantas y los microbios y con frecuencia reviste suma importancia para el desarrollo de la planta.
11. La movilidad y disponibilidad de la mayoría de los metales presentes en el suelo depende de procesos microbianos. Numerosas bacterias autóctonas del suelo contribuyen de forma natural a reducir los niveles de toxicidad mediante la excreción de exopolisacáridos que absorben los metales pesados.

### III. SITUACIÓN, TENDENCIAS Y AMENAZAS

12. La adopción de planteamientos genómicos ha mejorado en gran medida los esfuerzos por entender la biodiversidad del suelo en los últimos años. Gracias a la introducción de herramientas moleculares se ha podido detectar la huella genética de cualquier organismo con gran precisión y una mayor resolución. Los planteamientos genómicos modernos se centran en la variabilidad de los genes y las funciones en lugar de limitarse a determinar la riqueza taxonómica. Se emplean modelos estadísticos sobre ecología específicos para inferir si es necesaria una intervención de conservación para un determinado grupo de organismos.
13. Solo se ha descrito la taxonomía de algunos microbios de los suelos. Gracias a los nuevos avances tecnológicos, como la espectrometría de masas MALDI-TOF (desorción/ionización láser asistida por una matriz con detección de masas por tiempo de vuelo) y la secuenciación de próxima generación, se pueden identificar y cuantificar rápidamente los microorganismos. No obstante, debido a la dificultad que comporta la identificación a nivel de especies, los conocimientos sobre la taxonomía de los microorganismos del suelo siguen siendo en ocasiones insuficientes.
14. Se estima que entre el 80 % y el 90 % de los microorganismos del suelo no puede cultivarse con las prácticas de laboratorio actuales a pesar de los numerosos esfuerzos realizados para superar las limitaciones de las estrategias de cultivo clásicas. Las estimaciones basadas en el metagenoma han demostrado que en el ecosistema del suelo predominan microorganismos no cultivados, filogenéticamente nuevos, muy distintos y con funciones que se desconocen. Por lo tanto, se sabe muy poco de la situación y las tendencias relativas a especies concretas de microorganismos e incluso a géneros.
15. En el caso de los invertebrados, si bien es posible identificar y cuantificar las poblaciones con métodos eficaces en función de los costos, existen escasas publicaciones científicas sobre la distribución espacial a gran escala y la dinámica de poblaciones temporal de la diversidad por debajo del suelo.
16. El cambio del uso de la tierra y la utilización intensiva de productos químicos agrícolas en la agricultura se han asociado a la pérdida de biodiversidad funcional y taxonómica del suelo. Los datos disponibles indican que estas pérdidas han sido enormes. Sin embargo, no se ha cuantificado el alcance mundial.
17. En los sistemas agrícolas, la presencia natural, la diversidad y la riqueza funcional de los organismos del suelo se ven amenazadas por la aplicación de cantidades excesivas de fertilizantes químicos y por la ausencia de prácticas de gestión de suelos regenerativas. A menudo no se cuenta con políticas ni leyes adecuadas sobre protección de la biodiversidad del suelo.
18. Debido a la falta de estudios suficientes en distintas regiones y sistemas de producción, los conocimientos sobre los efectos de determinadas prácticas agrícolas sobre la biodiversidad del suelo siguen estando fragmentados. En términos generales, parece ser que la labranza y las prácticas de riego inadecuadas pueden afectar negativamente a las funciones del ecosistema del suelo. También se ha

observado que los plaguicidas tienen efectos perjudiciales en el microbioma del suelo, si bien se han obtenido diversos resultados y en algunos casos se ha demostrado que el microbioma puede adaptarse. La biodiversidad por encima del suelo influye en la que se encuentra por debajo de este y se ha observado que el monocultivo a largo plazo afecta negativamente a diversos componentes de la biodiversidad del suelo. Los riesgos y beneficios de posibles tratamientos como la adición de biocarbón al suelo y el empleo de bacteriófagos no están claros y es necesario seguir investigando.

19. Es posible que las especies de lombrices de tierra no autóctonas, ya se hayan introducido de forma intencional o no, hayan provocado disminuciones en la diversidad de lombrices de tierra autóctonas en varios continentes. Aunque existen lagunas en los conocimientos sobre todos sus efectos, en algunos casos se ha observado que afectan a las funciones ecológicas o que tienen importantes repercusiones en los componentes de la biodiversidad autóctona. También se ha constatado que otros invertebrados y microorganismos exóticos invasores tienen consecuencias graves para la biodiversidad del suelo.

20. La propagación de genes de la resistencia a los antibióticos entre los organismos del suelo es otro motivo de preocupación. Las principales fuentes de estos genes presentes en el suelo son la aplicación de abono animal como fertilizante y el riego con aguas residuales producidas por la actividad humana. Los genes de la resistencia a los antibióticos pueden mantenerse en el suelo hasta dos años después de haber aplicado el abono. El uso de antibióticos en la agricultura supone una grave amenaza para la biodiversidad microbiana autóctona de los suelos. Los antibióticos y los genes de la resistencia a los antibióticos contribuyen a la aparición en el medio ambiente de cepas bacterianas multiresistentes.

21. La biodiversidad del suelo se ve afectada por los cambios en la temperatura y el contenido de humedad del suelo, por lo que es vulnerable a los efectos del cambio climático. Sin embargo, con la información de la que se dispone actualmente, es difícil prever las repercusiones con precisión. Los efectos sobre la función de los microorganismos en el ciclo del carbono pueden ser importantes. Los estudios sobre las repercusiones de la temperatura y las precipitaciones en los microorganismos implicados en la fijación biológica del nitrógeno indican que estos podrían verse muy afectados. Los cambios en el clima también pueden interactuar con otras amenazas como, por ejemplo, la contaminación con metales pesados o plaguicidas.

22. Se han obtenido resultados experimentales sobre la disminución de grupos taxonómicos específicos de microorganismos e invertebrados como consecuencia de los cambios en determinados factores ambientales o prácticas agrícolas. No obstante, las publicaciones en cuestión suelen presentar información agregada sobre la abundancia y la riqueza de especies de las poblaciones o los grupos funcionales, pero se informa menos acerca de la dinámica temporal específica de las especies.

23. Pueden emplearse modelos matemáticos para comprender los complejos procesos ecológicos y prever cómo podrían cambiar los ecosistemas de los suelos reales en condiciones concretas. Es difícil elaborar modelos sobre la extinción de los organismos de los suelos debido a la complejidad de los microhábitats de los suelos, la variabilidad del tamaño del cuerpo de los organismos y el gran tamaño de sus poblaciones. Además, habida cuenta de que los conceptos ecológicos existentes no pueden aplicarse a los microorganismos, actualmente los modelos sobre la extinción de la biota de los suelos se limitan a resultados experimentales obtenidos a partir de microcosmos artificiales y no pueden reproducirse o generalizarse fácilmente.

#### IV. CONSERVACIÓN Y UTILIZACIÓN SOSTENIBLE

24. Es urgente adoptar medidas para abordar las amenazas para la biodiversidad del suelo descritas anteriormente y concebir estrategias para la gestión de la biodiversidad del suelo en las que se tenga en cuenta la necesidad de promover la producción sostenible de alimentos en combinación con otros servicios ecosistémicos, al tiempo que también se reducen las consecuencias perjudiciales de las prácticas agrícolas.

25. Para lograr la conservación de los organismos del suelo se necesita una combinación de enfoques *in situ* y *ex situ*. Como se ha mencionado más arriba, las prácticas de gestión agrícola a menudo plantean una amenaza para la biodiversidad del suelo. Sin embargo, diversas técnicas han

demostrado ser capaces de revertir las pérdidas y ayudar a conservar los organismos autóctonos de los suelos. Entre ellas se cuentan la conservación de la cubierta edáfica (por ejemplo, utilizando cubiertas vegetales o cultivos de protección), la permacultura, el uso de cultivos arbóreos y la agroforestería (incluido el silvopastoreo), la rotación de diversos cultivos, la utilización de cultivos autóctonos, la siembra intercalada y la reducción del uso de plaguicidas, si bien los resultados varían dependiendo de la combinación específica de prácticas y condiciones ambientales.

26. A menudo se pasan por alto las prácticas de gestión tradicionales que favorecen la biodiversidad del suelo. Muchas de estas prácticas podrían desaparecer antes de que pueda evaluarse su eficiencia.

27. El compostaje se ha empleado durante siglos para convertir los desechos en fertilizante con la ayuda de microorganismos e invertebrados. Se ha demostrado que el uso de compost en la agricultura aporta beneficios a largo plazo en cuanto al contenido de nutrientes del suelo, el potencial de captación de carbono y la biodiversidad del suelo, aunque hasta la fecha se dispone de escasos datos acerca de sus efectos sobre esta última.

28. El fomento de una adopción más generalizada y rápida de las prácticas de gestión sostenible de los suelos requiere una mejor cooperación entre los agricultores y los encargados de la ordenación del territorio y los investigadores, ingenieros y legisladores. Se ha promovido la participación activa de los agricultores a través de enfoques como la regeneración natural gestionada por los agricultores, una forma regenerativa de la agroforestería que ha obtenido buenos resultados en el Sahel.

29. Es necesario respaldar la conservación de los microorganismos e invertebrados de los suelos a través de directrices adecuadas que incluyan parámetros clave de los suelos definidos claramente, información sobre organismos indicadores importantes y normas de calidad cuidadosamente seleccionadas que permitan realizar una evaluación comparativa.

30. En algunos casos, la protección *in situ* de la biodiversidad del suelo debe complementarse con programas de regeneración del suelo, que comprenden, entre otras medidas, la reintroducción de organismos de los suelos que han disminuido o se han extinguido a nivel local a partir de colecciones *ex situ*.

31. Cuando las actividades de conservación se centran en especies concretas, los invertebrados y en especial los microorganismos no suelen tenerse en cuenta debido a su “invisibilidad”, a que se les resta importancia y a que no aparecen en listas como la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

32. Hasta la fecha, la mayoría de estudios sobre la pérdida de biodiversidad del suelo se ha centrado en los efectos de una sola amenaza en lugar de hacerlo en múltiples amenazas simultáneas, por lo que no ofrecen suficiente información para poder planificar de forma eficaz las intervenciones de gestión.

33. La diversidad de organismos de los suelos varía en todo el mundo y distintos lugares han resultado ser zonas críticas para la disimilitud en las comunidades, la riqueza de especies o el suministro de servicios ecosistémicos, que podrían requerir un conjunto diferente de intervenciones para garantizar su conservación. Solo una pequeña parte de estas zonas críticas está protegida actualmente. En algunas partes del mundo los datos sobre la biodiversidad del suelo son especialmente escasos, lo que dificulta la planificación de intervenciones eficaces encaminadas a promover su conservación y utilización sostenible.

34. Para evaluar la necesidad de llevar a cabo intervenciones de conservación u otras intervenciones de gestión es necesario contar con datos ecológicos de calidad. Sin embargo, recopilar estos datos, sobre todo la información sobre las poblaciones a largo plazo, puede llevar mucho tiempo y resultar costoso. Debido a la insuficiencia de datos sobre la distribución y la ecología de las especies objetivo, a menudo es imposible reproducir los modelos de conservación y las aplicaciones en otras zonas. A fin de poder emplear modelos para prever los cambios en los ecosistemas en condiciones ambientales futuras y apoyar la ordenación sostenible se debe normalizar la recopilación de datos, los protocolos de laboratorio, el análisis de datos y la elaboración de modelos.

35. La falta de datos conlleva que algunos planes de conservación se formulen utilizando valores aproximados como los datos relativos a especies representativas que sirven como indicadores para el objetivo perseguido. También se pueden utilizar indicadores de la salud de los ecosistemas o los suelos

como el contenido de carbono orgánico del suelo y la retención de agua. Es difícil elaborar modelos ecológicos estadísticos que puedan optimizar múltiples objetivos relacionados con la conservación y la productividad. Los enfoques de optimización basados en especies representativas pueden ofrecer marcos de gestión con una precisión de predicción aceptable que sean sumamente adaptables a distintos parámetros y tipos de datos espaciales y temporales.

#### *Colecciones de cultivos*

36. Las colecciones de cultivos microbianos sirven como centros de identificación y conservación de microorganismos de los suelos y como fuentes de microorganismos a efectos de investigación y utilización. Se puede acceder al catálogo más exhaustivo de colecciones de cultivos y base de datos de microorganismos reconocidos en el sitio web de la Federación Mundial de Colecciones de Cultivos<sup>5</sup>, que recoge información sobre 768 colecciones de cultivos de 76 países. La base de datos del Centro Mundial de Datos sobre Microorganismos<sup>6</sup> es un repertorio de colecciones de todo el mundo en el que se ofrece información sobre más de 3 millones de microorganismos y estirpes celulares de 831 colecciones de cultivos procedentes de 78 países. Algunas colecciones corren el riesgo de perderse debido a la falta de financiación, en particular del personal, o de desastres naturales, y es necesario adoptar medidas para garantizar su conservación para el futuro.

37. Dependiendo de los objetivos, se puede emplear una serie de tecnologías de conservación *ex situ*. Algunos métodos de conservación a largo plazo son la crioconservación, el almacenamiento bajo el agua y la liofilización. En el caso de algunos organismos, la forma más viable de conservación exige un mantenimiento basado en el suelo y los sustratos, en ocasiones junto con el simbionte del organismo, por ejemplo en el caso de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Si bien algunas requieren un equipo que consume mucha energía, las técnicas de conservación a largo plazo tienen muchas ventajas y se utilizan en la mayoría de las colecciones de cultivos.

38. Algunas de las limitaciones a las que se enfrentan las colecciones de cultivos microbianos son la escasez de personal capacitado y tecnologías de vanguardia para el cultivo de alto rendimiento, el cultivo del microbioma completo y la propagación de los organismos que actualmente no pueden cultivarse. Con frecuencia también existe una falta de coordinación entre colecciones.

#### *Utilización de organismos cultivados y trasplantados*

39. Los biofertilizantes son productos agrícolas formulados que contienen microorganismos cultivados y seleccionados capaces de aumentar la disponibilidad de nutrientes del suelo. Algunas de las bacterias beneficiosas que tienen rasgos relacionados con la promoción del crecimiento vegetal o capacidad para la fijación de nitrógeno y que se emplean ampliamente en los biofertilizantes son las de los géneros *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum*. Asimismo, existen numerosos productos en el mercado que contienen HMA. Sin embargo, se sigue cuestionando la viabilidad y fiabilidad de muchos de estos inóculos, habida cuenta de que a menudo no pueden establecerse en condiciones de campo. La mayoría de los estudios sobre los beneficios de los inóculos microbianos se han llevado a cabo en condiciones de invernadero.

40. Los inóculos microbianos podrían plantear una amenaza para los organismos autóctonos de los suelos. Aunque la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha han concluido que estas repercusiones son limitadas, es necesario seguir investigando. También se deben investigar más a fondo los efectos de los bioplaguicidas sobre la biodiversidad del suelo.

41. Las lombrices de tierra se utilizan de forma generalizada en el compostaje y se pueden adquirir fácilmente para tal fin. En el mercado de control biológico de plagas pueden encontrarse productos de nematodos para la aplicación en el suelo en forma de cápsulas o cultivos deshidratados. En la gestión de las plagas agrícolas se utilizan habitualmente especies de nematodos entomopatógenos, que se producen en grandes cantidades por medio de la incubación en bioreactores.

---

<sup>5</sup> <https://wfcc.info>.

<sup>6</sup> <https://www.wdcm.org>.

42. La cría selectiva de invertebrados de los suelos no es habitual. Se han obtenido resultados prometedores en los estudios relativos a características como la biomasa, el tiempo de maduración, la tasa de producción de capullos y el éxito de eclosión en la lombriz de tierra *Eisenia fetida*. Los intentos de cría selectiva de nematodos de los suelos para mejorar la atracción a la señal producida por las raíces, la tolerancia a la desecación y la selección del huésped han puesto de manifiesto que manipular rasgos clave puede ser eficaz si la heredabilidad del rasgo seleccionado es lo suficientemente alta o si los rasgos beneficiosos están estabilizados en las líneas endogámicas.

43. Como enfoque novedoso, se están empezando a utilizar microbiomas completos (o consorcios microbianos) en lugar de una sola especie o combinaciones de especies como bioestimulantes, biofertilizantes y bioplaguicidas en la agricultura. En ocasiones, esta técnica resulta ser más eficaz que el uso de una sola especie, probablemente debido a los efectos de las complementariedades. Se han conseguido algunos avances con la reintroducción de comunidades autóctonas de HMA y microbiomas de los suelos completos con vistas a promover la regeneración de la vegetación autóctona.

44. Debido a su complejidad, las aplicaciones del microbioma asociadas a las plantas conllevan algunas dificultades, en particular las relacionadas con la aprobación reglamentaria, que actualmente exige la identificación de la cepa en los productos microbianos, algo que no es posible en el caso de un producto de microbioma que contiene cientos de miles de microorganismos. Es necesario unificar o normalizar los protocolos de investigación para el estudio del microbioma del suelo y mejorar las relaciones interdisciplinarias entre las comunidades encargadas de la investigación del microbioma (humano, ambiental, vegetal y animal).

#### *Utilización en la biorremediación*

45. Se pueden utilizar varias tecnologías para recuperar lugares contaminados con metales pesados. El enfoque tradicional de emplear métodos fisicoquímicos puede ser caro y conllevar la producción de radiación o sustancias químicas peligrosas. La biorremediación es una alternativa inocua, de bajo costo y relativamente ecológica que es sobre todo idónea para eliminar pequeñas concentraciones de contaminantes. Por “biorremediación” se entiende el tratamiento biológico *in situ* que utiliza microorganismos de los suelos y que se emplea principalmente para degradar los contaminantes orgánicos, en particular hidrocarburos de petróleo, disolventes y plaguicidas, y transformar las especies de microelementos a fin de reducir su disponibilidad.

46. La biorremediación a través de la biosorción —es decir, la sorción con materiales biológicos— permite eliminar los metales pesados sin generar lodos tóxicos o contaminantes secundarios. Puede llevarse a cabo con biomasa microbiana tanto viva como muerta. La utilización de células muertas tiene la ventaja de que pueden almacenarse fácilmente en polvo, por lo que no es necesario mantenerlas en las condiciones de crecimiento específicas que precisan los microorganismos vivos. Mientras que la bioacumulación —esto es, la acumulación de contaminantes en el organismo— es un proceso activo que depende del metabolismo microbiano y es parcialmente reversible, la biosorción es un proceso reversible independiente del metabolismo que no requiere mucha energía ni entornos respiratorios ideales. Otro método de biorremediación es la utilización de organismos que puedan transformar las formas tóxicas de un contaminante en formas no tóxicas y menos móviles.

47. Se ha observado que las lombrices de tierra pueden reducir las concentraciones de diversos metales pesados en el suelo. El uso combinado de lombrices de tierra y microorganismos resulta prometedor.

48. Aunque es posible estimular las comunidades autóctonas de microorganismos e invertebrados que ya se encuentran en el suelo con miras a promover la degradación de un contaminante local específico (bioestimulación), el enfoque más habitual consiste en aislar cepas microbianas específicas del lugar contaminado y cultivarlas en el laboratorio para utilizarlas posteriormente en campañas de inoculación del suelo (bioaugmentación).

49. La mejor manera de obtener buenos candidatos microbianos para la biorremediación es recoger muestras *in situ* y aislar las cepas resistentes a los metales pesados con el conjunto de herramientas genéticas específico necesario para transformar el agente contaminante. Cabe cuestionar la introducción de microorganismos que se hayan obtenido mediante la biotecnología o no sean autóctonos, incluso en los lugares contaminados, si bien ofrecen una técnica rápida y fácil para el

tratamiento del fango cloacal o las aguas residuales en sistemas cerrados en los que es posible esterilizar o eliminar los organismos antes de utilizar el material sometido a biorremediación en el campo. Todas las actividades de biorremediación que impliquen el uso de organismos vivos deberían estar sujetas a una evaluación adecuada de los posibles riesgos para la salud de las personas o los animales o para el ecosistema local.

50. Aparte de los metales pesados, los microorganismos también pueden utilizarse para la biorremediación de los suelos contaminados con diversos residuos de plaguicidas. Sin embargo, se dispone de poca información sobre el grado en que estos enfoques se utilizan en la práctica.

51. Muchos de los microorganismos y las lombrices de tierra que se añaden al suelo para reducir la bioacumulación o la biodisponibilidad de sustancias tóxicas también pueden potenciar al mismo tiempo el crecimiento vegetal, la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

## V. MARCOS NORMATIVOS Y JURÍDICOS

52. A escala mundial, la Conferencia de las Partes (COP) en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) decidió en 2002 establecer la Iniciativa Internacional para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica de los suelos<sup>7</sup> en el marco de su programa de trabajo sobre diversidad biológica agrícola. Se invitó a la FAO y a otras organizaciones pertinentes a facilitar y coordinar esa iniciativa<sup>8</sup>. En 2006, la COP aprobó un marco de acción para la iniciativa<sup>9</sup>. En su 15.ª reunión, celebrada en 2022, la COP hizo suyo un nuevo plan de acción para la iniciativa que abarcaba el período comprendido entre 2020 y 2030<sup>10</sup>. En el documento titulado “Progress report on the implementation of the International Initiative for the Conservation and Sustainable Use of Soil Biodiversity”<sup>11</sup> (Informe sobre los progresos realizados con respecto a la aplicación de la Iniciativa Internacional para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica de los suelos) se presenta información actualizada sobre las actividades realizadas en el marco de la iniciativa. En su 15.ª reunión, la COP en el CDB pidió que se realizaran una revisión y análisis estratégicos de los programas del CDB en el contexto del Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal a fin de facilitar su implementación y que se elaboraran proyectos de actualizaciones de esos programas de trabajo para que fueran considerados por la COP en su 16.ª reunión<sup>12</sup>. Asimismo, a escala mundial, en el Marco de acción en materia de biodiversidad para la alimentación y la agricultura<sup>13</sup> se hacen algunas referencias específicas a la biodiversidad y la salud del suelo.

53. En el plano nacional, la mayoría de países incluye algunas medidas relacionadas con el suelo en sus estrategias y planes de acción nacionales en materia de diversidad biológica (EPANDB). No obstante, pocos han adoptado medidas centradas específicamente en la biodiversidad del suelo. En los informes nacionales que presentan al CDB, los países han mencionado las dificultades encontradas a la hora de determinar y comprender la biodiversidad del suelo, así como la falta de conocimientos especializados y de instrumentos en este campo. A menudo no se dispone de los datos para evaluar los efectos de las políticas nacionales.

54. En general, pocos países han establecido marcos normativos y jurídicos eficaces para la utilización sostenible y la conservación de la biodiversidad del suelo y los que lo han hecho proceden principalmente de las regiones desarrolladas del mundo. Sin embargo, pueden encontrarse ejemplos de países que han adoptado medidas normativas relacionadas con la biodiversidad del suelo en todas las regiones del mundo.

55. Los intercambios internacionales de microorganismos e invertebrados de los suelos se ven afectados por marcos jurídicos relacionados tanto con el acceso y la distribución de beneficios como con la protección sanitaria y fitosanitaria. Las medidas de cuarentena sirven para proteger la biodiversidad autóctona del suelo de las amenazas asociadas a las enfermedades y las especies exóticas invasoras.

---

<sup>7</sup> Decisión VI/5.

<sup>8</sup> Decisión VI/5.

<sup>9</sup> UNEP/CBD/COP/DEC/VIII/23.

<sup>10</sup> CBD/COP/DEC/15/28.

<sup>11</sup> CGRFA-19/23/9.1/Inf.2.

<sup>12</sup> CBD/COP/DEC/15/4, párr. 9.

<sup>13</sup> CGRFA-18/21/Report, Apéndice C.



## VI. REDES Y COOPERACIÓN

56. Existe un gran número de redes mundiales y regionales que contribuyen a la gestión de la biodiversidad del suelo, entre las cuales destaca la Alianza mundial sobre los suelos (AMS)<sup>14</sup>. Se trata de un mecanismo reconocido a escala mundial que se estableció en 2012 con la misión de posicionar los suelos en el programa mundial y promover la gestión sostenible de los mismos. La AMS, que tiene su sede en la FAO, trabaja para mejorar la gobernanza del suelo con el objetivo de garantizar suelos productivos que contribuyan a la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático y mitigación de sus efectos, y el desarrollo sostenible para todos<sup>15</sup>.

57. La Red internacional de biodiversidad del suelo (NETSOB)<sup>16</sup> fue creada en diciembre de 2021 con miras a promover la utilización sostenible y la conservación de la biodiversidad del suelo y a reunir a los expertos pertinentes y las iniciativas existentes para contribuir a la puesta en marcha del Observatorio mundial sobre la biodiversidad del suelo (GLOSOB).

## VII. CAPACIDAD EN INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN

58. En los últimos decenios, la escasez de taxónomos y administradores capacitados ha creado un “impedimento taxonómico” en el ámbito de la microbiología de los suelos, esto es, una falta de capacidad para actualizar la información sobre algunos taxones y especies mal clasificadas y para ocuparse de la gran cantidad de información taxonómica que se añade a las bases de datos. Sin embargo, se ha registrado un auge en el número de artículos de investigación, revistas, libros, nuevos diarios, publicaciones especiales, conferencias y redes científicas que abordan temas relacionados con los suelos.

59. Los programas de ciencia ciudadana pueden contribuir de forma importante a la recopilación de datos relacionados con los suelos, en particular sobre la distribución de las especies, con la ayuda de voluntarios que se encarguen de recopilar datos. Se han creado varias iniciativas que han obtenido buenos resultados, pero solo en un número reducido de países.

60. Para fomentar la visibilidad y la sensibilización acerca de la biodiversidad del suelo se deben llevar a cabo actividades de divulgación pública. Promover la adopción de prácticas de gestión mejoradas requiere la capacitación y educación de los agricultores y los propietarios de tierras. Se han emprendido diversas acciones, por ejemplo, se han elaborado sitios web educativos y se ha incluido capacitación sobre temas relacionados con los suelos en la labor de las escuelas de campo para agricultores. No obstante, solo un número limitado de EPANDB incluyen planes específicos para impartir capacitación a los agricultores y a otras partes interesadas sobre prácticas de gestión de suelos o para brindar apoyo a las redes de investigación multidisciplinarias centradas en la conservación de la biodiversidad del suelo.

## VIII. LAGUNAS, NECESIDADES Y POSIBLES MEDIDAS

61. Todavía no se han subsanado importantes lagunas de conocimiento en relación con los microorganismos e invertebrados implicados en los diversos ciclos de los elementos nutritivos de los suelos, por ejemplo, sobre cómo se ven afectados por las prácticas de gestión agrícola, sus funciones en las posibles alternativas al tratamiento convencional de fertilización con fósforo, su papel en la fijación de carbono, los vínculos entre sus funciones en la fijación de nitrógeno y en la producción de metano, y cómo se ven afectados por los genes de la resistencia a los antibióticos. Es necesario mejorar las bases de datos sobre genética microbiana y establecer métodos novedosos para prever y cuantificar las funciones microbianas.

62. Para mejorar la biorremediación es necesario entender mejor las interacciones entre las bacterias, los hongos y los invertebrados. Se debe prestar una mayor atención a las funciones de los invertebrados en la biorremediación de los metales pesados y los plaguicidas, a la mejora de los métodos de biorremediación *in situ*, a la biorremediación de múltiples contaminantes y a la identificación de organismos bioindicadores.

---

<sup>14</sup> <https://www.fao.org/global-soil-partnership/es>.

<sup>15</sup> Véase el documento CGRFA-19/23/9.1/Inf.2.

<sup>16</sup> <https://www.fao.org/global-soil-partnership/netso/en>.

63. Se deben actualizar y ampliar los mapas y las bases de datos que contienen información sobre la situación y las tendencias de la biodiversidad del suelo, así como de amenazas como los organismos invasores y la contaminación del suelo, quizás mediante el uso de nuevas tecnologías como la teledetección, los drones y los robots.
64. Es necesario hacer hincapié en el aumento de la eficacia de productos microbianos como los biofertilizantes en condiciones de campo, la prevención de los efectos no deseados sobre la biodiversidad autóctona y las funciones de los suelos, y la investigación de los posibles beneficios del uso de consorcios microbianos en lugar de una sola cepa. Es preciso determinar qué constituye un suelo “sano” y cómo puede medirse en distintos entornos.
65. Asimismo, se deben comunicar mejor los resultados de las investigaciones, como los relativos a los beneficios de la biodiversidad del suelo y las prácticas agrícolas sostenibles, a los agricultores y al público en general, así como fomentar la participación de las partes interesadas en las actividades de investigación, divulgación y desarrollo.
66. Para mejorar la conservación de los microorganismos e invertebrados de los suelos se deberá conocer mejor su situación (llevando a cabo encuestas previas y un seguimiento frecuente a largo plazo), mejorar el intercambio de información, realizar esfuerzos para que dejen de ignorarse estos organismos en la planificación de la conservación, y determinar la forma de incentivar las prácticas agrícolas que les reporten beneficios. Se necesitan programas de conservación de los cultivos y los árboles autóctonos y de su microbiota e invertebrados autóctonos conexos.
67. A fin de fortalecer la conservación *ex situ*, además de mejorar la comprensión de las funciones microbianas, es necesario elaborar protocolos y tecnologías de alto rendimiento con los que se consigan cultivar grupos “no cultivables” y microbiomas completos. También se debe centralizar el depósito de cepas microbianas. La escasez de fondos y personal capacitado constituye actualmente un gran obstáculo para la conservación *ex situ*. Es fundamental crear colecciones que se especialicen en el cultivo de organismos del suelo ignorados o de organismos que son difíciles de criar o cultivar en condiciones de laboratorio.
68. Se deben elaborar mejores métodos para la restauración de suelos en zonas muy alteradas, por ejemplo, en zonas degradadas por prácticas agrícolas insostenibles. Para ello se necesitará una comprensión integral de las interrelaciones entre las plantas, los invertebrados, los protozoos, las bacterias, los hongos, los virus y las funciones de los suelos conexas. Los métodos deben centrarse en microbiomas y no en un único organismo o en grupos reducidos de organismos. A partir de colecciones *ex situ* se podrían obtener organismos del suelo desaparecidos y volver a introducirlos.
69. Es necesario mejorar algunos reglamentos relativos a la gestión de la biodiversidad del suelo. Por ejemplo, el requisito de registro a nivel de las cepas puede dificultar la introducción de productos con múltiples microorganismos para uso agrícola. Quizás también deban revisarse las normas para la importación de invertebrados. Otros requisitos son, por ejemplo, la mejora del control de calidad en cuanto a la viabilidad de los productos microbianos. Es preciso que los científicos y los administradores de las colecciones de cultivos participen activamente en la formulación de políticas.
70. Algunas de las esferas en las que se necesita una colaboración estratégica, multidisciplinaria e internacional son las siguientes:
- la formulación de estrategias encaminadas a mejorar las actividades de difusión y comunicación dirigidas al público y las partes interesadas, en particular los materiales de información sobre los organismos del suelo y su utilización;
  - la facilitación de estudios y asociaciones interdisciplinarios e internacionales sobre temas relacionados con la biodiversidad del suelo;
  - la transferencia de conocimientos entre los sectores agrícola, académico, industrial y de formulación de políticas con miras a mejorar los productos, la legislación pertinente y los planes de financiación de la investigación;
  - la coordinación de la investigación y la elaboración de protocolos en los que se defina el concepto de microbioma del suelo “sano”, así como para las técnicas de laboratorio y análisis empleadas con mayor frecuencia;

- la armonización de los programas de seguimiento, las redes, las iniciativas y las bases de datos de interés para la biodiversidad del suelo.

71. Entre las posibles medidas para mejorar la conservación y utilización sostenible de los microorganismos e invertebrados de los suelos podrían incluirse las siguientes:

- Es necesario elaborar directrices y procedimientos operativos estándares para la definición de “suelos sanos” y utilizarlos en las evaluaciones comparativas de la biodiversidad del suelo. Estas directrices y procedimientos deben incluir parámetros clave de los suelos claramente definidos, por ejemplo, parámetros biológicos como taxones de microorganismos o invertebrados que indiquen la salud del suelo, y normas de calidad cuidadosamente seleccionadas.
- Se debe alcanzar un consenso sobre: a) las funciones más importantes de los suelos; b) los parámetros que deben incluirse en las evaluaciones de los efectos que los nuevos métodos agrícolas tienen sobre los suelos; c) los parámetros clave relativos a la biodiversidad del suelo, y d) los procedimientos unificados de muestreo, laboratorio y análisis relacionados con la biodiversidad del suelo.
- Las recomendaciones sobre las condiciones ideales del suelo y sobre las mejores prácticas e intervenciones en cuanto a la gestión de suelos en la agricultura deberían basarse en observaciones a largo plazo formuladas en función de distintas condiciones ambientales y regiones geográficas.
- La adopción de prácticas agrícolas prometedoras que favorezcan la conservación de la biodiversidad del suelo debe respaldarse mediante la mejora de la evaluación de su aplicabilidad y su facilidad de ejecución y deberían examinarse los posibles efectos no deseados.
- Se deben mejorar la funcionalidad, la normalización y el mantenimiento de las bases de datos de parámetros relativos a la salud del suelo y características de la biodiversidad del suelo a nivel regional.
- Abordar los complejos problemas que entraña la protección de suelos en los sistemas agrícolas requiere la adopción de enfoques científicos que sean interdisciplinarios e incluyan a diversos especialistas, en particular químicos especializados en medio ambiente, biólogos, agrónomos y taxónomos.
- Es necesario intensificar y mejorar la coordinación entre las numerosas actividades de investigación y redes científicas que se ocupan de la utilización sostenible y la conservación de los microorganismos e invertebrados de los suelos.
- Es fundamental sensibilizar y crear capacidad en cuanto a la conservación de la biodiversidad del suelo a través de la educación y la participación de los productores, así como la mejora de la divulgación pública.
- Las iniciativas de conservación *ex situ* e *in situ* deben estar mejor coordinadas y también deberían abordar las necesidades de cultivo y conservación de los grupos de organismos del suelo que no se han estudiado lo suficiente.
- Es preciso determinar los objetivos a corto y largo plazo relativos a la conservación y la utilización sostenible de los organismos del suelo y establecer una lista de prioridades al respecto.

## IX. ORIENTACIÓN QUE SE SOLICITA

72. La Comisión tal vez desee:

- i) tomar nota del proyecto de estudio y formular observaciones al respecto;
- ii) recomendar que se finalice y difunda el estudio y que se señale a la atención de la AMS y el CDB;
- iii) responder a las conclusiones y recomendaciones del estudio y considerar acciones de seguimiento encaminadas a garantizar que la Comisión y sus miembros sigan reforzando su labor en materia de microorganismos e invertebrados de los suelos, con énfasis en la biorremediación y los organismos del ciclo de los elementos nutritivos;

- iv) recomendar que la FAO tenga en cuenta las conclusiones del estudio en la labor que lleva a cabo en los ámbitos relacionados con la gestión de los microorganismos e invertebrados de los suelos, según proceda;
- v) invitar a los miembros a promover la utilización sostenible y la conservación de los microorganismos e invertebrados de los suelos y a garantizar que se les otorga la debida consideración en los procesos de formulación de políticas y las políticas locales, nacionales, regionales e internacionales;
- vi) alentar a las partes interesadas pertinentes, en particular a las instituciones científicas, a colaborar en las actividades relacionadas con la utilización sostenible y la conservación de los microorganismos e invertebrados de los suelos, en especial en el fomento de la capacidad en los países en desarrollo y los países con economías en transición;
- vii) invitar a los miembros y a las partes interesadas a intensificar la investigación sobre los microorganismos e invertebrados de los suelos, en particular sobre los métodos de conservación y cultivo y sobre las repercusiones que las prácticas agrícolas tienen en los suelos, y a fortalecer los programas de evaluación y seguimiento de la biodiversidad del suelo;
- viii) solicitar a la Secretaría que colabore con los expertos pertinentes en la formulación de recomendaciones específicas sobre los microorganismos e invertebrados de los suelos para someterlas a la consideración de la Comisión en su próxima reunión.