

PRODUCCIÓN ALIMENTARIA

Secuestro de carbono en el suelo y mejora de la salud del suelo en los sistemas de cultivo.

26 February 2026

9 SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS	
SDG1	NO POVERTY
SDG2	ZERO HUNGER
SDG3	HEALTH & WELL-BEING
SDG5	GENDER EQUALITY
SDG6	WATER & SANITATION
SDG8	ECONOMIC GROWTH
SDG10	REDUCED INEQUALITIES
SDG12	RESPONSIBLE CONSUMPTION
SDG15	LIFE ON LAND

5 GLOBAL BIODIVERSITY FRAMEWORKS	
GBF2	ECOSYSTEM RESTORATION
GBF7	POLLUTION REDUCTION
GBF8	CLIMATE RESILIENCE
GBF10	AGRICULTURAL BIODIVERSITY
GBF11	ECOSYSTEM SERVICES

5 GLOBAL ADAPTATION TARGETS	
GGA9D	ECOSYSTEMS
GGA9B	FOOD & AGRICULTURE
GGA9C	HEALTH
GGA9F	LIVELIHOODS
GGA9A	WATER & SANITATION

Después de los océanos, los suelos son el segundo sumidero de carbono activo más grande, con 1,5 billones de toneladas de carbono presentes en la materia orgánica del suelo en todo el mundo. Los suelos son el ecosistema más complejo y biodiverso del mundo, ya que albergan más del 25 % de la diversidad biológica mundial. La biodiversidad del suelo, que abarca desde microbios hasta vertebrados que a veces utilizan los suelos solo durante parte de su vida, contribuye a servicios ecosistémicos como el ciclo de los nutrientes, la filtración del agua, el control de plagas, el almacenamiento de carbono y la estabilización del suelo, todos ellos importantes para el bienestar de las personas y del planeta.

El carbono orgánico del suelo representa el 25 % del potencial total de las soluciones climáticas naturales. Sin embargo, la salud del suelo y la biodiversidad subterránea han sido en gran medida descuidadas por la revolución agrícola industrial del siglo pasado. Las prácticas de gestión de la tierra insostenibles que degradan los suelos han provocado no solo emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino también una

reducción de la capacidad de los suelos para secuestrar carbono y sustentar la productividad agrícola. Entre el 20 % y el 40 % de la superficie terrestre mundial está degradada o se está degradando en mayor o menor medida, lo que afecta negativamente a más de 3200 millones de personas. Por lo tanto, restaurar la salud del suelo es fundamental para mejorar la biodiversidad y la productividad de los paisajes alimentarios, y puede desempeñar un papel importante en la mitigación y la adaptación al cambio climático.

La salud del suelo se refiere a la capacidad del suelo para mantener la productividad, la diversidad y los servicios ambientales de los ecosistemas terrestres. Dependiendo del lugar, un suelo sano puede garantizar una alta productividad, la retención de agua y la salud ambiental en general, lo que conduce a la mejora de las funciones y los servicios del ecosistema. La salud del suelo mantiene todo el ecosistema y está relacionada con la formación de carbono orgánico en el suelo y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO2), el óxido nitroso (N2O) y el metano (CH4). La salud del suelo depende de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de la composición del suelo, que están interrelacionadas. La salud del suelo es un requisito previo para la producción sostenible de cultivos. Comprender y mejorar estas propiedades puede dar lugar a una mejora de la capacidad productiva del suelo, además de aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por lo tanto, salvaguardar la salud del suelo y su capacidad productiva puede ayudar a mejorar la seguridad alimentaria y los resultados nutricionales.

> **Videos**
>
> Cultivo intercalado de anacardos autóctonos y conservación del hábitat natural Colombia
>
> Adoptar prácticas positivas para la naturaleza y aumentar el rendimiento del azúcar Pakistán
>
> Aumento de la producción y el consumo de un superalimento autóctono en Paraguay Paraguay
>
> Política estatal para eliminar los insumos sintéticos y crear un sistema agrícola con múltiples beneficios en la India. India
>
> Café cultivado a la sombra que apoya la naturaleza en México México
>
> Agricultura en armonía con la naturaleza para diversificar los productos en México México
>
> Bosques comestibles que no enfrentan a la agricultura con la naturaleza en los Países Bajos

Medidas concretas para implementar

Los procesos biológicos naturales en suelos sanos permiten el secuestro de carbono y la fertilidad del suelo. Las prácticas agrícolas que favorecen la salud del suelo deben personalizarse o adaptarse a las condiciones locales. Sin embargo, algunas estrategias generales se utilizan en casi todas las zonas climáticas, condiciones de suelo o sistemas de cultivo:

- Minimizar la alteración del suelo (por ejemplo, sin labranza o con labranza mínima) mediante la siembra directa y/o la colocación de fertilizantes, lo que implica cultivar con la mínima alteración del suelo durante y desde la cosecha del cultivo anterior. Se puede utilizar con todos los cultivos y hortalizas anuales y perennes. La siembra directa puede realizarse de forma manual (por ejemplo, con sembradoras de punta) o mecánica (por ejemplo, con sembradoras sin labranza tiradas por animales o tractores), evitando la compactación del suelo. Minimizar la alteración protege contra la compactación del suelo, la pérdida de carbono del suelo por erosión y la rápida descomposición de la materia orgánica del suelo.
- Mantener una cobertura permanente del suelo con mantillo, mantillo vivo o residuos de cultivos. El mantillo es cualquier material orgánico (como hojas en descomposición, corteza o compost) esparcido sobre el suelo y los cultivos para enriquecer y aislar el suelo. El mantillo vivo es un cultivo utilizado en el cultivo intercalado con el fin de proporcionar cobertura al suelo. Los residuos de cultivos o la cobertura viva protegen el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia erosivas y conservan el suelo al reducir la evaporación y suprimir el crecimiento de malas hierbas. Los cultivos de cobertura proporcionan una cobertura vegetal temporal o permanente para controlar la erosión, reducir la escorrentía y la lixiviación de nutrientes, suprimir el crecimiento de malas hierbas,

mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la diversidad biológica. Los agricultores también pueden personalizar las mezclas de cultivos de cobertura y las prácticas de gestión para alcanzar sus objetivos específicos. Mantener la cobertura del suelo protege contra la erosión por el viento y el agua, y las temperaturas superficiales más bajas reducen la tasa de descomposición de la materia orgánica y, por lo tanto, las emisiones de CO2. Los mantillos orgánicos son una fuente de carbono que se añade al suelo y estimula la actividad de los meso y microorganismos.

- El uso de fertilizantes orgánicos, que aumentan la materia orgánica con insumos naturales y reducen o eliminan los insumos de fertilizantes sintéticos. Los insumos orgánicos comunes incluyen compost, estiércol y lecho animal, harina de huesos y harina de sangre, algas marinas y algas, y cultivos de abono verde, especialmente leguminosas. La rotación del ganado en campos en barbecho es un método adicional para la fertilización basada en estiércol. La gestión adaptativa de los nutrientes es importante durante la transición para mejorar la salud del suelo y establecer un nuevo equilibrio, pero depende de los sistemas de cultivo y de la disponibilidad de insumos naturales. Los fertilizantes orgánicos son una fuente de carbono orgánico para acumular carbono en el suelo de forma directa e indirecta, al favorecer un crecimiento más fuerte de las plantas.
- La aplicación de biocarbón en el suelo, si se adapta a las condiciones, puede contribuir al secuestro de carbono, mejorar la calidad del suelo y reforzar la productividad y la producción de cultivos.
- La gestión integrada de la fertilidad del suelo (ISFM), que sigue las 4 R (la fuente adecuada de nutrientes, en la proporción adecuada, en el momento adecuado y en el lugar adecuado) de la gestión de nutrientes, ayuda a optimizar el uso de los recursos. La ISFM es un conjunto de prácticas de gestión de la fertilidad del suelo que requieren el uso de fertilizantes, insumos orgánicos y germoplasma mejorado, combinados con conocimientos sobre cómo adaptar estas prácticas a las condiciones locales. El enfoque tiene por objeto maximizar la eficiencia agronómica de los nutrientes aplicados, mejorar la productividad de los cultivos y, en última instancia, eliminar gradualmente el uso de fertilizantes sintéticos. Especialmente en zonas con suelos pobres, la IFSM puede ayudar a aumentar de forma constante la fertilidad del suelo, ya que los cultivos más productivos pueden aumentar con el tiempo los aportes de carbono orgánico al suelo a partir de las raíces y los residuos vegetales.
- Maximizar la diversificación de especies vegetales implica cultivar una variedad de cultivos que pertenezcan a la misma especie o a especies diferentes en cada zona mediante secuencias y asociaciones de cultivos variadas. El cultivo de plantas con ecosistemas radiculares más profundos y tupidos podría mejorar simultáneamente la estructura del suelo y sus niveles de carbono en estado estacionario, la retención de agua y nutrientes, y el rendimiento de las plantas.
- La reintroducción de una amplia variedad de especies vegetales autóctonas en los sistemas agrícolas puede aumentar considerablemente el almacenamiento de carbono en el suelo. Se ha demostrado que una gran diversidad vegetal mejora las tasas de captura y almacenamiento de carbono en tierras agrícolas degradadas y abandonadas. Esto mejora la fertilidad del suelo y favorece una mayor variedad de servicios ecosistémicos.
- La rotación de cultivos consiste en cultivar una serie de cultivos en la misma zona de forma secuencial, por ejemplo, alternando cereales (como el maíz y el trigo) con legumbres (como las judías). Junto con los cultivos de cobertura, los cultivos comerciales fijadores de nitrógeno (principalmente legumbres, como guisantes o frijoles) pueden proporcionar una fuente adicional de nitrógeno al suelo. Aunque la mayoría de las investigaciones que examinan los beneficios de la rotación de cultivos se centran en la fertilidad del suelo, las investigaciones también confirman que el aumento de la diversidad de cultivos mediante rotaciones multiespecíficas produce un aumento correspondiente de la riqueza de especies del suelo, lo que, junto con un crecimiento más fuerte de las plantas con diferentes profundidades de enraizamiento, puede aumentar la cantidad de carbono almacenado en el suelo.
- Control de la erosión: Minimizar el potencial de erosión mediante sistemas de conservación que protejan los campos de cultivo del viento y la escorrentía del agua mediante terrazas, cortavientos y diques de contorno, así como franjas de protección, teniendo en cuenta la topografía local (las pendientes pronunciadas son vulnerables a la erosión por el agua, mientras que las zonas planas y abiertas son vulnerables a la erosión por el viento). La erosión puede provocar una pérdida neta de

carbono orgánico e inorgánico del suelo.

Las prácticas anteriores suelen integrarse en sistemas más amplios que incluyen otras prácticas que tienen el potencial de aumentar la salud del suelo y la biodiversidad:

- Gestión integrada del estiércol: incluye el manejo óptimo del estiércol del ganado, lo que implica su recolección, almacenamiento, tratamiento y aplicación. Véase Implementación de prácticas sostenibles de manejo del ganado.
- Sistema integrado de cultivos y ganadería: Esto incluye, por ejemplo, la rotación entre el pastoreo del ganado y los cultivos, o el pastoreo del ganado en cultivos de cobertura. Véase Implementación de sistemas integrados de cultivos y ganadería.
- Agroforestería (la interacción entre la agricultura y los árboles, incluido el uso agrícola de los árboles): consiste en plantar árboles o arbustos en tierras de cultivo o pastizales, o en sus alrededores. La agroforestería en tierras degradadas aumenta el carbono orgánico del suelo, mejora la disponibilidad de nutrientes y la fertilidad del suelo, mejora la dinámica microbiana del suelo, reduce la erosión del suelo y mejora la biodiversidad. La implementación de sistemas agroforestales debe basarse en un diseño sofisticado para evitar la competencia entre los árboles y los cultivos y garantizar la sinergia entre las diferentes especies. Véase Implementación de prácticas agroforestales.

Reducir el cambio en el uso de la tierra y la conversión de ecosistemas naturales para la producción de alimentos: Para obtener más detalles sobre las medidas destinadas a abordar los factores directos y subyacentes de la conversión de ecosistemas, véase Reducir el cambio en el uso de la tierra y la conversión de ecosistemas naturales para la producción de alimentos.

Habilitación de medidas de gobernanza

Las siguientes medidas de gobernanza para promover la salud del suelo en los sistemas de cultivo se basan en ejemplos implementados en todo el mundo:

- Garantizar los derechos de tenencia de la tierra: Los administradores de tierras y los agricultores están más dispuestos a invertir en medidas de gestión del suelo si sus derechos sobre la tierra son suficientes y están garantizados. La seguridad de la tenencia puede mejorarse mediante el registro y la titulación de la tierra, pero otras medidas pueden ser más eficaces dependiendo del contexto. Dichas medidas deben ser equitativas y tener en cuenta las cuestiones de género para evitar el acceso desigual a la tierra y permitir que las mujeres sean administradoras eficaces del medio ambiente.
- La participación plena y efectiva y la inclusión de los pueblos indígenas, las comunidades locales y las partes interesadas contribuyen a que las decisiones relacionadas con las tierras y los recursos en los planes y programas gubernamentales existentes se adopten con el consentimiento informado, así como a evaluar las compensaciones económicas, sociales y ambientales durante el diseño de los programas.
- La prestación y promoción de servicios de asesoramiento agrícola, medidas de sensibilización y fomento de la capacidad, por ejemplo a través de cooperativas agrícolas, para la mejora y difusión de prácticas de conservación del suelo, también pueden contribuir a la aplicación de prácticas agrícolas sostenibles para la salud del suelo.
- Ampliar los instrumentos basados en el mercado (por ejemplo, fijar el precio de las emisiones de CO_2 mediante un impuesto sobre el carbono o sistemas de comercio de emisiones y recompensar el secuestro neto de carbono en el suelo con pagos basados en el precio del carbono).
- Reevaluar las subvenciones agrícolas a gran escala que pueden fomentar la sobreproducción o las prácticas de monocultivo, ya que estas pueden afectar a la salud del suelo con el tiempo.

- Reforzar o establecer normativas que aumenten el uso de prácticas que mejoren el carbono orgánico del suelo y eviten la pérdida de suelos orgánicos, lo que puede aumentar las reservas de carbono del suelo (por ejemplo, en Estados Unidos, la Ley Agrícola exige a los agricultores que cumplan determinadas disposiciones para poder acceder a las ventajas del programa del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Entre estas disposiciones se incluye, por ejemplo, el programa de conservación de tierras altamente erosionables, que impone prácticas de conservación del suelo en las tierras agrícolas).
- Ampliación de los programas de certificación gubernamentales (por ejemplo, CARBOCERT en España estableció metodologías para medir el secuestro neto de carbono en suelos agrícolas que pueden certificarse y ofrece a los agricultores la oportunidad de acceder a subvenciones gubernamentales para apoyar la adopción de prácticas de almacenamiento de carbono en el suelo).
- Incentivar los sistemas agroforestales: las políticas podrían promover la adopción de sistemas agroforestales que integren árboles, arbustos y cultivos en la misma tierra. Esta práctica no solo captura cantidades significativas de carbono tanto en la biomasa vegetal como en los suelos, sino que también mejora la biodiversidad al crear hábitats diversos y favorecer la riqueza de especies.
- Integrar la biodiversidad del suelo en agendas políticas más amplias para la seguridad alimentaria, la restauración de los ecosistemas, la adaptación al cambio climático y su mitigación, y el desarrollo sostenible.
- Integrar la rehabilitación del suelo en las políticas urbanas, por ejemplo, promoviendo el uso de biosólidos recuperados de los residuos sólidos urbanos como abono para mejorar la salud del suelo en los sistemas agrícolas urbanos. Para más información, véase Creación de sistemas alimentarios circulares en las ciudades.

Herramientas y guías para la implementación

A continuación se enumeran algunas herramientas y guías completas para ayudar a mejorar la salud del suelo en los sistemas de cultivo:

Herramientas

Herramienta de balance de carbono ex ante de la FAO

Un sistema de evaluación desarrollado por la FAO que ayuda a los diseñadores de proyectos a estimar y priorizar actividades con buenos beneficios económicos y de mitigación del cambio climático. La herramienta puede utilizarse para la gestión sostenible de la tierra, el desarrollo de cuencas hidrográficas, la gestión forestal, la seguridad alimentaria, la intensificación de los cultivos y la producción ganadera.

Enlace: https://www.fao.org/in-action/epic/ex-act-tool/suite-of-tools/ex-act/es/

Panel de datos sobre el suelo de África

Datos e información sobre el suelo a escala continental relevantes para la intensificación sostenible de la agricultura en África.

Enlace: https://africasis.isric.org

Metodología Verra para la mejora de la gestión de las tierras agrícolas (VM0042)

VM0042 cuantifica las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero y las eliminaciones de carbono orgánico del suelo que se derivan de la mejora de las prácticas de gestión de las tierras agrícolas (ALM). La ALM incluye prácticas como la gestión del agua, la gestión de los residuos de biomasa, la mejora del uso de fertilizantes, la reducción de la labranza, las prácticas de pastoreo y las prácticas de siembra y cosecha de cultivos comerciales y de cobertura.

Enlace: https://verra.org/methodologies/vm0042-improved-agricultural-land-management-v2-2/

Guías

Iniciativa 4p1000

Una iniciativa global que facilita acciones concretas en torno a la gestión de la tierra y el suelo, fomentando una transición hacia una agricultura regenerativa, productiva y resiliente que beneficie a los agricultores y ganaderos.

Enlace: https://4p1000.org/?lang=en

Asociación Mundial para los Suelos de la FAO

Un mecanismo global para incluir los suelos en la Agenda Global y promover la gestión sostenible de los suelos. La Alianza trabaja para mejorar la gobernanza de los suelos y garantizar su productividad con miras a la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático y su mitigación, y el desarrollo sostenible.

Enlace: https://www.fao.org/global-soil-partnership/en/

Red de Observación de la Biodiversidad del Suelo GEO BON (Soil BON)

Constituido como una Red Global de Observación de la Biodiversidad del Suelo (Soil BON), este grupo trabaja en colaboración con la Iniciativa Global para la Biodiversidad del Suelo (GSBI) y otros socios globales y regionales para poner a disposición las observaciones biológicas y ecosistémicas del suelo necesarias para garantizar que los recursos vivos del suelo se conserven y gestionen de forma sostenible y puedan satisfacer las necesidades humanas esenciales.

Enlace: https://geobon.org/bons/thematic-bon/soil-bon/

Libro blanco de GIZ «El suelo primero: impulsar la transformación del sistema alimentario desde la base»

El documento se basa en las experiencias de la iniciativa ProSoil de la GIZ y en entrevistas con expertos. Ofrece orientación y recomendaciones, así como una reflexión exhaustiva sobre las lecciones aprendidas. En él se articulan las mejores prácticas y las soluciones escalables que surgen de los esfuerzos locales de protección y rehabilitación del suelo, y se vinculan con las agendas globales.

Enlace:
https://www.giz.de/en/downloads/giz2025-en-rooted-in-soil-advancing-agricultural-and-food-system-transformation.pdf

Sinergias

Mejorar la salud del suelo en los sistemas de cultivo mediante el secuestro de carbono en el suelo también puede contribuir a avanzar en los objetivos del Marco de los Emiratos Árabes Unidos para la Resiliencia Climática Global, el Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal (KM-GBF) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Beneficios de la mitigación del cambio climático

La mejora de la gestión del carbono del suelo en las tierras de cultivo tiene un gran potencial de mitigación de las emisiones. La FAO estima que su potencial técnico de mitigación a nivel mundial (es decir, lo que teóricamente se puede lograr con las técnicas actuales) es de 1,9 (0,4-6,8) Gt de CO2 al año. A nivel de explotación agrícola, se ha estimado que el secuestro de carbono orgánico del suelo en las tierras de cultivo oscila entre 0,1 y 0,75 toneladas de carbono por hectárea al año. Sin embargo, cabe señalar que el contenido de carbono no aumenta infinitamente, sino que alcanza un nivel de saturación a partir del cual ya no sigue aumentando. También puede volver a liberarse si no se mantienen las prácticas o si se produce un cambio climático.

Dependiendo del contexto, la mejora de la salud del suelo puede ayudar a evitar emisiones, por ejemplo, mediante:

- Evitar la liberación de CO2 debido a la alteración del suelo o la erosión, mediante prácticas como la adición de mantillos orgánicos o la diversificación y rotación de cultivos.
- Gestión óptima de las emisiones de nitrógeno mediante enfoques como la gestión integrada del estiércol o la agrosilvicultura, que pueden reducir la cantidad de fertilizantes sintéticos aplicados y, por lo tanto, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a su ciclo de vida.

Beneficios de la adaptación al cambio climático

Entre las siete áreas clave de adaptación propuestas en el Marco de los Emiratos Árabes Unidos para la Resiliencia Climática Global, el secuestro de carbono en el suelo y la mejora de la salud del suelo en los sistemas de cultivo pueden contribuir directamente a:

- **Objetivo 9a (Agua y saneamiento:)** Los suelos con mayor contenido de carbono orgánico tienen una mejor capacidad de retención de agua, lo que reduce el riesgo tanto de sequías como de inundaciones. La mejora de la estructura del suelo ayuda a filtrar y purificar el agua y reduce la escorrentía y la erosión del suelo. Esto contribuye a un suministro de agua más limpio y resistente, lo que se traduce en mejores resultados en materia de saneamiento y agua potable para las comunidades. Las medidas para mejorar la salud del suelo, como el uso adecuado de fertilizantes orgánicos, también pueden reducir la dependencia de los fertilizantes químicos, lo que reduce la contaminación del agua. A su vez, los suelos más sanos son más capaces de prestar servicios ecosistémicos como el ciclo de nutrientes y el control de plagas, lo que reduce aún más la necesidad de aplicar insumos sintéticos.
- **Objetivo 9b (Alimentación y agricultura):** Mejorar la salud del suelo aumenta la materia orgánica y la fertilidad de los suelos, lo que puede conducir a rendimientos agrícolas más altos y estables, especialmente en regiones áridas. Esto mejora la seguridad alimentaria y hace que los sistemas agrícolas sean más resistentes a las crisis climáticas, como las sequías.
- **Objetivo 9c (Salud):** Las medidas de gestión del suelo pueden promover el cultivo de alimentos nutritivos, en particular una variedad de legumbres. Unos suelos más sanos también pueden producir cultivos más nutritivos, lo que mejora la calidad de la alimentación y la salud pública. La reducción del uso de productos agroquímicos como resultado de una mejor gestión del suelo disminuye el riesgo de contaminación del agua y los alimentos, lo que da lugar a comunidades más sanas y resilientes. Además, los sistemas alimentarios resilientes pueden ayudar a prevenir la malnutrición durante las perturbaciones relacionadas con el clima. Las bacterias y los hongos del suelo son también las principales fuentes de varios tipos de medicamentos, especialmente

antibióticos.

- **Objetivo 9d (Ecosistemas):** El aumento del carbono orgánico del suelo favorece la biodiversidad tanto en la superficie como bajo tierra. Los suelos sanos y biodiversos contribuyen a varios servicios ecosistémicos, como la polinización, el control de plagas, la regulación del clima y el ciclo del agua y los nutrientes, lo que hace que los ecosistemas sean más resistentes al cambio climático. Los suelos más sanos son menos propensos a la degradación, son cada vez más resistentes a las perturbaciones ambientales y se asocian con una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Objetivo 9f (Medios de vida):** Al aumentar la productividad y la resiliencia de los suelos, el secuestro de carbono y la mejora de la salud del suelo aumentan la estabilidad económica, lo que contribuye a garantizar los medios de vida y reducir la pobreza. Las medidas para mejorar la salud del suelo, como la diversificación de cultivos, la agrosilvicultura o la gestión integrada de cultivos y ganado, también pueden proporcionar oportunidades de ingresos adicionales.
- Para más información relevante, véase Implementación de sistemas integrados de cultivo y ganadería, Implementación de prácticas agroforestales, Implementación de prácticas de gestión mejoradas en pastizales e Implementación de prácticas de producción alimentaria respetuosas con la naturaleza.

Beneficios de la biodiversidad

Mejorar la salud del suelo en los sistemas de cultivo puede ayudar a avanzar en múltiples objetivos del KM-GBF. Entre ellos se incluyen:

- **Objetivo 2 (Restaurar el 30 % de todos los ecosistemas degradados):** Mejorar la salud del suelo en los sistemas de cultivo contribuye directamente a este objetivo mediante la restauración de las tierras agrícolas degradadas. La mejora de las prácticas de gestión del suelo puede mejorar las funciones del ecosistema, la biodiversidad y la integridad ecológica en estas zonas. Al aumentar el contenido de materia orgánica y promover la biodiversidad del suelo, esta opción política se ajusta estrechamente a los objetivos de restauración descritos en la meta.
- **Objetivo 7 (Reducir la contaminación a niveles que no sean perjudiciales para la biodiversidad):** Al mejorar la estructura del suelo y aumentar la actividad biológica, las prácticas que fomentan la salud del suelo mejoran la retención y el ciclo de los nutrientes, lo que puede reducir el exceso de nutrientes que se pierden en el medio ambiente y disminuir la dependencia de los insumos químicos (y, por lo tanto, la contaminación que estos generan).
- **Objetivo 8 (Minimizar los efectos del cambio climático en la biodiversidad y aumentar la resiliencia):** El secuestro de carbono en el suelo puede contribuir significativamente a la mitigación del cambio climático al compensar hasta un 4 % de las emisiones anuales mundiales de gases de efecto invernadero provocadas por el ser humano durante el resto del siglo. Además, los suelos pueden contribuir a la regulación del microclima a través de su impacto en los ciclos hídricos regionales. Los suelos más sanos y con mayor biodiversidad también son más resilientes a los efectos del cambio climático, como las sequías, las inundaciones y las enfermedades, ya que pueden desempeñar funciones ecosistémicas cruciales de manera más eficaz.
- **Objetivo 10 (Mejorar la biodiversidad y la sostenibilidad en la agricultura, la acuicultura, la pesca y la silvicultura):** La implementación de prácticas que mejoran la salud del suelo mejora inherentemente la biodiversidad del suelo, así como la fertilidad y los servicios ecosistémicos que proporciona un suelo sano. Estas prácticas, como la rotación de cultivos y el laboreo mínimo o nulo, pueden mejorar la productividad y reducir la necesidad de insumos químicos. Además, el aumento de la retención de agua en el suelo puede reducir la necesidad de riego, lo que a su vez contribuye a la gestión sostenible del agua. Véase también Fortalecimiento de la gobernanza del uso de la tierra y el agua dulce.
- **Objetivo 11 (Restaurar, mantener y mejorar las contribuciones de la naturaleza a las personas):** Los suelos sanos son más productivos y, al mejorar la salud del suelo, esta opción política mejora las contribuciones de la naturaleza a las personas, incluyendo una mejor regulación y purificación del agua, una mayor productividad agrícola y una mayor resiliencia climática.

Otros beneficios para el desarrollo sostenible

Mejorar la salud del suelo en los sistemas de cultivo mediante una gestión sostenible del suelo puede contribuir al cumplimiento de múltiples ODS, ya que puede:

- **ODS 1 (Fin de la pobreza) y 8 (Trabajo decente y crecimiento económico):** mantener y aumentar la productividad agrícola y garantizar los medios de vida, haciendo que los suelos sean más productivos y resistentes al clima y otras crisis medioambientales. Una mayor seguridad alimentaria, hídrica y nutricional también contribuye a reducir la pobreza.
- **ODS 2 (Hambre Cero):** reforzar la seguridad alimentaria y nutricional promoviendo el cultivo de productos más nutritivos, mejorar la salud general de los cultivos y estabilizar o aumentar los rendimientos, especialmente en las regiones áridas.
- **ODS 3 y 6 (Salud y bienestar, y Agua limpia y saneamiento):** mejorar la seguridad nutricional, proporcionar fuentes de medicamentos y mitigar la contaminación del agua por insumos agrícolas sintéticos, además de mejorar la retención, la infiltración y la purificación del agua.
- **ODS 5 y 10 (Igualdad de género y reducción de las desigualdades):** proporcionar mayor seguridad en la tenencia y oportunidades de ingresos y gestión ambiental a los pequeños agricultores y administradores de tierras, incluidas las mujeres y los pueblos indígenas, si las intervenciones se implementan de manera sensible a la equidad.
- **ODS 12 (Consumo y producción responsables):** aumentar la productividad de los cultivos, mejorar la gestión del agua y la absorción de nutrientes por parte de los cultivos, y apoyar la biodiversidad, reduciendo así los efectos negativos de la producción y el consumo de alimentos sobre el medio ambiente.
- **ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres):** proteger la biodiversidad subterránea y superficial. Esto es especialmente importante, ya que el suelo alberga más del 25 % de la diversidad biológica mundial.

Principales retos de implementación, posibles externalidades negativas y compensaciones

El éxito de la mejora de la salud del suelo en los sistemas de cultivo depende del diseño y la aplicación eficaz de intervenciones específicas. Sin embargo, estas iniciativas pueden encontrarse con dificultades tanto técnicas como no técnicas, y pueden tener implicaciones que comprometan los resultados previstos, entre ellas:

- Altos costes iniciales de inversión asociados a la maquinaria y costes laborales, dependiendo de las prácticas de gestión elegidas.
- La falta de financiación (por ejemplo, crédito organizativo) puede obstaculizar el desarrollo y las actividades de capacitación de los agricultores.
- Políticas organizativas incoherentes y falta de instalaciones organizativas para prestar servicio a los agricultores.
- Dificultades para mantener los residuos de cultivos en las explotaciones agrícolas (por ejemplo, lo que provoca brotes de plagas). En otros casos, los residuos de cultivos son una fuente de ingresos para los agricultores o se utilizan como pienso para el ganado, combustible o material de construcción, por lo que se retiran de los campos.
- Posibles reducciones del rendimiento en las regiones más frías, lo que afectaría a los ingresos de los agricultores, sobre todo durante un período de transición.
- Inmovilización de nitrógeno si se incorporan materiales con una alta relación carbono-nitrógeno.

Esto aumenta la actividad biológica, lo que provoca una mayor demanda de nitrógeno.

- El albedo (reflectividad de la superficie) puede disminuir en algunos suelos a medida que aumenta el contenido de materia orgánica del suelo, lo que puede aumentar la absorción de la radiación solar en el suelo y, por lo tanto, tener un efecto de calentamiento.
- Aumento de la lixiviación de nitrógeno de suelos ricos en materia orgánica, lo que puede afectar a la calidad del agua.
- Dependiendo de las prácticas de gestión del suelo, aumenta la necesidad de deshierbe y/o el uso de herbicidas en los sistemas sin labranza.
- Es importante tener en cuenta que un cambio en las prácticas de gestión del suelo y el consiguiente aumento del carbono orgánico del suelo no conduce necesariamente al secuestro de carbono (y, por lo tanto, a emisiones negativas). En los suelos que se encuentran en un estado de pérdida continua de carbono, la acumulación de carbono solo puede dar lugar a una reducción de las pérdidas de carbono, en lugar de a un secuestro real, por lo que debe contabilizarse de forma diferente.
- Para más información relevante, consulte« » (Implementación de sistemas integrados de cultivos y ganadería), «Implementingintegrated crop-livestock systems» (Implementación de sistemas integrados de cultivos y ganadería), «Implementing agroforestry practices» (Implementación de prácticas agroforestales), «Implementing improved management practices in grasslands» (Implementación de prácticas de gestión mejoradas en pastizales) e «Implementing nature-positive food production practices» (Implementación de prácticas de producción alimentaria positivas para la naturaleza).

Medidas para minimizar los retos y las posibles externalidades negativas y compensaciones

La integración de las siguientes medidas en un marco integral y coherente puede ayudar a abordar los retos de implementación y minimizar las posibles compensaciones:

- Es importante tener en cuenta que un cambio en las prácticas de gestión del suelo y el consiguiente aumento del carbono orgánico del suelo no conduce necesariamente al secuestro de carbono (y, por lo tanto, a emisiones negativas). En los suelos que se encuentran en un estado de pérdida continua de carbono, la acumulación de carbono puede dar lugar a una reducción de las pérdidas de carbono, por lo que debe contabilizarse de forma diferente.
- Incorporar prácticas sostenibles de gestión del suelo en los ministerios pertinentes y en las instituciones locales y regionales, y garantizar que cuenten con los recursos necesarios —incluidos extensionistas capacitados y motivados— para proporcionar una asistencia eficaz a los agricultores.
- Aumentar las medidas para reducir las barreras de conocimiento que impiden la gestión sostenible del suelo y las prácticas de secuestro de carbono, como los servicios de asesoramiento gubernamentales y las inversiones en investigación y desarrollo, incluido el diseño conjunto de prácticas con los agricultores en laboratorios vivientes.
- Proporcionar crédito a los agricultores para que compren equipos e insumos a través de bancos y agencias de crédito a tipos de interés razonables.
- Ofrecer apoyo financiero (líneas de crédito asequibles) y práctico para la medición del secuestro neto de carbono en el suelo y otras prácticas de reducción a los agricultores que deseen participar en programas de créditos de carbono o mercados de compensación para fomentar las inversiones. La iniciativa CompensACTION del G7 proporciona directrices para los proyectos de compensación de carbono en la agricultura.
- Reducir los aranceles sobre los equipos importados para el manejo del suelo con el fin de fomentar

y promover su disponibilidad. Con el tiempo, la producción local de estos equipos aumentará su disponibilidad, permitirá adaptarlos a las necesidades locales, creará puestos de trabajo y reducirá los costos.

- Ampliación del apoyo para el desarrollo de capacidades en materia de salud del suelo a todos los niveles.
- Diseño e implementación de rotaciones de cultivos según los distintos objetivos, por ejemplo: producción de alimentos y forraje, producción de residuos, control de plagas y malas hierbas, absorción de nutrientes o mezcla/cultivo biológico del subsuelo.
- Uso de semillas adecuadas/mejoradas de variedades adaptadas para obtener altos rendimientos, así como una elevada producción de biomasa residual de las partes aéreas y subterráneas, en función de las condiciones del suelo y el clima.
- Evaluación holística del impacto y supervisión, notificación y verificación rigurosas de medidas como la aplicación de biocarbón para mejorar la capacidad de secuestro de carbono del suelo.
- Ampliar las subvenciones y otros incentivos para compensar la reducción del rendimiento (por ejemplo, acceso a mercados sostenibles de alta calidad).
- Intervenir en el lado de la demanda informando e incentivando a los consumidores para que adapten su comportamiento.
- Para más información relevante, consulte« » (Implementación de sistemas integrados de cultivos y ganadería), «Implementingintegrated crop-livestock systems» (Implementación de sistemas integrados de cultivos y ganadería), «Implementing agroforestry practices» (Implementación de prácticas agroforestales), «Implementing improved management practices in grasslands» (Implementación de prácticas de gestión mejoradas en pastizales) e «Implementing nature-positive food production practices» (Implementación de prácticas de producción alimentaria positivas para la naturaleza).

Herramientas, indicadores y marcos de seguimiento

El seguimiento eficaz de los esfuerzos para secuestrar carbono en el suelo y mejorar la salud del suelo en los sistemas de cultivo se basa en herramientas de monitoreo sólidas, indicadores claros y marcos estructurados que capturen tanto el progreso de la implementación como los resultados relacionados con la biodiversidad y el clima.

Indicadores para supervisar los resultados en materia de biodiversidad

Las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica acordaron un conjunto completo de indicadores principales, componentes y complementarios para seguir los avances hacia los objetivos del KM-GBF. Algunos de los siguientes indicadores también podrían utilizarse para supervisar la aplicación de esta opción política. Estos indicadores son:

KM-GBF Objetivo	Indicador de titular o binario « »	Desagregaciones opcionales	Indicador componente	Indicador complementario
Objetivo 2			2.CT.1 Proporción de tierra degradada sobre la superficie total de tierra	

KM-GBF Objetivo	Indicador de titular o binario « »	Desagregaciones opcionales	Indicador componente	Indicador complementario
Meta 7	7.2 Concentración de plaguicidas en el medio ambiente y/o toxicidad total agregada aplicada	Para el indicador 7.2: Por tipo de plaguicida Por uso de productos plaguicidas en cada sector	7.CT.1 Balance de nutrientes de las tierras de cultivo	
Meta 8	8.b Número de países con políticas para minimizar el impacto del cambio climático y la acidificación de los océanos en la biodiversidad y para minimizar los impactos negativos y fomentar los positivos de la acción climática en la biodiversidad	B.1 Desagregación: Servicios totales de regulación climática proporcionados por los ecosistemas y por tipo de ecosistema		8.CY.1 Reservas de biomasa aérea en los bosques (toneladas/ha) 8.CY.2 Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero procedentes del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura
Meta 10	10.1 Proporción de superficie agrícola dedicada a la agricultura productiva y sostenible			10.CY.1 Índice de agrobiodiversidad 10.CY.2 Reservas de carbono orgánico del suelo 2.CT.1 Proporción de tierra degradada sobre la superficie total
Meta 11	B.1 Servicios prestados por los ecosistemas			

Herramientas para supervisar los resultados en materia de biodiversidad

Marco de vigilancia de la degradación de la tierra del CIFOR para evaluar la salud del suelo, la degradación de la tierra y la diversidad de la vegetación

Un método integral para evaluar la salud del suelo y la tierra, desde el campo hasta el uso de análisis de datos nuevos y avanzados. La salud de la tierra se refiere generalmente al grado en que la integridad del suelo, la vegetación, el agua y el aire, así como los procesos ecológicos, están equilibrados y se mantienen.

Enlace: https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf/brochures/2023-LDSF-Brochure.pdf

Para SoilSTAT de la FAO

En colaboración con la Alianza Mundial para el Suelo (GSP), la FAO está diseñando SoilSTAT, un sistema para supervisar, pronosticar e informar periódicamente sobre el estado de los recursos edáficos mundiales, incluida la biodiversidad del suelo.

Enlace: https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/soilstat/en/

Herramienta de la FAO para la evaluación del rendimiento agroecológico (TAPE)

Este informe proporciona indicadores para evaluar la salud del suelo y la agrobiodiversidad.

Enlace: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8ad4bb1b-c06d-4260-835e-564698493149/content

Guía de evaluación de la salud del suelo del NIAB

En colaboración con el Instituto para el Liderazgo en Sostenibilidad (CISL) de la Universidad de Cambridge y ASDA, este documento ofrece orientación sobre cómo evaluar de la forma más eficaz los indicadores de salud del suelo en las explotaciones agrícolas, con el fin de supervisar la capacidad continua del suelo para funcionar como un ecosistema vivo vital que sustenta a las plantas, los animales y los seres humanos.

Enlace:
https://www.niab.com/sites/default/files/imce_uploads/VirtualEvents/ASDA%20soil%20health%20assessment%20handbook%20-%20May%202020.pdf

Guía del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para la evaluación de la salud del suelo en campos de cultivo

Con algunas adaptaciones, esta herramienta puede proporcionar medios cualitativos para realizar un seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo o comparar campos sometidos a diferentes prácticas de gestión. Entre los indicadores se incluyen, por ejemplo, la infiltración de agua, la estructura del suelo, las raíces de las plantas y la diversidad biológica.

Enlace: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Cropland_InField_Soil_Health_Assessment_Guide.pdf

Herramientas para supervisar los resultados climáticos

Proyecto de Beneficios del Carbono (CBP)

El CBP proporciona herramientas para estimar el impacto de la agricultura, la silvicultura y otras actividades de uso de la tierra en los cambios en las reservas de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Enlace: https://cbp.nrel.colostate.edu

Herramienta MRV de EO4CarbonFarming

La herramienta MRV de EO4CarbonFarming incluye funciones para supervisar el carbono en las plantas y el suelo, informar sobre las medidas necesarias, como la rotación de cultivos y la siembra de cultivos intermedios, y verificarlas. Además, se puede evaluar su impacto. Esto permite evaluar el rendimiento de las medidas de sostenibilidad y las prácticas agrícolas más resilientes. La determinación fiable de las reservas de carbono en el campo es fundamental para supervisar los efectos climáticos de la agricultura de carbono y desarrollar modelos de negocio.

Enlace: https://business.esa.int/projects/eo4carbonfarming

Monitorización del carbono del suelo por la FAO mediante encuestas y modelos

Este estudio presenta cómo diseñar dicho inventario y analiza enfoques alternativos, incluyendo sus ventajas e

inconvenientes, para supervisar los cambios en las reservas de carbono del suelo. Además, ofrece un ejemplo de aplicación práctica de un estudio del suelo, concretamente el inventario de las reservas de carbono del suelo del proyecto nacional de supervisión y evaluación de los recursos forestales de la República Unida de Tanzania.

Enlace: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/141b5dcb-4ecb-46c2-b72e-38a5903e91bb/content

Manual del Banco Mundial sobre MRV del carbono orgánico del suelo para paisajes agrícolas

Este libro de referencia propone un marco para los sistemas de carbono del suelo en el que la evaluación y el seguimiento a escala de proyecto se ajustan a las escalas paisajística y jurisdiccional, así como a los compromisos nacionales.

Enlace:
https://documents1.worldbank.org/curated/en/948041625049766862/pdf/Soil-Organic-Carbon-MRV-Sourcebook-for-Agricultural-Landscapes.pdf

Costes de implementación

Los costos estimados varían según el país debido a las condiciones socioeconómicas y las capacidades institucionales específicas de cada región, pero una estimación comunicada incluye:

- El Sexto Informe de Evaluación del IPCC de 2022 estima que, con las tecnologías actuales, es teóricamente posible lograr una mitigación de 3,4 (1,4-5,5) Gt de CO2eq al año mediante la gestión del carbono del suelo en tierras de cultivo, pastizales, agrosilvicultura y biocarbón, con un coste anual de 100 dólares estadounidenses por tonelada de CO2eq para el periodo 2020-2050.

Intervención en la práctica

Varios proyectos destacados sirven como ejemplos exitosos de implementación de la captura de carbono, o están intentando implementarla:

- Francia está implementando un programa denominado «4 por 1000», lanzado en 2015, para mejorar el secuestro de carbono en el suelo y la biodiversidad a través de prácticas agrícolas. El enfoque del país, tal y como se describe en su NDC, incluye varias medidas que contribuyen tanto al secuestro de carbono como a la mejora de la biodiversidad. Se espera que estas medidas sequesten alrededor de 5,7 megatoneladas de carbono en los 30 cm superiores del suelo durante el periodo de 30 años que dura el programa, en unas 28 500 hectáreas de tierra a escala nacional. Esto respalda diversos servicios ecosistémicos relacionados con la adaptación al cambio climático, la seguridad alimentaria y la mejora de la biodiversidad.
- GIZ ProSoil: Entre 2014 y 2027, la GIZ y el Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) están llevando a cabo un programa para conservar y rehabilitar el suelo, mejorar la seguridad alimentaria y el uso sostenible de la tierra en seis países africanos y la India. ProSoil apoya a sus socios en la implementación generalizada de prácticas agroecológicas climáticamente inteligentes, ofreciendo a los agricultores formación y orientación sobre cómo reducir la erosión del suelo y mejorar y mantener su fertilidad. Una vez completado, el proyecto conservará o rehabilitará

816 000 hectáreas de suelo, reforzará la resiliencia frente a la sequía, aumentará el rendimiento de los cultivos y contribuirá a la seguridad alimentaria y a los ingresos. En 2025 también se inició un proyecto de seguimiento.

- El Programa de Investigación sobre el Maíz del CGIAR muestra que la agricultura de conservación reduce la vulnerabilidad de los agricultores a los riesgos climáticos en toda África meridional. La adopción de prácticas de agricultura de conservación por parte de los agricultores abarca más de 627 000 hectáreas en Malawi, Zambia y Zimbabue, con beneficios en el rendimiento de entre el 30 % y el 50 % (hasta un 140 %) en condiciones de sequía. Los resultados han enriquecido los debates sobre la agricultura climáticamente inteligente y las políticas asociadas en África meridional.
- El proyecto «Intensificación sostenible de los sistemas de cultivo de maíz y legumbres en África oriental y meridional » (SIMLESA), financiado por el Centro Australiano de Investigación Agrícola Internacional (ACIAR), ha aumentado significativamente el rendimiento de los cultivos alimentarios hasta un 38 %, así como los ingresos, al tiempo que ha mantenido la salud del suelo en los países donde se ha aplicado (Etiopía, Kenia, Malaui, Mozambique, Ruanda, Tanzania y Uganda).

Referencias

1. Abagandura, G. O., Şentürklü, S., Singh, N., Kumar, S., Landblom, D. G. y Ringwall, K. (2019). Impactos de la diversidad de la rotación de cultivos y el pastoreo en un sistema integrado de cultivos y ganadería sobre los flujos de gases de efecto invernadero en la superficie del suelo. *PLoS ONE*, *14*(5). Consultado el 6 de febrero de 2024, en https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6530893/
2. Al-Kaisi, M. M. y Yin, X. (2005). Efectos del laboreo y los residuos de cultivos sobre el carbono del suelo y las emisiones de dióxido de carbono en rotaciones de maíz y soja. *Journal of Environmental Quality*, *34*(2), 437-445.
3. Ataei, P., Sadighi, H., Aenis, T., Chizari, M. y Abbasi, E. (2021). Retos de la aplicación de la agricultura de conservación en Irán: una visión general desde la perspectiva de expertos y agricultores. *Air, Soil and Water Research*, *14*, 1178622120980022.
4. Bhan, S., y Behera, U. K. (2014). Agricultura de conservación en la India: problemas, perspectivas y cuestiones políticas. *International Soil and Water Conservation Research*, *2*(4), 1-12.
5. Calvo, F. (s. f.). Cómo las políticas agrícolas pueden ayudar a proteger nuestros suelos. *Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible*. Consultado el 7 de febrero de 2024, en https://www.iisd.org/articles/analysis/farm-policies-protect-soils
6. Carbon Standards International. (2023). Global Artisan C-Sink: Directrices para la certificación de sumideros de carbono para la producción artesanal de biocarbón (Versión 1.0). https://www.carbon-standards.com/en/standards/service-505~global-artisan-c-sink.html
7. Carvalho, J. L. N., Raucci, G. S., Frazão, L. A., Cerri, C. E. P., Bernoux, M. y Cerri, C. C. (2014). Rotación de cultivos y pastos: una estrategia para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en el Cerrado brasileño. *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*, *183*, 167-175.
8. CGIAR. (s. f.). Agricultura de conservación en África oriental y meridional. Mensajes principales. Consultado el 29 de enero de 2026, en https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/f20a1dac-02c9-472b-a342-f2591f6ab0b0/content
9. Clardy, J., Fischbach, M. y Currie, C. (2009). La historia natural de los antibióticos. *Current Biology : CB*, *19*(11), R437–R441.
10. Climate Smart Agriculture Sourcebook. (s. f.). Consultado el 6 de febrero de 2024, en https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b7-soil/cha

pter-b7-3/en/

11. La agricultura de conservación reduce los riesgos climáticos en toda África meridional. (s. f.). *CGIAR*. Consultado el 7 de febrero de 2024, en https://www.cgiar.org/annual-report/performance-report-2020/conservation-agriculture-reduces-climate-risks-throughout-southern-africa/
12. Agricultura de contorno: una visión general | ScienceDirect Topics. (s. f.). Consultado el 13 de febrero de 2026, en https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/contour-farming#chapters-articles
13. Dickinson, D., Balduccio, L., Buysse, J., Ronsse, F., Huylenbroeck, G. van y Prins, W. (2015). Análisis de coste-beneficio del uso de biocarbón para mejorar el cultivo de cereales. *GCB Bioenergy*, *7*(4), 850-864.
14. Diop, S., Cardinael, R., Lauerwald, R., Ferlicoq, M., Thierfelder, C., Chikowo, R., et al. (2024). La interacción entre el tipo de suelo y el sistema de cultivo en la dinámica del albedo tiene un impacto contrastado en la mitigación del cambio climático [Conference_item]. Consultado el 28 de enero de 2026, en https://agritrop.cirad.fr/609270/
15. Unión Europea DG-ENV. (2011). *EL SUELO: la parte oculta del ciclo climático*. Obtenido de https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/soil_and_climate_en.pdf
16. FAO. (2012). Seguimiento del carbono del suelo mediante estudios y modelos: descripción general y aplicación en la República Unida de Tanzania (Documento forestal n.º 168). https://www.fao.org/4/i2793e/i2793e00.htm
17. FAO. (2019). *Herramienta TAPE para la evaluación del rendimiento agroecológico 2019: proceso de desarrollo y directrices para su aplicación.* Obtenido de https://www.fao.org/3/ca7407en/ca7407en.pdf
18. FAO. (2019). Herramienta para la evaluación del desempeño agroecológico (TAPE): Proceso de desarrollo y directrices para su aplicación – Versión de prueba. FAO. https://www.fao.org/agroecology/database/detail/en/c/1430122/
19. FAO. (2021). *Opciones de mitigación del cambio climático en los sistemas agroalimentarios: Resumen de la contribución del Grupo de Trabajo III al Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Obtenido de https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc4943en
20. FAO. (s. f.). Beneficios de la agricultura de conservación (AC). Consultado el 7 de febrero de 2024, en https://www.fao.org/conservation-agriculture/impact/benefits-of-ca/en/
21. FAO. (s. f.). SoilSTAT. FAO. Consultado el 15 de octubre de 2025, en https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/soilstat/en/
22. GEO BON. (s. f.). Soil BON. Consultado el 15 de octubre de 2025, en https://geobon.org/bons/thematic-bon/soil-bon/
23. GIZ. (2025). El suelo primero: Impulsar la transformación del sistema alimentario desde la base. GIZ. https://www.giz.de/en/projects/soil-matters-innovations-soil-health-and-agroecology
24. GIZ. (2025). El suelo importa: innovaciones para la salud del suelo y la agroecología (programa global, 2025-2029). GIZ. https://www.giz.de/en/projects/soil-matters-innovations-soil-health-and-agroecology
25. Goswami, S. B., Mondal, R. y Mandi, S. K. (2020). Opciones para la gestión de residuos agrícolas en el sistema arroz-arroz: una revisión. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Consultado el 7 de febrero de 2024, en https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03650340.2019.1661994
26. Henderson, B., Lankoski, J., Flynn, E., Sykes, A., Payen, F. y MacLeod, M. (2022). Secuestro de carbono en el suelo mediante la agricultura: opciones políticas. Consultado el 7 de febrero de 2024, en https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/soil-carbon-sequestration-by-agriculture_63ef3841-en;jsessionid=CC7AnzMq1vfeipkJ25culTmXLEII5ueAZGIoo1-d.ip-10-240-5-171

27. ISRIC – Información mundial sobre suelos. (s. f.). Servicio de Información sobre Suelos de África (AfSIS). Consultado el 15 de octubre de 2025, en https://africasis.isric.org/bio
28. Kell, D. B. (2011). Cultivo de plantas con raíces profundas: su papel en la retención sostenible de carbono, nutrientes y agua. *Annals of Botany*, *108*(3), 407.
29. Laban, P., Metternicht, G. y Davies, J. (2018). *Biodiversidad del suelo y carbono orgánico del suelo: mantener vivas las tierras áridas* (1.ª ed.). Consultado el 29 de enero de 2026, en https://portals.iucn.org/library/node/47735.
30. Lal, R., Bouma, J., Brevik, E., Dawson, L., Field, D. J., Glaser, B., et al. (2021). Los suelos y los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas: una perspectiva de la Unión Internacional de Ciencias del Suelo. *Geoderma Regional*, *25*, e00398.
31. Lal, R., Monger, C., Nave, L. y Smith, P. (2021). El papel del suelo en la regulación del clima. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. Consultado el 8 de febrero de 2024, en https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2021.0084
32. McPhee, C. y Schwarz, G. (2025). Laboratorios vivientes para la innovación en la agricultura: ¿hacia dónde se dirige este enfoque?: [Número especial sobre laboratorios vivientes e innovación colaborativa]. *Journal of Innovation Management*, *12*(4), X–XXI.
33. NIAB e Instituto para el Liderazgo en Sostenibilidad. (s. f.). Guía de evaluación de la salud del suelo de ASDA. NIAB / Instituto para el Liderazgo en Sostenibilidad de la Universidad de Cambridge. Obtenido de https://www.niab.com/event-hub/soils-and-farming-systems/soils-and-farming-systems-2021/video-soil-health-assessment-2021
34. Rockström, J., Kassam, A., Friedrich, T., Reicosky, D., Dumanski, J., Goddard, T. y Peiretti, R. A. (2026). Agricultura de conservación: ayudando a volver a los límites planetarios. *Global Sustainability*, *9*, e11.
35. Rumpel, C., Henry, B. K., Chenu, C. y Amiraslani, F. (2022). Beneficios y compensaciones del secuestro de carbono orgánico en el suelo.
36. Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A. y Paustian, K. (2002). Mecanismos de estabilización de la materia orgánica del suelo: implicaciones para la saturación de carbono de los suelos. *Plant and Soil*, *241*(2), 155-176.
37. El suelo y los ODS: la respuesta está bajo nuestros pies. (s. f.). *Coalición de Acción para la Salud del Suelo*. Consultado el 8 de febrero de 2024, en https://www.coalitionforsoilhealth.org/news/soil-the-sdgs-the-answer-lies-beneath-our-feet
38. Biodiversidad del suelo: una visión general | ScienceDirect Topics. (s. f.). Consultado el 29 de enero de 2026, en https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/soil-biodiversity
39. Sun, W., Canadell, J. G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., et al. (2020). El clima impulsa el secuestro global de carbono en el suelo y los cambios en el rendimiento de los cultivos en la agricultura de conservación. *Global Change Biology*, *26*(6), 3325-3335.
40. Thierfelder, C., Bunderson, W. y Mupangwa, W. (2015). Evidencia y lecciones aprendidas de la investigación a largo plazo en granjas sobre sistemas de agricultura de conservación en comunidades de Malaui y Zimbabue. *Environments*, *2*, 317-337.
41. Țopa, D.-C., Căpșună, S., Calistru, A.-E. y Ailincăi, C. (2025). Prácticas sostenibles para mejorar la salud del suelo y la calidad de los cultivos en la agricultura moderna: una revisión. *Agricultura*, *15*(9). Consultado el 13 de febrero de 2026, en https://www.mdpi.com/2077-0472/15/9/998
42. Turmel, M.-S., Speratti, A., Baudron, F., Verhulst, N. y Govaerts, B. (2015). Gestión de residuos agrícolas y salud del suelo: un análisis sistémico. *Ventajas e inconvenientes del uso de biomasa en los sistemas de cultivo de cereales: lecciones e implicaciones del mundo en desarrollo*, *134*, 6-16.
43. USDA. (2021). Guía para la evaluación de la salud del suelo en campos de cultivo (Nota técnica sobre la salud del suelo n.º 450-06). https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Cropland_InField_Soil_Health_Assessment_Guide.pdf

44. Centro Wageningen para la Innovación en el Desarrollo, Universidad y Centro de Investigación de Wageningen. (2021). *Intervenciones en el sistema alimentario con beneficios colaterales para el cambio climático y la nutrición: una revisión bibliográfica*. Obtenido de https://www.ifad.org/documents/38714170/43188972/wageningen_foodsystems.pdf/b163afbd-8e20-ea3d-a7ab-77328ddf6adb?t=1622789088577
45. Wei, Z., Hoffland, E., Zhuang, M., Hellegers, P. y Cui, Z. (2021). Aportes orgánicos para reducir la exportación de nitrógeno a través de la lixiviación y la escorrentía: un metaanálisis global. *Environmental Pollution*, *291*, 118176.
46. World Agroforestry. (2023). Manual de campo del Marco de Vigilancia de la Degradación de la Tierra. CIFOR-ICRAF. https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/25533/
47. Banco Mundial. (30 de junio de 2021). Manual de MRV sobre el carbono orgánico del suelo para paisajes agrícolas. Banco Mundial. https://hdl.handle.net/10986/35923