Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas

Peter Laban, Graciela Metternicht y Jonathan Davies

UICN Iniciativa Global para las Tierras Áridas

Acerca de la UICN

La UICN es una asociación excepcional de miembros, compuesta por organizaciones tanto gubernamentales como de la sociedad civil. Proporciona a las organizaciones públicas, privadas y no gubernamentales el conocimiento y las herramientas necesarias para que el progreso humano, el desarrollo sostenible, y la conservación de la naturaleza puedan desarrollarse al mismo tiempo.

Creada en 1948, la UICN es la mayor y más diversa red ambiental del mundo, que aprovecha el conocimiento, los recursos, y el alcance de más de 1300 organizaciones Miembros y unos 10.000 expertos. Es una de las principales fuentes de datos, evaluaciones y análisis sobre conservación. Su amplia membresía permite a la UICN funcionar como incubadora y depositario confiable de buenas prácticas, herramientas y estándares internacionales.

La UICN proporciona un espacio neutral en el que diversos participantes, incluyendo gobiernos, ONG, científicos, empresarios, comunidades locales, organizaciones indígenas, y otros grupos pueden trabajar juntos para crear y llevar a la práctica soluciones para los desafíos ambientales y alcanzar un desarrollo sostenible.

Por medio de su trabajo con diversos socios y patrocinadores, la UICN ejecuta un amplio y variado portafolio de proyectos de conservación en todo el mundo. Estos proyectos combinan la ciencia más actualizada con el conocimiento tradicional de las comunidades locales para invertir la pérdida de hábitat, restaurar ecosistemas, y mejorar el bienestar de las personas.

www.iucn.org

https://twitter.com/IUCN/

Acerca de la AFD

La AFD es el banco inclusivo de desarrollo público de Francia. Destina financiamiento y asistencia técnica a proyectos que verdaderamente mejoran la vida diaria, tanto en países en desarrollo o emergentes como en las provincias francesas de ultramar. Conforme a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, la AFD trabaja en diversos sectores – energía, salud, biodiversidad, agua, tecnología digital, entrenamiento profesional, entre otros – para apoyar la transición hacia un mundo más seguro, más justo y más sostenible; un mundo en común. Por medio de su red de 85 oficinas sobre el terreno, la ADF financia, supervisa, y apoya actualmente más de 2500 proyectos de desarrollo en 108 países. En 2016, la AFD destinó 9.400 millones de Euros al financiamiento de proyectos en países en desarrollo y en la Francia de ultramar.

Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas

Peter Laban, Graciela Metternicht y Jonathan Davies

[a]Grupo de especialistas en ecosistemas de tierras áridas, Comisión de gestión de ecosistemas de la UICN

[b]Escuela de ciencias biológicas, ambientales y de la tierra, Instituto de Investigación PANGEA, Universidad de Nueva Gales del Sur, Sídney, Australia

[c]UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

La presentación del material en esta publicación y las denominaciones empleadas para las entidades geográficas no implican en absoluto la expresión de una opinión por parte de la UICN sobre la situación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus autoridades, o acerca de la demarcación de sus límites o fronteras.

Los puntos de vista que se expresan en esa publicación no reflejan necesariamente los de la UICN.

La UICN declina cualquier error u omisión en la traducción de este documento de la versión original en ingles al español. En caso de discrepancia, remítase, por favor, a la edición original. Título de la edición original: Soil Biodiversity and Soil Organic Carbon: keeping drylands alive. (2018). Gland, Suiza: UICN

Esta publicación ha sido posible gracias a la generosidad de la Agence Française de Développement.

Publicado por: UICN, Gland, Suiza

Derechos reservados: © 2018 UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.

Se prohíbe reproducir esta publicación para la venta o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Citación: Peter Laban, Graciela Metternicht, y Jonathan Davies, 2018. *Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas.* Gland, Suiza: UICN. viii + 24p

ISBN: 978-2-8317-1891-0 (PDF)

DOI: https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.03.es

Traducción al español: Yanina Rovinski

Fotografía de la cubierta: Tigray. © Dr Jonathan Davies, IUCN

Diagramado por: Gordon Arara (Unidad de Publicaciones de la UICN, Nairobi)

Disponible en: UICN (Unión Internacional para
la Conservación de la Naturaleza)
Programa Mundial de tierras áridas
Rue Mauverney 28
1196 Gland
Suiza
Tel +41 22 999 0000
Telefax +41 22 999 0002
www.iucn.org/resources/publications

El texto de este libro fue impreso en papel Avalon Matt Art 133 gsm.

Índice de contenidos

Preámbulo v
Agradecimientos vi
Resumen vii
1. Biodiversidad del suelo, materia orgánica en el suelo y carbono orgánico en el suelo: introducción y resumen 1
2. Beneficios del carbono orgánico en los suelos 4
3. Reservas mundiales y ciclos del carbono orgánico en los suelos 6
4. La importancia del carbono orgánico del suelo en tierras áridas 7
5. Gestión de la biodiversidad de suelos en tierras áridas 10
6. Invertir en biodiversidad y carbono orgánico en el suelo 13
7. Opciones de políticas para conservar la biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos 16
Referencias 19
Notas finales 23

Lista de figuras

Figura 1. Biodiversidad del suelo y carbono orgánico en suelos 1
Figura 2. Los suelos y sus correspondientes servicios y beneficios del ecosistema 5
Figura 3. La vasta extensión de tierras áridas en el mundo es importante debido a las reservas de COS acumuladas. (a) sistemas de tierras áridas y su distribución espacial (Fuente: MEA); (b) Contenido de COS a 1 metro de profundidad en toneladas por hectárea (Barjes 2016) 8

Lista de recuadros

Recuadro 1. El papel de la fauna del suelo para los ciclos de nutrientes y del agua en tierras áridas 2
Recuadro 2. Servicios de los ecosistemas que mejoran con el aumento de carbono orgánico en el suelo 4
Recuadro 3. Beneficios múltiples para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4
Recuadro 4. Invertir en COS para la resiliencia climática – Australia 6
Recuadro 5. Permanencia del carbono orgánico en suelos en tierras áridas 7
Recuadro 6. Invertir en COS y en pastizales para el ganado y la seguridad hídrica – Asia Occidental ... 11
Recuadro 7. Aumentar el COS y mejorar los rendimientos..... 12
Recuadro 8. A menudo los incentivos para invertir en GSP no son financieros..... 13
Recuadro 9. Invertir en COS y agroforestería para la producción de alimentos – África..... 13
Recuadro 10. Restauración del paisaje a gran escala en China..... 14
Recuadro 11. Financiamiento de beneficios externos de la gestión agrícola sostenible en Australia 14
Recuadro 12. El caso de la inversión en tierras de pastoreo sostenibles en Portugal 15
Recuadro 13. Inversiones en pastoreo sostenible en Jordania 15

Preámbulo

El suelo forma una fina membrana vital que cubre la superficie no sumergida de nuestro planeta. Impulsa los ciclos del carbono, el nitrógeno y el agua, de los que depende la vida sobre la tierra, y alberga una inmensa diversidad de especies que proporcionan a la sociedad servicios vitales e invaluables.

Pero los suelos son tan frágiles como abundantes. La creciente población humana aumenta la demanda de comida, fibra y combustibles, lo que a su vez genera una presión insostenible sobre los suelos del mundo. Tanto es así que, actualmente, hasta un 33% de la tierra se encuentra moderada o seriamente degradada a causa de la erosión, salinización, compactación, acidificación, y la presencia de contaminantes químicos y de otros tipos en los suelos.

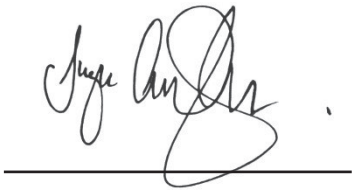
La salud de los suelos por fin está logrando llamar una muy necesitada atención en las discusiones nacionales y mundiales, particularmente al ser incluida entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible como meta 15.3 (neutralidad de degradación de tierras), así como en otras metas mundiales definidas por la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la desertificación.

Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas se basa en el discurso reciente sobre custodia de suelos, a la vez que refuerza el mensaje intrínseco de que el suelo es un bien común que requiere una valoración económica y los acuerdos institucionales correspondientes para su protección en beneficio de toda la sociedad. El presente Informe Técnico describe algunas consideraciones operativas inspiradas en experiencias prácticas y lecciones obtenidas alrededor del mundo, además de que demuestra que pueden obtenerse numerosas ganancias para el desarrollo a partir de una gestión sostenible de la tierra.

Esperamos que este informe sea un recurso valioso para profesionales y responsables de políticas que quieren pasar de la teoría a la práctica en relación con la gestión de suelos.

Si bien somos conscientes que queda mucho camino por recorrer, tal como se destaca en este Informe Técnico, pensamos que hoy nos encontramos en una posición firme para poder convertir la creciente consciencia mundial en acciones, y trabajar en conjunto para detener el deterioro de este recurso mágico y vital.

Alexander Müller
Director Ejecutivor
TMG – Töpfer Müller Gaßner
Centro de Estudios para la Sostenibilidad
Berlín, Alemania



Inger Andersen
Directora General UICN
UICN

Agradecimientos

Este documento se alimenta de datos e información provenientes de un informe escrito por Cameron Allen, titulado *Informe sobre carbono orgánico y biodiversidad de suelos en tierras áridas* (julio de 2017). El trabajo fue reforzado por contribuciones de Claire Ogali, Guyo Roba y Razingrim Ouedraogo de la UICN.

El informe fue revisado por los pares Alexander Mueller y Dr Martial Bernoux. También aportaron revisiones externas Kirk Olsen, Patrick Gonzales y Jonathan O'Donnel de la Comisión Mundial de Áreas Protegidas de la UICN, así como Ian Hannam de la Comisión Mundial de Derecho Ambiental de la UICN.

El informe es posible gracias al apoyo de la Agencia Francesa para el Desarrollo.

Resumen

Se calcula que para el año 2050 la población mundial será de 9000 millones de personas y el mundo tendrá que producir aproximadamente 60% más alimentos, a la vez que 1800 millones de personas vivirán en áreas con escasez de agua. Si bien la producción mundial de alimentos está aumentando, la tierra de la que depende la agricultura se está degradando a una velocidad alarmante, poniendo en peligro el futuro del progreso. Las tierras degradadas producen menos alimentos y almacenan menos agua y carbono, lo que hace más grave la inseguridad alimentaria e hídrica, y contribuye al cambio climático.

La biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos son indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas, y determinan en gran medida el papel de la tierra en la producción de alimentos, el almacenamiento de agua, y la mitigación del cambio climático. Son la clave para liberar los numerosos beneficios económicos y ambientales – la multifuncionalidad – de la tierra.

A nivel mundial, se calcula que la biodiversidad de los suelos contribuye entre 1.500 y 13.000 miles de millones dólares EUA anuales al valor de los servicios de los ecosistemas. Sin embargo, a pesar de su importancia mundial, la biodiversidad de los suelos es a menudo desatendida por las políticas públicas, y se está perdiendo a un ritmo acelerado debido a las prácticas insostenibles de gestión de suelos, la erosión, y otros procesos de degradación de la tierra. Se calcula que entre un cuarto y un tercio de toda la tierra disponible en el mundo está degradada, lo que genera una disminución de la producción agrícola, interrupción del ciclo del agua, y liberación de gases de invernadero.

Impactos de la degradación de la tierra

Mitigación del cambio climático

- Se calcula que las reservas mundiales de carbono orgánico en el suelo son superiores a la suma del carbono que se encuentra conjuntamente en la atmósfera y en la vegetación terrestre. Cuando se erosiona el suelo, se redistribuye el carbono orgánico del suelo y se pierde una parte.

Producción de alimentos

- La degradación de la tierra y el cambio climático podrían reducir los rendimientos agrícolas y generar una disminución de un 25 por ciento en la producción de alimentos.

Almacenamiento de agua

- Los suelos almacenan las dos terceras partes del agua dulce del planeta, y este papel está determinado por el nivel de materia orgánica en el suelo.

Los suelos áridos contribuyen significativamente – aportan aproximadamente una tercera parte – a las reservas mundiales de biodiversidad de los suelos y de carbono orgánico en los suelos, y pueden contribuir notablemente a la producción mundial de alimentos y a la mitigación del cambio climático. Conforman el 42% de las tierras del mundo, representan el 44% de las tierras cultivadas y el 50% de la ganadería mundial. Las tierras áridas son especialmente valiosas para el almacenamiento de carbono gracias a su alto nivel de permanencia, es decir, el tiempo que el carbono se mantiene almacenado en el suelo, en comparación con las zonas húmedas.

La proporción de la degradación del suelo en las tierras áridas es similar al promedio mundial, pero las soluciones pueden ser diferentes a las que son adecuadas para tierras más húmedas. El nivel comparativamente elevado de pobreza y subdesarrollo en las tierras áridas indica que los motores de degradación son diferentes, y que, por lo tanto, la naturaleza de las políticas y las inversiones destinadas a abordar la desertificación deben diferir en consecuencia.

Para restaurar o preservar la biodiversidad y el carbono orgánico de los suelos se necesita aumentar los insumos de materia orgánica o reducir las pérdidas de carbono, o ambas a la vez. Es particularmente importante mantener el carbono orgánico del suelo (COS), y siempre que sea posible, aumentarlo. En los suelos áridos, los niveles de COS son por lo general bajos y cercanos al punto de inflexión, a partir del cual se hace imposible la restauración, dando paso a una degradación irreversible del suelo. Sin embargo, las medidas para aumentar la biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos pueden tardar muchos años en dar resultados. La restauración de tierras degradadas puede resultar muy costosa y es preferible evitarla desde un principio, adoptando prácticas sostenibles de gestión de la tierra y protegiendo los paisajes agrícolas por medio de una gestión sostenible.

Se sabe que muchas prácticas agrícolas aumentan la biodiversidad y el carbono orgánico del suelo, principalmente las prácticas relacionadas con la gestión integrada de suelos, agua y nutrientes; las medidas para el control de la erosión; y el mantenimiento de la cobertura del suelo. Las prácticas agrícolas sostenibles que han sido utilizadas ampliamente en tierras áridas incluyen la agroforestería, la agricultura de conservación, y el pastoreo. Sin embargo, en las tierras áridas más pobres del mundo, donde son más elevados el aumento poblacional y la demanda de una mayor productividad agrícola y seguridad hídrica, es escasa la adopción y mantenimiento de estas prácticas. En el futuro, estas regiones tendrán que enfrentar la degradación de suelos, a menos que las prácticas de gestión sostenible de la tierra se conviertan en parte integral de los programas de desarrollo agrícola.

La gestión sostenible de la tierra a menudo requiere inversiones en mano de obra y energía, y requiere nuevas habilidades, conocimientos, equipos, e insumos. Las políticas e inversiones innovadoras son por lo tanto indispensables para animar a los usuarios de la tierra a adoptar dichas prácticas. Parte integral de la solución consiste en premiar o incentivar de alguna forma los beneficios múltiples de la gestión sostenible de la tierra, o "multifuncionalidad", a gran escala, en vez de maximizar los bienes y servicios individuales. Esto incluye los valores que la mayor parte de la sociedad considera externalidades.

La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible aumenta la demanda de tierras para generar seguridad alimentaria, hídrica y energética, proteger la biodiversidad, y mitigar el cambio climático, lo que incrementa la importancia de los suelos en las políticas ambientales y de desarrollo mundiales. La Meta 15.3 sobre Neutralidad de degradación de tierras refleja la creciente toma de consciencia de que **los suelos, y por extensión la biodiversidad y el carbono orgánico de los suelos, son tanto recursos naturales como bienes comunes, que sustentan el desarrollo sostenible en su más amplia expresión.**

Para lograr una buena gobernanza de nuestros Recursos de Suelos compartidos, **los gobiernos deberían enfocarse en la protección y promoción de la multifuncionalidad de la tierra:** para garantizar que los usuarios de la tierra utilicen enfoques sostenibles medidos en función del suministro de bienes y servicios múltiples. Para lograr este objetivo, se necesitan ciertas medidas prioritarias:

1. Evaluar la gestión de la tierra en función del suministro de bienes y servicios múltiples;
2. Reforzar las políticas y sistemas legales para permitir el aumento de la gestión sostenible de la tierra y la restauración o rehabilitación de paisajes;
3. Mejorar los mecanismos locales de gobernanza que apoyan a los usuarios que realizan prácticas sostenibles de gestión de la tierra;
4. Reforzar la información sobre las tierras para apuntalar la planificación y supervisión a nivel de paisaje;
5. Establecer un rango de servicios eficaces que ayuden a los usuarios de la tierra a adoptar prácticas de gestión sostenible;
6. Generar condiciones que faciliten la inversión privada en la gestión sostenible de la tierra.

1. Biodiversidad del suelo, materia orgánica en el suelo y carbono orgánico en el suelo: introducción y resumen

Los suelos están entre los hábitats más ricos en especies sobre la tierra, albergan una gran abundancia de especies que permiten que los suelos funcionen y se desarrollen. Muchas de esas especies son fundamentales para la diversidad funcional y resiliencia del suelo y de los ecosistemas que dependen del suelo. La biodiversidad de los suelos es un indicador de la calidad del suelo; una mayor diversidad de especies genera más estabilidad del suelo en términos de su capacidad para desempeñar funciones claves como reciclaje de nutrientes, absorción de desechos orgánicos, y mantenimiento de la estructura del suelo[1].

La biodiversidad del suelo, el carbono orgánico en el suelo y la materia orgánica en el suelo están estrechamente relacionados, pero son diferentes **(Figura 1). La biodiversidad del suelo** refleja la mezcla de organismos vivos en el suelo, incluyendo bacterias, hongos, protozoarios, insectos, lombrices, y otros vertebrados e invertebrados. Estos organismos interactúan unos con otros, así como con las plantas y otros animales pequeños, formando una red de actividad biológica[2]. La mayoría de las especies viven en una fina capa de 2 a 3 centímetros en la capa superior del suelo, donde hay una mayor concentración de materia orgánica y de raíces. Las cortezas biológicas de los suelos, por ejemplo, son comunidades de musgos, líquenes y microorganismos en la superficie del suelo que son particularmente eficaces para la conservación de la fertilidad del suelo en las tierras áridas de todo el mundo[3].

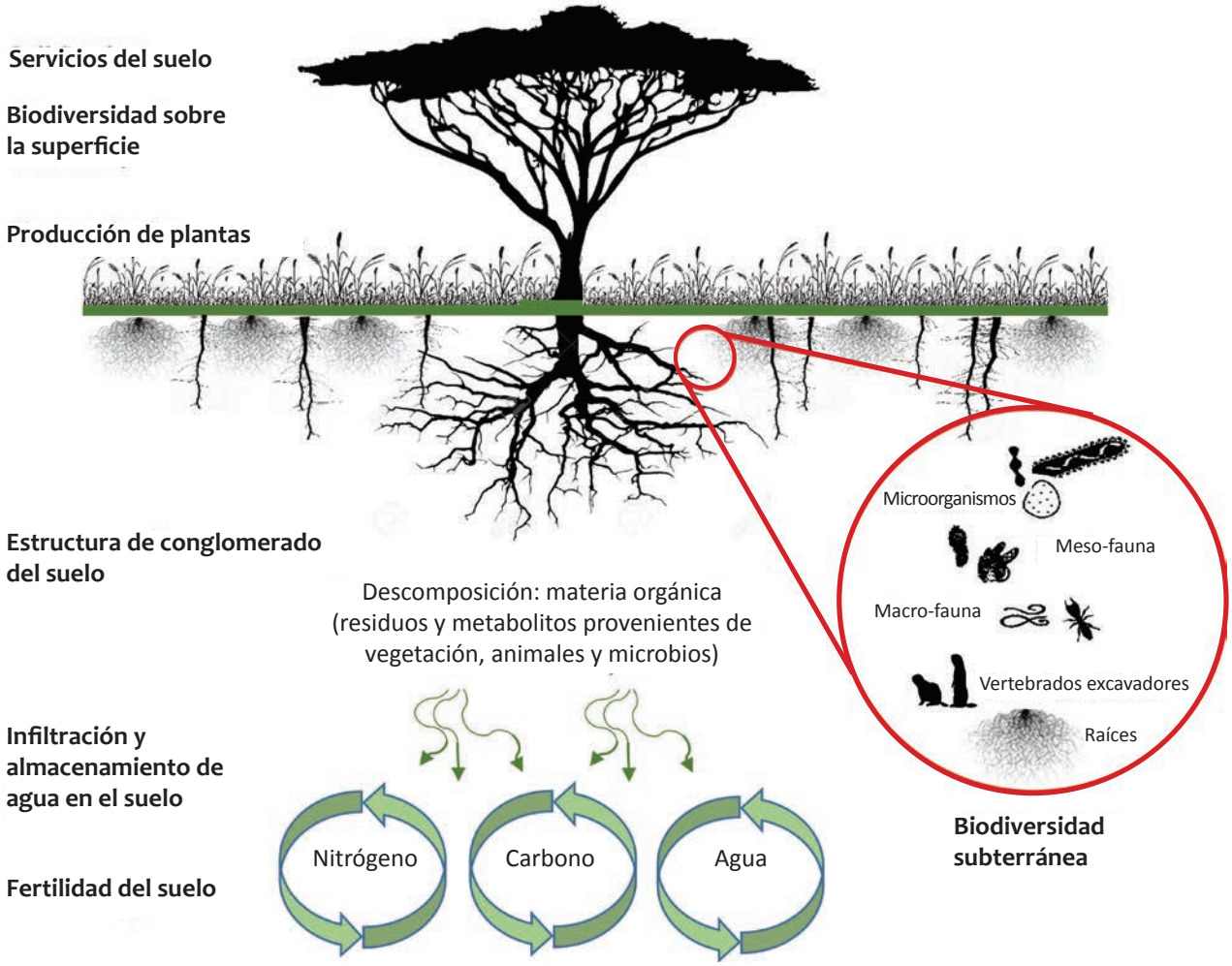


Figura 1. Biodiversidad del suelo y carbono orgánico en suelos

En su sentido más amplio, la **materia orgánica del suelo** (MOS) abarca todos los componentes orgánicos del suelo, incluyendo la biomasa viva (tejidos intactos de plantas, animales y microorganismos), raíces muertas y otros residuos de plantas, así como tejidos muertos y humus del suelo. La MOS y los restos de tejidos muertos que dejan las plantas y animales (desechos) son indispensables para la actividad biológica del suelo, y son la principal fuente de energía, nutrientes y hábitat para la gran mayoría de los organismos del suelo. El **carbono orgánico en el suelo** constituye aproximadamente 50 a 60% de la MOS. Por lo general se calcula la MOS a partir de la medida del COS, aplicando un factor de entre 1.9 y 2 para convertir COS en MOS[4].

En las tierras áridas, tales como el Sahel, Medio Oriente o Australia, la mayor parte de la biodiversidad se encuentra por debajo de la superficie del suelo, y es indispensable conservarla para garantizar la seguridad alimentaria e hídrica, como se ilustra en el Recuadro 1.

Recuadro 1. El papel de la fauna del suelo para los ciclos de nutrientes y del agua en tierras áridas

Los insectos son importantes para los ciclos del agua y los nutrientes en las tierras áridas. Por ejemplo, los escarabajos peloteros, de las familias de insectos Scarabaeidae y Geotrupidae, juegan un papel importante en la productividad de muchas praderas. Dichos escarabajos enriquecen los nutrientes del suelo, lo airean, y mejoran su porosidad y drenaje cuando entierran las heces animales. Las termitas cumplen un papel igual de importante, sobre todo en las sabanas de África, Australia y Suramérica, porque alteran las características del suelo y generan "islas de fertilidad" que incrementan el crecimiento de las plantas. Los termiteros hacen más heterogéneo el paisaje y juegan un papel importante en el reciclaje de nutrientes y la filtración de agua[5]. Esto contribuye a la resiliencia del ecosistema, ayuda a los ecosistemas de tierras áridas a recuperarse de las sequías, y las estabiliza para enfrentar el cambio climático.

A menudo, la tierra de los ecosistemas áridos y semi-áridos contiene una corteza de suelo biológica, que alberga comunidades de organismos vivos que habitan dentro del suelo, o en los primeros milímetros de la superficie. Esta corteza es una asociación de cianobacterias, algas, micro-hongos y otras especies, con partículas de tierra. Las cortezas biológicas de los suelos juegan diversos e importantes papeles ecológicos, incluyendo la fijación de carbono y nitrógeno y la estabilización del suelo. También afectan la infiltración de agua en el suelo y la germinación de semillas, entre otras propiedades que pueden tener efectos positivos o negativos sobre la productividad de la tierra y el crecimiento de la vegetación. Las cortezas biológicas de los suelos tienen mayor posibilidad de formarse cuando la cubierta vegetal es escasa, ya que las cianobacterias necesitan energía solar para realizar la fotosíntesis. De este modo, pueden ser un síntoma de degradación de la tierra, pero también pueden estabilizar los suelos y evitar una mayor degradación[6].

La biodiversidad de los suelos contribuye al desarrollo de la vegetación en la superficie porque descompone los residuos vegetales, un proceso que convierte los nutrientes contenidos en la materia orgánica en formas orgánicas y minerales disponibles para renovar su absorción en las plantas (por ejemplo, el nitrógeno[7]. La biodiversidad de los suelos aumenta la resiliencia del suelo, en términos de su capacidad de recuperarse y volver a un estado de salud funcional después de sufrir alteraciones graves. Se calcula la contribución de la biodiversidad de los suelos a los servicios de los ecosistemas a nivel mundial entre 1.500 y 13.000 miles de millones de dólares EUA al año[8].

Los suelos son ecosistemas complejos, y los organismos de los suelos y sus componentes minerales interactúan para generar una gran diversidad y complejidad. La composición mineral del suelo y los organismos que alberga determinan la estructura y fertilidad del suelo. La composición mineral del suelo, a su vez, depende de factores de la formación del suelo, tales como material primario, relieve, clima, hidrología, organismos biológicos, y tiempo. La capacidad del suelo para retener humedad está determinada en gran medida por la MOS/COS y la estructura del suelo. El agua almacenada en los suelos es la fuente para la irrigación del 90% de la producción agrícola mundial, y representa un 65% de toda el agua dulce a nivel mundial[9]. Así, un estudio indica que cada pérdida de 1 gramo de MOS disminuye entre 1 y 10 gramos el contenido de humedad disponible en el suelo[10]. La productividad vegetal (para efectos de productividad agrícola y biodiversidad) depende por tanto directamente de los organismos del suelo, que regulan la cantidad y absorción de nutrientes disponibles, mantienen la estructura del suelo, y regulan los procesos hídricos[11].

La cantidad y calidad de MOS y COS son por lo tanto motores importantes para la biodiversidad de los suelos, a los que aportan una fuente de energía y alimento para los microorganismos que son esenciales para los procesos biológicos del suelo. A su vez, la biodiversidad de los suelos contribuye a la formación de MOS por medio de la descomposición y la producción de humus. Estas numerosas interacciones son complejas y crean diversos circuitos de retroalimentación biológicos, químicos, y físicos, que se refuerzan entre sí.

Los suelos con alto contenido de material orgánico tienen la capacidad de albergar una mayor diversidad de vegetación, lo que a su vez aumenta la MOS y COS, mientras aumenta la biodiversidad de los suelos. Si bien hay algunos estudios que han cuantificado estos efectos[12], las investigaciones recientes emplean el COS en lugar de MOS y DBS, demostrando que incluso reducciones mínimas en el COS, del orden del 1 por ciento, pueden generar impactos negativos importantes sobre el capital natural del suelo y los servicios de los ecosistemas[13].

La importancia del carbono orgánico en el suelo para obtener resultados positivos ambientales y de desarrollo es cada vez más reconocida, como resultado de las novedosas decisiones tomadas durante la décimo segunda sesión de la Conferencia de las Partes (COP) en la Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación, en octubre de 2015. Se reconoce el carbono orgánico en el suelo como uno de los elementos determinantes de la productividad y la seguridad hídrica, y es la piedra angular de la biodiversidad y de la resiliencia ante el cambio climático. Esta importancia se refleja en la Meta 15.3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que consiste en lograr la neutralidad mundial de degradación de tierras, y en particular en uno de sus tres indicadores: *"tendencias en las reservas de carbono en y bajo la superficie de la tierra"*, para el que se miden las reservas de carbono orgánico en los suelos. Sin embargo, no hay suficiente convergencia entre las muy diversas ramas de la ciencia, la práctica y la política, para abordar el tema del carbono orgánico en los suelos y su relación con la biodiversidad. Por ello, los múltiples beneficios del carbono orgánico en los suelos son a menudo ignorados y corren el riesgo de perderse.

El presente Informe Técnico se desarrolló para abordar la brecha entre el conocimiento de la relación entre la biodiversidad de los suelos y carbono orgánico en el suelo, particularmente en las tierras áridas, y el papel de la biodiversidad en los suelos en el suministro de servicios de los ecosistemas. El Informe Técnico fue escrito por asesores de los ministerios responsables del ambiente, la agricultura y los recursos naturales. Esto incluye científicos, asesores políticos, y grupos de la sociedad civil, muchos de los cuales están familiarizados con el área temática en un sentido amplio, pero no cuentan con información actualizada sobre las más recientes investigaciones relacionadas con biodiversidad y carbono orgánico en los suelos.

El Informe Técnico se basa en dos Informes Técnicos anteriores de la UICN sobre tierras de pastoreo y sobre Neutralidad de degradación de tierras[14]. Resume investigaciones claves sobre la biodiversidad de los suelos en tierras áridas, y aporta algunos ejemplos por medio de breves casos de estudio, con los enlaces que permiten obtener más información. Se extraen lecciones de esta información, y se describen las principales recomendaciones que surgen en la sección de conclusiones. La información recopilada para este informe proviene de una publicación más amplia que sirvió de antecedente, titulada "Carbono orgánico y biodiversidad en los suelos de tierras áridas", escrita por Cameron Allen, que está pendiente de publicación en el sitio web de la UICN.

2. Beneficios del carbono orgánico en los suelos

Los beneficios del carbono orgánico en los suelos, y por extensión los de la biodiversidad de los suelos, han sido descritos ampliamente en la literatura. Un aumento en el COS mejora la calidad y la fertilidad del suelo, mejora la productividad, el crecimiento de vegetación, y promueve una mayor acumulación de carbono en el suelo. Si se aumenta la cantidad y calidad del carbono orgánico en el suelo, se mejora la estabilidad estructural del suelo, su capacidad de retener agua, porosidad y fertilidad[15]. Esto a su vez resulta en la mejoría de una amplia gama de servicios de los ecosistemas **(Recuadro 2 y Figura 2)**.

Recuadro 2. Servicios de los ecosistemas que mejoran con el aumento de carbono orgánico en el suelo

1. Mayores rendimientos agrícolas y mayor producción de alimentos (hasta 2300 millones de toneladas de producción adicional de cultivos al año, que equivale a 1400 miles de millones de dólares EUA)[16]
2. Aumento de la capacidad del suelo para retener, filtrar y almacenar agua
3. Una mayor biodiversidad en y por debajo de la superficie del suelo (se calcula que la contribución mundial de la biodiversidad de los suelos a los servicios de los ecosistemas alcanza entre 1500 y 13.000 miles de millones de dólares EUA al año) [17]
4. Almacenamiento de carbono y regulación del clima (al menos la mitad de la reducción de emisiones necesaria para alcanzar el objetivo de 2 grados acordado por la comunidad internacional podría venir de los sectores de la tierra de los principales países emisores que contienen secciones considerables de las tierras áridas[18]

A menudo sólo se empieza a apreciar el valor de la biodiversidad de los suelos cuando ha empezado a degradarse. La pérdida del carbono orgánico de los suelos, especialmente cuando los niveles iniciales de por sí son bajos, como es el caso de las regiones áridas, genera invariablemente degradación de los suelos y las funciones asociadas de los ecosistemas. Se calcula que, entre una cuarta y una tercera parte de la tierra del mundo está siendo afectada por algún tipo de degradación[19], lo que contribuye a una disminución de la producción agrícola, alteración del ciclo del agua, liberación de gases de invernadero, y muchos otros costos para la sociedad. Estos impactos negativos deben ser puestos en perspectiva, considerando que se calcula que la población humana va a necesitar un aumento de 60% de la producción de alimentos para el año 2050, y antes de 2025, se calcula que 1800 millones de personas estarán viviendo en áreas donde la escasez de agua será absoluta. La degradación de la tierra y el cambio climático podrían reducir la productividad agrícola, dando como resultado un déficit en la producción de alimentos de un 25 por ciento[20].

Por todo esto, la biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos son la base para una amplia gama de servicios de los ecosistemas de las cuatro categorías estándar de servicios **(ver Figura 2)**. Por tanto, es un elemento clave para la multifuncionalidad del paisaje, y la razón por la cual se considera fundamental reforzar la inversión y la legislación sobre gestión sostenible de la tierra para poder lograr muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible **(ver Recuadro 3)**. La Meta 15.3 de los ODS apunta a lograr la neutralidad mundial de degradación de tierras antes del año 2030, manteniendo y aumentando la cantidad de recursos de suelos saludables y productivos.

Recuadro 3. Beneficios múltiples para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La gestión sostenible de la tierra puede contribuir al logro de varios ODS al mismo tiempo, incluyendo la erradicación de la pobreza (Objetivo 1), la seguridad alimentaria e hídrica (Objetivos 2 y 6), la protección de la biodiversidad (Objetivo 15), y la mitigación y adaptación al cambio climático (Objetivo 13). Por ejemplo, las investigaciones realizadas indican que la restauración de apenas un 12% de las tierras agrícolas degradadas podría aumentar los ingresos de los pequeños propietarios entre 35 y 40.000 millones de dólares EUA al año, y ayudar a alimentar unos 200 millones de personas más al año en los próximos 15 años, a la vez que aumenta la resiliencia ante las sequías y la escasez de agua, y reduce las emisiones de gases de invernadero[21].

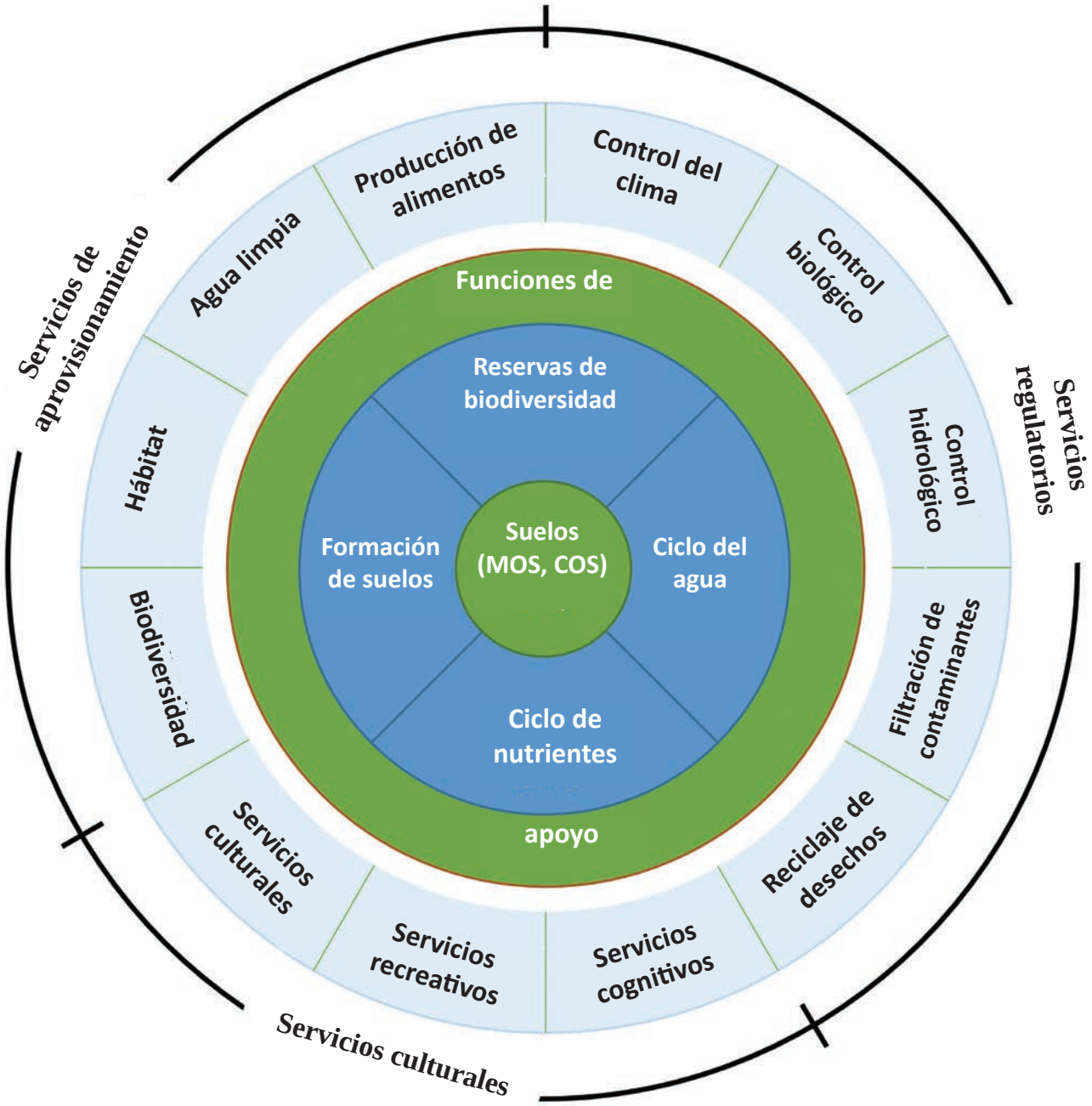


Figura 2 Los suelos y sus correspondientes servicios y beneficios del ecosistema

3. Reservas mundiales y ciclos del carbono orgánico en los suelos

El COS forma parte del mucho más amplio ciclo mundial del carbono. Las reservas de COS no son estáticas, están sometidas a un ciclo constante entre diversos sumideros de carbono en el suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera. Los suelos contienen la segunda mayor reserva de carbono, después de los océanos, y contienen una tercera parte de las reservas mundiales de carbono . Independientemente de las considerables variaciones entre diferentes cálculos, se estima que las reservas mundiales de COS andan alrededor de 1500 GtC en el primer metro de suelo, que es más de lo que contienen la atmósfera (800 GtC) y la vegetación terrestre (500 GtC) juntos[23].

Las dimensiones espaciales y temporales de las reservas de COS varían ampliamente, y dependen de diversos factores bióticos y abióticos, incluyendo el tipo de suelo, uso de la tierra, y condiciones climáticas[24]. Las mayores reservas de COS se encuentran en áreas como humedales y turberas, que se encuentran mayoritariamente en regiones de suelos permanentemente congelados (permafrost) y en los trópicos[25].

El carbono orgánico en los suelos es un continuo que puede ser dividido conceptualmente en diferentes tipos de sumideros. La mayoría de los enfoques consideran tres tipos de sumideros en función de su estabilidad física y química: sumideros rápidos (sumideros volubles o activos, con una rotación de 1 o 2 años); sumideros intermedios (parcialmente estabilizados, con una rotación de entre 10 y 100 años); y sumideros lentos (refractarios o estables, con una rotación muy lenta de entre 100 y 1000 años)[26]. La proporción de sumideros rápidos o volubles, que es la parte vital del COS, se considera importante por su influencia sobre la salud del suelo y la retención de COS, mientras que la fracción lenta o estable de COS contribuye a la capacidad del suelo para contener nutrientes, así como a su capacidad de captación de carbono a largo plazo[27].

Los niveles de COS reflejan un equilibrio dinámico entre los insumos de carbono orgánico fresco y las emisiones de carbono desprendidas hacia la atmósfera, y de las partículas de carbono orgánico disueltas que ingresan en las aguas superficiales y subterráneas. La erosión de suelos genera una redistribución de COS a escala local, del paisaje, y regional. Para restaurar o preservar el COS en suelos es necesario incrementar los insumos de carbono orgánico o reducir sus pérdidas, o ambas. Sin embargo, los impactos de estos cambios pueden llevar años en concretarse, además de que los efectos de usos pasados y prácticas de gestión de la tierra pueden seguir influenciando los niveles de COS aún décadas después de haber introducido nuevas prácticas[29].

Recuadro 4. Invertir en COS para la resiliencia climática – Australia

Al suroeste de Australia occidental, el valor marginal de COS en los sistemas de cultivo (por ejemplo, el valor de un suelo con 1 t C/ha contiene comparativamente más COS que un suelo estándar) se calcula entre 5.6 y 6.9 US$/t C/ha/año, dependiendo de la zona de precipitaciones y el tipo de cultivo. Aproximadamente el 75% de este valor de beneficio agrícola proviene del valor estimado de absorción de carbono, un 20% proviene del valor de reposición de nitrógeno, y un 5% representa el valor calculado de mejoramiento de la productividad. Valor (1 dólar australiano equivale aproximadamente a 0.75 dólares de los Estados Unidos)[28].

4. La importancia del carbono orgánico del suelo en las tierras áridas

Las tierras áridas abarcan algunos de los sistemas de uso de la tierra más importantes del mundo, y contienen una importante diversidad biológica. Dan sustento a más de 2000 millones de personas y a un 25% de las especies amenazadas del mundo[30]. A nivel mundial, los ecosistemas de tierras áridas cubren aproximadamente el 42% de la superficie de la Tierra, incluyendo algunos de los ecosistemas más amenazados del mundo[31] (Figura 3). Proporcionan el 44% de las tierras cultivadas del mundo y el 50% de la ganadería mundial[32], y contienen una variedad de hábitats importantes para las especies vegetales, árboles frutales y microorganismos[33]. Las tierras áridas albergan muchos de los hábitats más diversos del planeta en términos biológicos y culturales, presentando altos niveles de endemismo de especies y de patrimonio natural[34].

Las tierras áridas corresponden a áreas tropicales y templadas con un índice de aridez[1] de menos de 0.65, en el que la precipitación promedio es menor que las pérdidas de humedad potenciales debidas a la evaporación y transpiración[35]. Empleando el índice de aridez, se pueden distinguir cuatro categorías diferentes de tierras áridas: tierras áridas semi-húmedas, semiáridas, áridas e hiper-áridas. Si bien las tierras cultivables se limitan generalmente a las menos áridas de las tierras áridas, los pastizales conforman aproximadamente las tres cuartas partes de las tierras áridas. Los pastizales incluyen biomas dominados por pastos, pero también contienen cantidades importantes de biomasa leñosa, sobre todo en las zonas sub-húmedas y semi-áridas[36]. Aproximadamente el 72% de las tierras áridas se encuentra en países en desarrollo, y esta proporción aumenta con la aridez: prácticamente todas las tierras hiper-áridas se encuentran en el mundo en desarrollo[37].

A primera vista, la importancia mundial de las tierras áridas para el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo puede ser difícil de ver. La escasez de agua en las tierras áridas limita la productividad vegetal, lo que afecta la acumulación de MOS y COS en los suelos. En consecuencia, los suelos áridos cuentan generalmente con un bajo contenido de carbono orgánico, a menudo menos del 1% de la masa del suelo. En los suelos de pastizales y bosques, el COS puede llegar a 4-5%, pero al cultivar estos suelos se libera el carbono almacenado; en las zonas templadas, el COS es de aproximadamente 1 a 2% en suelos cultivados.

Debido a sus vastas extensiones, las reservas totales de COS acumulado en tierras áridas son importantes, conformando un 30% del total de las reservas mundiales de COS, lo que corresponde aproximadamente a 450 GtC, que equivale a la misma cantidad de carbono orgánico almacenado en toda la vegetación terrestre[38]. Además de esto, el tiempo de residencia del carbono en suelos áridos se extiende debido a su aridez y es mucho mayor que en otros suelos[39] (Recuadro 5). La magnitud espacial de las tierras áridas, combinada con la amplitud del área afectada por la degradación de suelos, implica que las tierras áridas juegan un papel fundamental en los esfuerzos mundiales por retener el carbono atmosférico y reducir la magnitud del cambio climático antropogénico.

El potencial de los suelos para absorber el carbono es función de la saturación del suelo en carbono (o la capacidad máxima de estabilización del carbono), que es el punto a partir del cual un aumento en los aportes de carbono al suelo no aumentará más las reservas de carbono del suelo[41]. Los informes destacan que el estado condicional de los suelos de tierras áridas está muy por debajo de su punto máximo de saturación de carbono, principalmente a causa de su aridez, y por lo tanto de su relativamente baja productividad total. Además, dado que la degradación de la tierra afecta a entre un cuarto y un tercio de las tierras áridas, es muy probable que haya grandes extensiones con niveles de COS todavía más bajos.

Recuadro 5. Permanencia del carbono orgánico en suelos en tierras áridas

La permanencia se relaciona con la longevidad de las reservas de carbono, es decir, cuánto tiempo se mantiene el incremento del COS en los suelos. El COS está sujeto a ciclos constantes en los sumideros rápidos, en los que la permanencia es baja, pero tienen mayor influencia sobre la salud de los suelos en los sumideros lentos, donde la permanencia y la capacidad de almacenar nutrientes es mayor. Los métodos empleados para aumentar las reservas de carbono, tales como el uso de abonos naturales o la siembra de árboles, pueden afectar la velocidad resultante de pérdida de las reservas de carbono en el suelo, y por lo tanto la permanencia de las reservas. Sin embargo, las diferencias pueden ser pequeñas en comparación con la pérdida que podría ocurrir a consecuencia de cambios extremos en el uso y gestión de la tierra[40].

1 El índice de aridez mide la precipitación promedio dividida por el potencial de evaporación-transpiración.

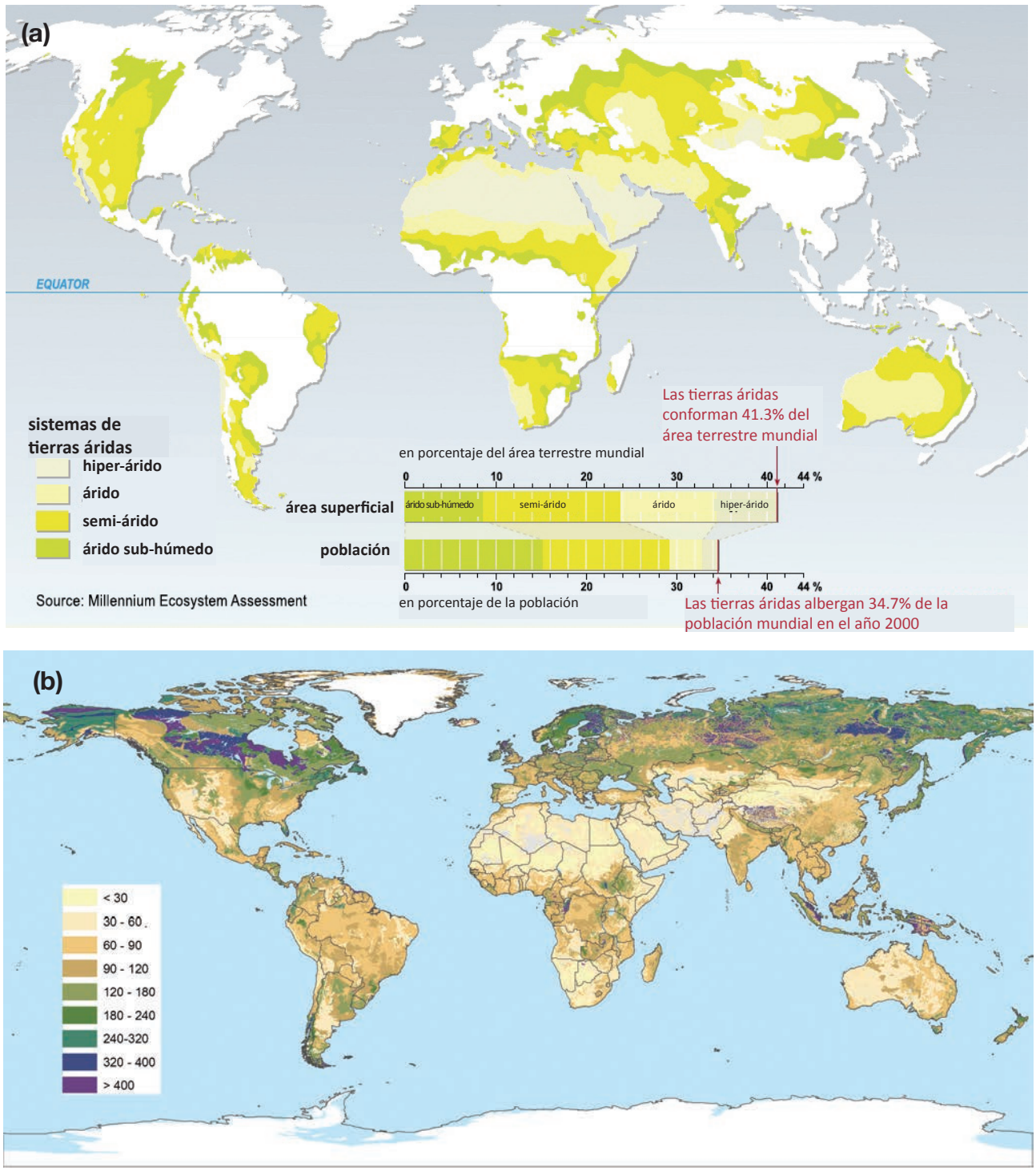


Figura 3. La vasta extensión de tierras áridas en el mundo es importante debido a las reservas de COS acumuladas. (a) sistemas de tierras áridas y su distribución espacial (Fuente: MEA); (b) Contenido de COS a 1 metro de profundidad en toneladas por hectárea (Barjes 2016).

La biodiversidad de los suelos y el carbono orgánico en los suelos pueden ser restaurados por medio de la aplicación de material orgánico o de la reducción en las pérdidas de carbono, o de ambas. En suelos áridos degradados, que a menudo tienen concentraciones bajas y cercanas al punto de inflexión, y donde el riesgo de degradación de la tierra se vuelve irreversible, esto es particularmente urgente. A pesar de eso, las medidas para aumentar la biodiversidad de los suelos y el carbono orgánico en los suelos pueden tardar muchos años en producir resultados. La restauración de tierras degradadas también puede resultar muy costosa, así que es preferible evitar la degradación en primera instancia, adoptando prácticas de gestión sostenible de la tierra, y protegiendo los paisajes agrícolas y pastoriles bajo gestión sostenible.

La calidad y productividad de los suelos de tierras áridas pueden mejorarse aumentando el contenido orgánico del suelo (y, por lo tanto, los niveles de COS) por medio de prácticas de gestión alternativas, tales como labranza reducida[42] y gestión sostenible de los pastos. Investigaciones realizadas en sitios de pastoreo protegidos por las comunidades en Jordania han demostrado el potencial de aumentar la producción de biomasa en tierras degradadas para aumentar el COS[43]. A condición de que haya una gestión cuidadosa del pastoreo, muchas investigaciones han encontrado un efecto positivo del pastoreo en las reservas de carbono de los suelos de tierras áridas[44].

Si los suelos de tierras áridas están muy por debajo de su punto de saturación de carbono, puede ser necesario alterar las condiciones naturales y las características del ecosistema para aumentar los niveles de COS por encima de su estado natural; por ejemplo, con el uso de irrigación y siembra de árboles. Estos enfoques han sido propuestos como soluciones para absorber carbono atmosférico, aunque todavía hace falta comprender mejor los riesgos potenciales para la permanencia (como resultado del aumento en la humedad del suelo), así como los posibles impactos sobre la biodiversidad de las tierras áridas.

Los pastizales tropicales, que conforman una proporción importante de las tierras áridas, parecen tener un mayor potencial como sumideros de carbono de lo que se había pensado anteriormente[45]. Se calcula que, a nivel mundial, los pastizales absorben aproximadamente 343 GtC; casi un 50% más de lo que se encuentra almacenado en los bosques en todo el mundo[46]. Las praderas africanas, por ejemplo, podrían absorber entre 0.007 y 0.042 GtC al año–1[47]. La conversión de pastizales a cultivos anuales puede aumentar en un 60% la pérdida de reservas de carbono en el suelo, y hasta un 95% de la pérdida de carbono en la superficie[48].

Las tierras áridas tienen un alto potencial de aumento en la absorción de carbono, y algunas organizaciones se refieren a las tierras áridas como “sitios prometedores” para la absorción de carbono. Aunque aún quedan preguntas sin responder sobre las prácticas más indicadas para cada sitio, las tierras áridas deberían ser consideradas áreas claves para invertir en la gestión sostenible de las reservas de carbono. Este tipo de inversiones deben ser administradas activamente para restaurar, preservar y aumentar los niveles de carbono orgánico en el suelo y fomentar su potencial de absorción[49].

5. Gestión de la biodiversidad de suelos en tierras áridas

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible aumenta la demanda de suelos para proporcionar seguridad alimentaria, hídrica y energética, para proteger la biodiversidad y mitigar el cambio climático. Esto ha aumentado la importancia de los suelos en las políticas mundiales sobre ambiente y desarrollo. A su vez, esto ha llevado al concepto de "seguridad de suelos" o "salud de suelos". La seguridad de suelos tiene que ver con el mantenimiento y mejora de los recursos de los suelos del mundo para producir alimentos, fibras y agua potable, contribuir a la sostenibilidad climática y energética, y mantener la biodiversidad y la protección del ecosistema en general[50].

El COS puede ser considerado como un indicador universal de la seguridad y la salud de los suelos. Las reducciones en COS también generan reducciones en la seguridad/salud del suelo y de los beneficios que puede proporcionar. Entre los factores que influyen sobre la capacidad de absorción de COS en los suelos están el clima, tipo de suelo, cobertura vegetal, y prácticas de gestión. En las tierras áridas, el papel y los beneficios de MOS y COS están particularmente relacionados con sus propiedades físicas, biológicas y químicas[51].

Existen diversas formas de asegurarse que la gestión de la tierra o del ecosistema sea sostenible; éstas pueden ser clasificadas como acciones directas de uso del suelo (medidas puestas en práctica por los usuarios de la tierra) o medidas capacitadoras (realizadas por "facilitadores" para promover o mejorar la adopción de acciones directas de uso de la tierra). Diversas técnicas de gestión de la tierra pueden conservar o aumentar el carbono orgánico en los suelos, para lo que requieren una gestión eficaz del material orgánico y del agua que permita mantener un nivel de fertilidad suficiente para una producción sostenible de alimentos[52]. Muchas de esas prácticas aportan beneficios diversos, por ejemplo, mejoran la productividad alimentaria, los recursos hídricos y la biodiversidad, a la vez que sirven para mitigar y adaptarse al cambio climático.

© Dr Jonathan Davies, Sudan

© Dr Mahfouz Abu Zanat, Jordan

La mayoría de las buenas prácticas de gestión del carbono orgánico en los suelos giran alrededor de la gestión integrada del agua y los nutrientes, medidas para el control de la erosión, y mantenimiento de la cobertura del suelo[53]. Por ejemplo, la agricultura de conservación garantiza una labranza mínima del suelo, cobertura del suelo con un manto de abono, y rotación de cultivos, que se combinan para aumentar la materia orgánica en el suelo y su fertilidad[54]. La gestión sostenible de tierras de pastoreo hace énfasis en la gestión de la duración, la sincronización y la intensidad del pastoreo, para garantizar el mejor impacto posible de los herbívoros, como, por ejemplo, dispersión de semillas, abono orgánico, y eliminación de vegetación muerta[55]. ALa agroforestería es un sistema en el que se cultivan árboles o arbustos junto con otras cosechas y pastos, para aumentar la productividad, diversidad y resiliencia de las fincas[56]. Todas estas prácticas utilizan principios de sinergia y complementariedad para conservar la estructura del suelo, la humedad y los nutrientes[57] y eventualmente aumentar su capacidad de almacenar carbono.

Recuadro 6. Invertir en COS y en pastizales para el ganado y la seguridad hídrica – Asia Occidental

En Jordania, se está ampliando la escala de aplicación de la gestión de tierras de pastoreo a cargo de las comunidades como una manera de restaurar y proteger la tierra y la biodiversidad. Los análisis geoespaciales y los estudios de factibilidad sobre el renacimiento de la vegetación bajo protección comunitaria indican que puede lograrse la restauración de 23.470 km^2 de pastizales en Jordania, es decir, un 30% del total de áreas de pastizales del país. Los estudios también muestran que invertir en una gestión sostenible de las tierras de pastoreo (GSP), la conservación del suelo y del agua, la ganadería ecológica, las plantas y hierbas medicinales, el ecoturismo, y las energías renovables, podría contribuir a aumentar la biomasa y el forraje, incrementar la recarga de aguas subterráneas, reducir la sedimentación en los depósitos de agua, mejorar la absorción de carbono, y la conservación de la biodiversidad. Las evaluaciones económicas indican que la GSP en estas tierras de pastoreo podría aumentar la producción de forraje en aproximadamente 9.45 millones de dólares EUA, y aumentar la recarga de aguas subterráneas por un valor de 11 millones de dólares EUA anuales[58].

Existen desacuerdos importantes en cuanto a cómo proteger y restaura el COS en tierras de pastoreo, particularmente en lo que se refiere a impactos positivos y negativos de los herbívoros sobre la ecología de los pastizales. Algunos autores reportan un aumento en las reservas de COS en tierras de pastoreo bajo gestión intensiva[59] mientras que otros informan que el COS puede aumentarse reduciendo o excluyendo el pastoreo[60]. A final de cuentas, la influencia del pastoreo sobre el COS puede depender en buena medida del tipo de gestión, donde altos niveles de pastoreo constantes pueden resultar particularmente dañinos. En casos en que los patrones de pastoreo incorporan períodos de descanso y recuperación para los pastos, el impacto puede resultar más positivo. Por ejemplo, se ha encontrado que un pastoreo rotativo aumenta el COS en relación con un tipo de pastoreo de baja intensidad, pero continuo[61]. Un pastoreo muy intensivo también puede afectar la estructura del suelo y la materia orgánica en el suelo al compactar la superficie del suelo.

La gestión adecuada de los pastizales en general sincroniza el pastoreo con el ciclo de crecimiento de los pastos, aprovechando el papel positivo que juegan los herbívoros en la selección y distribución de especies apetecibles, y modificando las propiedades físicas y químicas del suelo[62]. La gestión de pastizales también afecta el ciclo del nitrógeno, puesto que los herbívoros reintegran nitrógeno digerible en altas concentraciones en las manchas de orina[63]. Se ha propuesto utilizar la gestión de incendios y fertilización para aumentar la absorción de carbono en pastizales, pero en la práctica la mayor parte de la absorción potencial en pastizales no degradados se logra por medio de cambios en las prácticas de pastoreo.

Aunque estos enfoques de gestión de la tierra todavía tienen que esforzarse para encontrar un ambiente favorable en algunos países, también debe destacarse que en otros han sido ampliamente adoptados. Por ejemplo, se calcula que 558 millones de personas en todo el mundo utilizan sistemas agroforestales en el 43% (más de 100 millones de hectáreas) de todas las tierras agrícolas, incluyendo 320 millones de hectáreas en Suramérica, 190 millones de hectáreas en África sub-sahariana, y 130 millones de hectáreas en el sureste de Asia[64]. La agroforestería no se practica únicamente en tierras áridas, pero ha resultado ser una forma popular de protección y restauración de tierras degradadas en un número creciente de países áridos.

Recuadro 7. Aumentar el COS y mejorar los rendimientos

La adopción de prácticas de gestión sostenible en tierras agrícolas y suelos degradados puede mejorar la calidad del suelo, incluyendo su capacidad de almacenar agua, la capacidad de intercambio de cationes, agregación de suelos, susceptibilidad de la capa superficial del suelo a generar corteza y erosión, con efectos positivos sobre la capacidad de almacenamiento de carbono. Investigaciones realizadas en Argentina, India y el Sahel africano occidental han mostrado que los rendimientos agrícolas pueden aumentar entre 20 y 70 kg/ha para el trigo, entre 10 y 50 kg/ha para el arroz, y entre 30 y 300 kg/ha para el maíz por cada incremento de 1000 kg/ha en el contenido de carbono orgánico del suelo cerca de las raíces. Esto implica beneficios obvios para la seguridad alimentaria de las regiones en desarrollo, y podría también compensar las emisiones de combustibles fósiles a un ritmo de 0.5 GtC/año por medio de la absorción de carbono en suelos agrícolas[65]. Sin embargo, para lograr aumentos tan grandes del COS se necesitan altos niveles de aporte de agua, lo que es una limitación importante en la mayoría de las tierras áridas, además de que implica posibles externalidades y costos de oportunidad que todavía no han sido explorados adecuadamente.

6. Invertir en biodiversidad y carbono orgánico en el suelo

Las soluciones para una gestión sostenible del suelo que permita conservar la biodiversidad de los suelos y el COS son bien conocidas y ya han sido validadas en diferentes países y contextos geográficos. A pesar de esto, muchos países siguen dando prioridad a prácticas de uso del suelo menos intensivas, mientras que los enfoques sostenibles quedan al margen de las prácticas dominantes. Hay muchas dificultades para incorporar la GSP a las prácticas comunes, incluyendo barreras generadas por la actitud de los responsables de tomar decisiones y de los inversionistas, así como restricciones en cuanto a la capacidad de los usuarios de la tierra.

La GSP puede ser integrada a la planificación del uso de la tierra[66] y se puede desarrollar incentivos económicos para la puesta en marcha de GSP por medio de modelos comerciales sostenibles, subsidios, o pagos por servicios de los ecosistemas. Este último modelo a menudo requiere conocimientos, habilidades, tecnologías y recursos adecuados, incluyendo mano de obra, energía y recursos económicos. Los costos de inversión iniciales pueden ser altos[67] y el tiempo que se tarda en obtener los beneficios de la inversión puede hacer que este tipo de proyectos resulte poco atractivo. Por ello, es necesario identificar formas de rendimiento económico y otros motores de inversión para promover su adopción entre los usuarios directos de las tierras (agricultores, arboricultores y pastores).

Recuadro 8. A menudo los incentivos para invertir en GSP no son financieros

Un estudio realizado entre 500 agricultores en África Occidental encontró que los motores principales para invertir incluían la presencia de niños (de edades entre 6 y 14 años) en el hogar, la tenencia de tierra, los derechos sobre la tierra, la conciencia y capacitación en medidas de conservación, y el acceso a fuentes de ingreso alternativas, tales como remesas[70] Algunos de estos factores podrían ser orientados para aumentar la adopción de prácticas sostenibles en zonas áridas de países en desarrollo (o países con economías en transición). En muchos casos, esto también involucra políticas de gobernanza locales mejor articuladas en relación con la tenencia de la tierra y las responsabilidades de gestión[71]. Las prácticas de GSP todavía están limitadas a una minoría de usuarios y profesionales innovadores del uso de la tierra, demostrando que los desafíos para la adopción de GSP son más complejos que el simple costo inicial de las nuevas tecnologías, y que incluyen aspectos ecológicos, institucionales, económicos y socioculturales[72].

Los beneficios de las prácticas de GSP alcanzan a personas que no son usuarios directos de la tierra (Recuadro 8), y esas externalidades pueden utilizarse para fomentar la creación de incentivos para la inversión, por ejemplo, por medio del pago por servicios ambientales (PSA). Se han hecho intentos de calcular el valor económico de los servicios individuales que aportan los suelos, el COS y la biodiversidad de los suelos, incluyendo estudios recientes que han organizado estos datos en formatos más accesibles[68]. Sin embargo, estos valores aproximados pueden variar mucho, en un rango que va desde 2 hasta 22.219 dólares de EUA /ha/año[69]. Si bien estos cálculos muestran que es necesario continuar investigando, tal y como están ya indican que el valor económico total de los servicios de los ecosistemas debido al COS será posiblemente considerable.

Recuadro 9. Invertir en COS y agroforestería para la producción de alimentos – África

La cuenca boscosa de Kelka, en la región de Mopti en Mali, cubre un área de 300.000 hectáreas, de las que buena parte se encuentra degradada. La restauración de las tierras degradadas y la adopción de prácticas agroforestales tienen el potencial de general 500 dólares de EUA por hectárea por año a lo largo de un horizonte de 25 años, lo que indica una relación de costo beneficio de 5.2:1 con una tasa de descuento del 10 por ciento[74]. Investigaciones realizadas en Europa y en China confirman que el componente forestal en la agroforestería tiene efectos positivos en la absorción de carbono, particularmente en la capacidad de los sistemas de raíces más profundos para almacenar carbono[75].

El rendimiento de las inversiones en conservación o mejoramiento de la tierra puede ser expresado en términos que van más allá de lo monetario, por medio del aumento de beneficios no monetarios tales como bienestar, sustentos más seguros, agua más limpia, reducción del riesgo de desastres, recreación, hábitat o valor natural, y experiencias estéticas y espirituales (Recuadro 9). Muchos usuarios de la tierra, por ejemplo, se ven motivados por los valores espirituales y culturales de la tierra, y estos servicios generalmente no pueden ser bien medidos en términos económicos. Las valoraciones económicas por sí solas no reflejan lo que se juega en una agenda social y ecológica, y es peligroso basarse exclusivamente en motores de mercado para alcanzar la sostenibilidad[73]. Los rendimientos económicos no son el único incentivo para hacer que la gente invierta, y depender únicamente de motivos financieros significa suponer que el valor de la naturaleza y el medio ambiente depende únicamente de la función que cumplen en términos de producción y consumo humano.

Recuadro 10. Restauración del paisaje a gran escala en China

En China, los proyectos para la Meseta de Loess movilizaron entre 1994 y 2005 491 millones de dólares EUA en financiamiento, y redujeron la erosión del suelo en casi 1 millón de hectáreas de tierras degradadas. Los proyectos se centraban en frenar las actividades que estaban produciendo la degradación – sobre todo cultivos en pendientes pronunciadas, tala de árboles y pastoreo de cabras al aire libre; además, involucraban introducir equipo pesado para construir terrazas más amplias y resistentes para el cultivo de granos, y alentar a los agricultores a plantar árboles para permitir que tierras marginales volvieran a su estado silvestre. Los proyectos aumentaron notablemente el rendimiento de la producción de cereales, restauraron el paisaje, y sacaron a más de 2.5 millones de personas de la pobreza, triplicando los ingresos de los agricultores. La erosión del suelo se redujo en 900.000 hectáreas de tierra, y las pérdidas de suelos se redujeron entre 60 y 100 Mt al año. El almacenamiento de carbono en el suelo también aumentó, sobre todo a causa de la restauración de bosques y pastizales. Desde entonces, el proyecto modelo ha sido ampliado para cubrir grandes áreas del país, gracias al programa chino de 40.000 millones de dólares de EUA "Cereales para reverdecer" [76].

En las tierras áridas, al igual que en otros ecosistemas, niveles más altos de COS son elementos decisivos para los servicios de regulación y aprovisionamiento de los ecosistemas, como biodiversidad, flujos hidrológicos, producción de alimentos, y absorción de carbono. El enriquecimiento y la inversión para mantener la calidad y los flujos de dichos servicios de los ecosistemas retroalimentan el mantenimiento de altos niveles de COS (Recuadro 10). El desafío consiste en movilizar los recursos financieros para una inversión adecuada para la multifuncionalidad de la tierra.

Los pastizales que dominan las tierras áridas se encuentran entre los biomas menos protegidos de la tierra. La protección de estas áreas por medio de la promoción de un pastoreo sostenible y otras formas de gestión del pastoreo puede impedir el aumento de emisiones de carbono, además de que restaurar los pastizales de antiguas tierras agrícolas puede aumentar la absorción de carbono[78]. Una forma rentable de proteger la biodiversidad de los suelos y el carbono orgánico del suelo es proteger del cultivo a las tierras no cultivadas, tales como pastos naturales y bosques. La cobertura de áreas protegidas en tierras áridas está cerca del promedio mundial, es decir, cerca de un 9% de la tierra está protegida, por debajo de la ambición de la Meta 11 de Aichi ("al menos 17% de las áreas terrestres y de aguas continentales… conservadas por medio de… sistemas de áreas protegidas y otras medidas eficaces de conservación basadas en áreas"[79]).

Recuadro 11. Financiamiento de beneficios externos de la gestión agrícola sostenible en Australia

En Australia, el gobierno federal desarrolló iniciativas políticas para alentar a los agricultores a reducir las emisiones por medio de sus prácticas de gestión. La política principal es un mecanismo de mercado para pagar a los agricultores a partir de un Fondo para la Reducción de Emisiones, para que utilicen metodologías especificadas en la Iniciativa Australiana de Agricultura con Carbono. Dicha Iniciativa permite a los agricultores y gestores de la tierra ganar créditos de carbono por medio del almacenamiento de carbono y la reducción de emisiones de gases de invernadero en sus tierras. Esos créditos pueden ser vendidos a personas o empresas que desean compensar sus emisiones. La adopción de prácticas agrícolas de conservación en el sector de producción de cereales en las tierras áridas de Australia demuestra el potencial de lograr reducciones en las emisiones del orden de tres millones de tCO2 al año. El principal motor de cambio en Australia parece ser la búsqueda de los beneficios de la productividad agrícola más que los beneficios ambientales de reducir las emisiones de gases de invernadero, con énfasis en la necesidad de políticas y prácticas de gestión sostenible de la tierra que aporten buenos rendimientos financieros a los usuarios de la tierra. Las principales prácticas que incentiva el marco de políticas en cuestión son las prácticas de agricultura de conservación, tales como labranza reducida, mantenimiento de rastrojos de los cultivos, y siembra de leguminosas, tal y como se describe en el Manual de la Iniciativa de agricultura de carbono[77].

Muchas tierras áridas ofrecen amplio espacio para la innovación en el desarrollo de cadenas de valores para premiar la multifuncionalidad. Esto se ha logrado, por ejemplo, por medio de la comercialización de productos naturales cosechados en forma sostenible, ecoturismo, y certificación de mercancías producidas en forma sostenible. Aunque cada una de estas opciones puede tener alcances limitados, juntas pueden representar incentivos importantes para la gestión sostenible, combinada con la oportunidad de crecimiento y diversificación. Las políticas de apoyo al desarrollo de pequeñas y medianas empresas pueden ser particularmente relevantes para ocupar este nicho.

Recuadro 12. El caso de la inversión en tierras de pastoreo sostenibles en Portugal

Portugal introdujo un sistema de compensación del carbono del suelo basado en la mejoría de los pastos de tierras áridas, para lo que se destinaron 8.5 millones de Euros para pagar a unos 400 agricultores participantes para mejorar cerca de 42.000 hectáreas de pastizales, con el fin de absorber 0.91 millones de toneladas de equivalente de dióxido de carbono. Para lograrlo, los agricultores emplearon una técnica conocida como siembra de pastos permanentes biodiversos ricos en leguminosas, lo que aumenta el contenido de carbono en los suelos degradados. Las áreas de pastizales tienen por lo general bajas reservas de carbono, y se ha demostrado que esta técnica aumenta notablemente el COS en estos suelos degradados. El mejoramiento de las 42.000 hectáreas permitirá a los agricultores ganar entre 150 y 200 Euros por hectárea sembrada de pastizales[80]. Las modalidades para financiar la restauración y la gestión sostenible del carbono orgánico en el suelo en tierras áridas podrían inspirarse en los sistemas de pago por servicios ambientales de los ecosistemas (PSA) (ver Recuadro 12). Se podría utilizar el razonamiento de PSA para justificar los flujos internacionales de financiamiento de beneficiarios externos, para los que están ejecutando y contribuyendo a la inversión en Gestión Sostenible de la Tierra y de esta forma mantener y aumentar el COS[81]. También se necesitan inversiones facilitadoras en muchos países, por ejemplo, para asegurar la tenencia de la tierra y mitigar de esa forma posibles injusticias, o para establecer una infraestructura que permita el desarrollo de una cadena de valores.

Conforme se extienden los beneficios de mantener y fortalecer los servicios de los ecosistemas más allá de los usuarios directos de la tierra, pueden hacerse necesarios mecanismos de compensación otorgados por beneficiarios fuera del sitio a los propietarios de la tierra, para garantizar el flujo de beneficios. Es necesario desarrollar modalidades que garanticen que los beneficiarios “río abajo” contribuyan a financiar los beneficios de los que disfrutan, como una mayor recarga y disponibilidad de aguas subterráneas, la reducción de la sedimentación en embalses, mayor biodiversidad, o mejor absorción de carbono para mitigar el cambio climático. De hecho, algunos servicios de los ecosistemas áridos también aportan beneficios para la sociedad en general, y es necesario seguir innovando para asegurarse de que los beneficiarios globales paguen a los propietarios de las tierras por esos servicios que ofrecen, gracias a las prácticas de gestión sostenible de la tierra que han adoptado[83].

Recuadro 13. Inversiones en pastoreo sostenible en Jordania

Los paquetes de inversión propuestos para la gestión sostenible de tierras de pastoreo en Jordania, junto con las inversiones relacionadas con la protección comunitaria de los pastizales, y asociados a los mecanismos de gobernanza local, tienen un gran potencial para generar beneficios locales y sociales a partir de los ecosistemas, y de contribuir a la conservación mundial de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y otros objetivos. La contribución de 20 millones de dólares EUA al año, generada por los paquetes de inversión propuestos para el 30% de las tierras de pastoreo de Jordania, podría constituir una base para atraer los flujos necesarios de capital y financiamiento. En efecto, con base en estas inversiones se han desarrollado propuestas de mecanismos de pago por servicios de los ecosistemas, que podrían implicar **dos tipos de pagos por servicios de los ecosistemas: un crédito por pastoreo verde** en forma de subsidio para las cooperativas de pastores responsables de la gestión sostenible de tierras de pastoreo en áreas seleccionadas, y un **crédito verde por el agua** que se otorgaría a las mismas cooperativas por aumentar la recarga de aguas subterráneas. Un sistema mundial de Pagos por Servicios de los Ecosistemas podría ser la plataforma necesaria a nivel global, a la vez que las inversiones en ecoturismo y energía renovable podrían ser el vehículo adecuado, por medio de sistemas de impuestos y permisos, para desarrollar modalidades de PSA a nivel nacional. Ambos tipos de PSA podrían generar los flujos financieros (nacionales e internacionales) necesarios para invertir en un aumento de la producción de biomasa y biodiversidad, conservación de suelos, mejoramiento de flujos de agua, absorción de carbono, y las estructuras de gobernanza local necesarias. El Gobierno de Jordania está evaluando una variedad de medidas para permitir estos procesos, incluyendo el establecimiento de Zonas Económicas y Ecológicas de Pastoreo, Áreas de Conservación Verificada, y un Fondo para la gestión de ecosistemas de pastizales[82].

7. Opciones de políticas para conservar la biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos

Este Informe Técnico resalta la forma en que el carbono orgánico y la biodiversidad de los suelos son los cimientos necesarios para los servicios de los ecosistemas terrestres. Están entre los principales factores determinantes para la producción de alimentos, el suministro de agua, la biodiversidad superficial y la regulación del clima, y juegan un papel importante en el sustento de los habitantes rurales y en la reducción de riesgos por desastres. **La biodiversidad y el carbono orgánico en los suelos son a la vez recursos naturales y bienes públicos, y el gobierno debe jugar un papel importante para asegurar una gestión adecuada de la tierra para el bienestar de la sociedad.**

Las tierras áridas ofrecen más posibilidades de absorción de carbono y mitigación del cambio climático de lo que generalmente se reconoce. Cubren una gran proporción de la tierra y una parte importante de sus tierras han perdido COS debido a procesos de degradación. **La restauración y rehabilitación de las tierras áridas representan oportunidades importantes para la absorción de carbono a nivel mundial**. A pesar de esto, a menudo es necesario adaptar los enfoques convencionales de restauración para las condiciones locales de las tierras áridas, mientras que, tanto las políticas como las inversiones, necesitan apoyarse en información actualizada sobre los niveles existentes y potenciales de COS.

Son necesarias estrategias gubernamentales para orientar las inversiones en tierras áridas de los usuarios locales de la tierra, empresas privadas y otros actores interesados, para poder cumplir con su responsabilidad pública de proteger y promover la multifuncionalidad de la tierra. Las inversiones en biodiversidad y carbono orgánico en los suelos de tierras áridas pueden generar un rendimiento importante debido tanto a la cantidad como al valor de los beneficios asociados, así como a la amplia superficie de **las tierras en cuestión. Sin embargo, las inversiones deben ser hechas a la medida para generar una multifuncionalidad a gran escala, en vez de maximizar bienes y servicios individuales**.

Para generar las condiciones que permitan mejorar las inversiones en carbono orgánico y biodiversidad de los suelos pueden ser adoptadas diferentes medidas. Entre ellas se destacan seis opciones complementarias que se discuten en esta sección:

1. Evaluar la gestión de la tierra en función del suministro sostenible de bienes y servicios diversos;

2. Reforzar políticas y legislaciones para ampliar la escala de la gestión sostenible de la tierra y de la restauración o rehabilitación del paisaje;

3. Mejorar los mecanismos de gobernanza local para apoyar a los usuarios de la tierra en sus prácticas de gestión sostenible de la tierra;

4. Reforzar la información disponible sobre la tierra para facilitar la planificación y supervisión a escala del paisaje;

5. Establecer servicios de divulgación que ayuden a los usuarios de la tierra a adoptar prácticas de gestión sostenible; y

6. Generar condiciones que faciliten la inversión privada en la gestión sostenible de la tierra.

- ## Evaluar la gestión de la tierra en función del suministro sostenible de bienes y servicios diversos

Se hacen necesarios más esfuerzos para reforzar los argumentos a favor de la gestión sostenible del carbono orgánico y la biodiversidad de los suelos, para lo que es necesario aportar pruebas de los diversos beneficios económicos, y supervisar el desempeño de los usuarios de la tierra en función de los múltiples servicios de los ecosistemas. Ya existen las tecnologías necesarias, y han sido puestas a prueba en diferentes contextos para demostrar los beneficios que aporta la gestión sostenible de la tierra, tanto a los usuarios de la tierra como a la sociedad en general. Las evaluaciones económicas también pueden ayudar a orientar las políticas, demostrando la relación costo-beneficio de adoptar prácticas de GSP, e identificando áreas en las que puede ser necesario introducir incentivos adicionales, tales como pagos por servicios ambientales, para facilitar la transición hacia prácticas de gestión más sostenibles. En algunos casos, se necesitan pruebas adicionales para demostrar cómo el carbono orgánico y la biodiversidad de los suelos contribuyen a la biomasa en la superficie, la productividad agrícola, el ciclo del agua, y la mitigación del cambio climático.

- ## Reforzar políticas y legislaciones para ampliar la escala de la gestión sostenible de la tierra y la restauración o rehabilitación del paisaje

Es necesario contar con políticas y legislación adecuadas para que la gestión sostenible de la tierra pase de ser una serie de proyectos secundarios a representar el grueso de las inversiones en agricultura y otros usos de la tierra. Esto podría lograrse por medio de un apoyo explícito hacia algunos tipos de gestión de la tierra (como por ejemplo agroforestería, agricultura de conservación, gestión de pastoreo), o de reglamentos para responder a ciertos indicadores claves de sostenibilidad, como el carbono orgánico en el suelo. Puede ser necesario crear incentivos en casos en que las inversiones necesarias para la gestión sostenible de la tierra sean superiores a los recursos financieros u operativos de los usuarios locales de la tierra. En este contexto, es importante comprender el valor de las estrategias de gestión del riesgo establecidas por los usuarios de la tierra; no debe confundirse la resistencia a abandonar estrategias que ya han sido puestas a prueba con ignorancia. Para lograr un uso multifuncional de la tierra, también es necesario alcanzar acuerdos institucionales para la coordinación multisectorial y la colaboración en la gestión de la tierra, y sobre las modalidades de gobernanza local para la gestión de los recursos naturales. Para todo esto es necesario promover la gestión sostenible de la tierra y dar prioridad a las metas nacionales de Neutralidad de degradación de tierras en las agendas políticas nacionales.

- ## Mejorar los mecanismos de gobernanza local para apoyar a los usuarios de la tierra en sus prácticas de gestión sostenible de la tierra

También es necesario el apoyo de las políticas gubernamentales para reforzar la gobernanza local de los recursos naturales y la seguridad de la tenencia. Una tenencia de tierra segura y una gobernanza local adecuada de los recursos naturales son indispensables para lograr la gestión sostenible de la tierra y para mantener o aumentar el carbono orgánico y la biodiversidad del suelo. Es necesario garantizar los derechos de los hombre y mujeres y de los pueblos indígenas de tener acceso y hacerse cargo de la gestión de la tierra. Para esto puede ser necesario (re)establecer instituciones locales y reglamentos que faciliten la aplicación de los conocimientos locales; por ejemplo, las reglas locales sobre tala de árboles, acceso al agua, o pastizales para pastoreo estacional. También son parte de la gobernanza local el respeto por el conocimiento y las instituciones locales, la creación de consensos, y la garantía de equidad por medio de enfoques participativos, el apoyo político, legal e institucional, y una tenencia segura de la tierra y los recursos, conformando un conjunto de sistemas que controlan e interceden en la toma de decisiones sobre desarrollo y gestión de los recursos de la tierra, para que las tomen los usuarios locales, en consulta con los actores externos interesados.

- ## Reforzar la información disponible sobre la tierra para facilitar la planificación y supervisión a escala del paisaje

Es necesario garantizar la disponibilidad de datos biofísicos y socioeconómicos claves sobre la tierra, para que puedan acceder a ellos los responsables de la toma de decisiones, tanto a nivel local como nacional. Esto incluye información sobre el uso de la tierra, su potencial, tenencia, tendencias de cambio en el uso de la tierra, valor de la tierra, potencial para la absorción subterránea y superficial de carbono, y las condiciones de degradación de la tierra. Esta información debe mantenerse actualizada y accesible a todos los usuarios. En la mayor parte de los países, es necesario invertir más en la supervisión de la degradación de la tierra, incluyendo el uso de los indicadores aceptados por las Partes en la CLD para dar seguimiento a los avances hacia el objetivo de Neutralidad de Degradación de Tierras: tendencias de cobertura de la tierra, tendencias de productividad o funcionamiento de la tierra, y tendencias de reservas subterráneas y superficiales de carbono.

- ## Establecer servicios de divulgación que ayuden a los usuarios de la tierra a adoptar prácticas de gestión sostenible

Es necesario contar con servicios de divulgación cuyo principal objetivo sea promover la gestión sostenible de la tierra o algunos elementos de sostenibilidad claves. Los gobiernos tienen que tomar decisiones sobre cómo promover la gestión sostenible de la tierra, mientras que los agricultores necesitan capacitarse sobre los nuevos enfoques, como por ejemplo agroforestería o agricultura de conservación. En muchos casos, para lograr esto será necesaria una actualización profesional importante para el personal de divulgación, junto con una inversión en programas de capacitación vocacional y de educación superior, para superar décadas de estar promoviendo sistemas insostenibles de gestión de la tierra. En los casos en que la adopción de sistemas de gestión sostenible de la tierra exponga a los usuarios de la tierra a nuevos riesgos, o cuando las inversiones necesarias superan su capacidad económica y organizativa, puede ser necesario aportar incentivos y medidas para la mitigación de riesgos. Estos incentivos se ven frecuentemente justificados por el gran valor y diversidad de los beneficios sociales obtenidos, tanto a nivel local como mundial.

- ## Generar condiciones que faciliten la inversión privada en la gestión sostenible de la tierra

La gestión sostenible de la tierra implica frecuentemente cambios en las prácticas e insumos agrícolas, y en algunos casos también puede influenciar el tipo de producción agrícola. Esto tiene consecuencias importantes para el sector privado. Las empresas privadas juegan un papel importante en el desarrollo de productos y servicios innovadores y de nuevos mercados para apoyar las prácticas de GST. Por ejemplo, la reducción de la labranza puede generar cambios en el régimen de fertilizantes y herbicidas, y puede hacer necesario el uso de maquinaria agrícola. Es necesario concentrar más la atención en la diversificación de mercados para los servicios de los ecosistemas, y esto podría incluir la certificación en ciertos nichos de productos de alto valor, como plantas medicinales y productos de ganadería ecológica en sistemas agrícolas y paisajes sostenibles.

Referencias

Adhikari K. and Hartemink A.E., 2016. Linking soils to ecosystem services—A global review. Geoderma, 262, 101-111. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009

Aerni P., 2016. The sustainable provision of environmental services. From regulation to innovation. Springer: Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19345-8

Álvaro-Fuentes J., López M.V., Cantero-Martinez C. and Arrúe J.L., 2007. Tillage Effects on Soil Organic Carbon Fractions in Mediterranean Dryland Agroecosystems. Soil Science Society of America Journal Abstract - SOIL and WATER MANAGEMENT and CONSERVATION; Vol. 72 No. 2, p. 541-547

Amundson R., Berhe A.A., Hopmans J.W., Olson C., Sztein A.E. and Sparks D.L., 2015. Soil and human security in the 21st century. Science, 348, 1261071. https://doi.org/10.1126/science.1261071

Arriagada R. and Perrings C., 2009. Making Payments for Ecosystem Services Work. Policy Brief, UNEP: Nairobi. 32 pages. Available at: http://bioecon-network.org/pages/UNEP_publications/02%20PES.pdf

Australian Government, 2012. The Carbon Farming Initiative Handbook, Canberra, Australia, Australian Department of Climate Change and Energy Efficiency.

Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L. and Schaepman M.E., 2008. Proxy global assessment of land degradation. Soil use and management, 24, 223-234. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x

Banwart S., Black H., Cai Z., Gicheru P., Joosten H., Victoria R., Milne E., Noellemeyer E., Pascual U. and Nziguheba G., 2014. Benefits of soil carbon: report on the outcomes of an international scientific committee on problems of the environment rapid assessment workshop. Carbon Management, 5, 185-192. https://doi.org/10.1080/17583004.2014.913380

Bastin J-F., Berrahmouni N., Grainger A., Maniatis D., Mollicone D., Moore R., Patriarca C., Picard N., Sparrow B. and Abraham E. M., 2017. The extent of forest in dryland biomes. Science, 356, 635-638. https://doi.org/10.1126/science.aam6527

Batjes N., 2016. Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks. Geoderma, 269, 61-68. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.034

Batjes N.H., 2004. Estimation of soil carbon gains upon improved management within croplands and grasslands of Africa. Environment, Development and Sustainability 6: 133-143. https://doi.org/10.1023/B:ENVI.0000003633.14591.fd

Baveye P.C., Baveye J. and Gowdy J., 2016. Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. Frontiers in Environmental Science, 4, 41. https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041

Beare M., Mcneill S., Curtin D., Parfitt R., Jones H., Dodd M, and Sharp J., 2014. Estimating the organic carbon stabilisation capacity and saturation deficit of soils: a New Zealand case study. Biogeochemistry, 120, 71-87. https://doi.org/10.1007/s10533-014-9982-1

Belnap J. and Lange O.L., 2003. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Ecological Studies, Volume 150. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8

Bernoux M. and Chevallier T., 2014. Carbon in dryland soils: multiple essential functions. In: INTERNATIONAL, C. A. (ed.) Les dossiers thematiques du CSFD. France.

Bishop J. and Hill C. (eds.), 2014. Global Biodiversity Finance: The Case for International Payments for Ecosystem Services. Edward Elgar, Cheltenham. https://doi.org/10.4337/9781782546955

Blair G.J., Lefroy R.D. and Lisle L., 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. Crop and Pasture Science, 46, 1459-1466.

Bonachela J.A., Pringle R.M., Sheffer E., Coverdale T.C., Guyton J.A., Caylor K.K., Levin S.A. and Tarnita C.E., 2015. Termite mounds can increase the robustness of dryland ecosystems to climatic change. Science, Vol. 347, No. 6222, 06.02.2015, p. 651-655.

Booker K., Huntsinger L., Bartolome J.W., Sayre N.F. and Stewart W., 2013. What can ecological science tell us about opportunities for carbon sequestration on arid rangelands in the United States? Global Environmental Change Vol 23 (1), February 2013, Pages 240-251. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.001

Boucher D. and Ferretti-Gallon K., 2015. Halfway There? What the Land Sector Can Contribute to Closing the Emissions Gap. Union of Concerned Scientists.

Brady M.V., Hedlund K., Cong R-G., Hemerik L., Hotes S., Machado S., Mattsson L., Schulz E. and Thomsen I.K., 2015. Valuing supporting soil ecosystem services in agriculture: a Natural Capital Approach. Agronomy Journal, 107, 1809-1821. https://doi.org/10.2134/agronj14.0597

Brady N. and Weil R., 1999. The nature and properties of soil 12th ed. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey.

Cardinael R., Chevallier T., Cambou A., Beral C., Barthes B.G., Dupraz C., Durand C., Kouakoua E. and Chenu C., 2016. Increase of soil organic carbon stock under agroforestry: a survey of different sites in France. Presentation at Third European Agroforestry Conference, 23-25 May 2016, Montpellier

Comerford N.B., Franzluebbers A.J., Stromberger M.E., Morris L., Markewitz D. and Moore R., 2013. Assessment and evaluation of soil ecosystem services. Soil Horizons, 54.

Conant R.T., Six J. and Paustian K., 2003. Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. Management-intensive versus extensive grazing. Biol Fertil Soils (2003) 38:386–392

Cooper P.J., Cappiello S., Vermeulen S., Campbell B.M., Zougmoré R.B. and Kinyangi J., 2013. Large-scale implementation of adaptation and mitigation actions in agriculture.

Dang Y., Ren W., Tao B., Chen G., Lu C., et al., 2014. Climate and Land Use Controls on Soil Organic Carbon in the Loess Plateau Region of China. PLOS ONE 9(5): e95548. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095548

Davies J., Poulsen L., Schulte-Herbrüggen B., Mackinnon K., Crawhall N., Henwood W.D., Dudley N., Smith J. and Gudka M., 2012. Conserving Dryland Biodiversity. IUCN, Nairobi, xii +84p

Davies J., Niamir-Fuller M., Kerven C. and Bauer K., 2010. Extensive Livestock Production in Transition: The Future of Sustainable Pastoralism. In: Steinfeld et al. (eds.), Livestock in a Changing Landscape, Volume 1: Drivers, consequences and responses. Island Press.

Davies J., Ogali C., Laban P., Metternicht G., 2015. Homing in on the Range: Enabling Investments for Sustainable Land Management. Technical Brief 29/01/2015. IUCN Global Drylands Initiative and the IUCN Commission on Ecosystem Management

Diaz-Zorita M., Duarte G.A. and Grove J.H., 2002. A review of non-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research 65, 1-18. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00274-4

Dumanski J., Peiretti R., Benetis J., McGarry D. and Pieri C., 2006. The paradigm of conservation tillage. Proc. World Assoc. Soil and Water Conserv., P1: 58-64.

ELD INITIATIVE, 2015. The value of land: Prosperous lands and positive rewards through sustainable land management. The Economics of Land Degradation, Bonn, Germany.

Emerson W., 1995. Water-retention, organic-C and soil texture. Soil Research, 33, 241-251. https://doi.org/10.1071/SR9950241

FAO, 2007. State of the World's forests 2007. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.

FAO, 2009. How to Feed the World in 2050. Issues Brief for the High-Level Expert Forum, Rome 12-13 October 2009. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/wsfs/forum2050/wsfs-background-documents/issues-briefs/en/

FAO, 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.

Farage P., Pretty J. and Ball A., 2003. Biophysical Aspects of Carbon Sequestration in Drylands. University of Essex.

Ferrenberg S., Reed S.C. and Belnap J., 2015. Climate change and physical disturbance cause similar community shifts in biological soil crusts. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 112: 12116–12121

Ferrenberg S., Tucker C. and Reed S., 2017. Biological soil crusts: Diminutive communities of potential global importance. Frontiers in Ecology and the Environment 15(3). https://doi.org/10.1002/fee.1469

Gifford R.M., Cheney N.P., Nobel J.C., Russell J.S., Wellington A.B. and Zammit C., 1992. Australian Land Use, primary production of vegetation and carbon pools in relation to atmospheric carbon dioxide levels. Bureau of Rural Resources Proceeding 14, 151-187.

Gougoulias C., Clark J.M. and Shaw L.J., 2014. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94, 2362-2371. https://doi.org/10.1002/jsfa.6577

Havlicek E. and Mitchell E.A., 2014. Soils Supporting Biodiversity. Interactions in Soil: Promoting Plant Growth. Springer.

INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOIL, 2015. Status of the World's Soil Resources. Rome, Italy.

Jenkinson D.S., Harris H.C., Ryan J., Mcneil A.M., Pilbeam C.J. and Coleman K., 1999. Organic matter turnover in calcareous soil from Syria under a two-course cereal rotation. Soil Biology and Biochemistry 31, 687-693. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00157-6

Jónsson J.Ö.G. and Davíðsdóttir B., 2016. Classification and valuation of soil ecosystem services. Agricultural Systems, 145, 24-38. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010

Kibblewhite M., Chambers B. and Goulding K., 2016. How good is the evidence to support investment in soil protection? Soil Use and Management, 32, 172-182. https://doi.org/10.1111/sum.12236

Kirk G. and Bellamy P., 2010. Analysis of changes in organic carbon in mineral soils across England and Wales using a simple single-pool model. European journal of soil science, 61, 406-411. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01242.x

Koch A., Mcbratney A., Adams M., Field D., Hill R., Crawford J., Minasny B., Lal R., Abbott L. and O'Donnell A., 2013. Soil security: solving the global soil crisis. Global Policy, 4, 434-441. https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096

Köchy, M., Hiederer R. and Freibauer A., 2015. Global distribution of soil organic carbon–Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. Soil, 1, 351-365. https://doi.org/10.5194/soil-1-351-2015

Kpadonou R.A.B., Owiyo T., Barbier B., Denton F., Rutabingwa F. and Kiema A., 2017. Advancing climate-smart-agriculture in developing drylands: Joint analysis of the adoption of multiple on-farm soil and water conservation technologies in West African Sahel. Land Use Policy, 61, 196-207. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.050

Kumar P., 2010. The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations, UNEP/Earthprint.

Laban/IUCN-MoA Jordan, 2015. Sustainably Investing in the Jordan Rangelands; a study on rangeland investment options commissioned by IUCN and the Jordan MoA. IUCN ROWA, Amman

Lal R., 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degradation and Development, 17, 197-209. https://doi.org/10.1002/ldr.696

Lal R., 2008. Soil health and carbon management. Food and Energy Security. Volume 5, Issue 4

Li J., Luo J., Shi Y., Houlbrooke D., Wang L., Lindsey S. and Li Y., 2015. Nitrogen gaseous emissions from farm effluent application to pastures and mitigation measures to reduce the emissions: a review, New Zealand Journal of Agricultural Research. https://doi.org/10.1080/00288233.2015.1028651

Martin-Piera F. and Lobo J.M., 1995. Diversity and ecological role of dung beetles in Iberian grassland biomes. In: Farming on the edge: the nature of traditional farmland in Europe, ed. by. DJ. McCracken, EM. Bignal and SE. Wenlock, 147-153. Peterborough, Joint Nature. Conservation Committee.

McBratney A., Field D.J. and Koch A., 2014. The dimensions of soil security. Geoderma, 213, 203-213. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013

McGahey D., Davies J., Hagelberg N. and Ouedraogo R., 2014. Pastoralism and the Green Economy – a natural nexus? Nairobi: IUCN and UNEP. x + 58p

Metternicht G., 2018. Land Use and Spatial Planning Enabling Sustainable Management of Land Resources. Springer Briefs in Earth Sciences. 116 pages. Springer Nature: Switzerland.

Milne E., Banwart S.A., Noellemeyer E., Abson D.J., Ballabio C., Bampa F., Bationo A., Batjes N.H., Bernoux M. and Bhattacharyya T., 2015. Soil carbon, multiple benefits. Environmental Development, 13, 33-38. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2014.11.005

Nair P.K.R., Kumar B.M. and Nair V., 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172(1):10 – 23. https://doi.org/10.1002/jpln.200800030

Nellemann C., 2009. The environmental food crisis: the environment's role in averting future food crises: a UNEP rapid response assessment, UNEP/Earthprint.

NEW CLIMATE ECONOMY, 2014. Better growth, better climate. The New Climate Economy Report, The Global Commission on the Economy and Climate.

Orgiazzi A., Bardgett R.D., Barrios E., Behan-Pelletier V., Briones M.J., Chotte J-L., De Deyn G.B., Eggleton P., Fierer N. and Fraser T., 2016. Global soil biodiversity atlas. Publications Office of the European Union.

O'Rourke S.M., Angers D.A., Holden N.M. and McBratney A.B., 2015. Soil organic carbon across scales. Global change biology, 21, 3561-3574. https://doi.org/10.1111/gcb.12959

Ospina C., 2017. Climate and economic benefits of agroforestry systems. The Climate Institute, Washington

Petersen E. and Hoyle F., 2016. Estimating the economic value of soil organic carbon for grains cropping systems in Western Australia. Soil Research, 54, 383-396. https://doi.org/10.1071/SR15101

Pribyl D.W., 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma, 156, 75-83. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003

Rochecouste J-F., Dargusch P., Cameron D. and Smith C., 2015. An analysis of the socio-economic factors influencing the adoption of conservation agriculture as a climate change mitigation activity in Australian dryland grain production. Agricultural Systems, 135, 20-30. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.12.002

Rockstrom J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Stuart III Chapin F., Lambin E., et al., 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. Resilience Alliance. Ecology and Society 14(2): 32. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/

Rowarth K., 2017. Doughnut Economics: Seven Ways to Think like a 21st Century Economist. Chelsea Green Publishsers, US

Safriel U., Adeel Z., Niemeijer D., Puigdefabregas J., White R., Lal R., Winslow M., Ziedler J., Prince S., Archner E. and King C., 2005. Dryland systems. In: Hassan, R Scholes, R.J., Ash, N. (Eds.), Ecosystems Human Well-Being. Findings of the Conditions Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment, vol. 1. Island Press, Washington D.C., U.S.A, pp. 623–662.).

Scharlemann J.P., Tanner E.V., Hiederer R. and Kapos V., 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. Carbon Management, 5, 81-91. https://doi.org/10.4155/cmt.13.77

Sidibe Y., Myint M. and Westerberg V., 2014. An economic valuation of agroforestry and land restoration in the Kelka Forest, Mali. Assessing the socio-economic and environmental dimensions of land degradation. Report for the Economics of Land Degradation Initiative. Nairobi, Kenya.

Silveira M.C.T., da Silva S.C., De Souza Junior S.J., Martins Barbero L., Santos Rodrigues C., Limão V.A., da Silva Pena K. and Do Nascimento Junior D., 2013. Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of Márcia Cristina Teixeira da Silveira. Scientia Agricola 704:242-249. https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400004

Six J., Conant R., Paul E.A. and Paustian K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and soil, 241, 155-176.

Smith P., 2005. An overview of the permanence of soil organic carbon stocks: influence of direct human-induced, indirect and natural effects. European Journal of Soil Science, October 2005, 56, 673–680

Smith P., 2014. Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? Global change biology, 20, 2708-2711. https://doi.org/10.1111/gcb.12561

Smith P., Haberl H., Popp A., Erb K.H., Lauk C., Harper R., Tubiello F.N., Siqueira Pinto A., Jafari M. and Sohi S., 2013. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? Global Change Biology, 19, 2285-2302. https://doi.org/10.1111/gcb.12160

Sudgen A., Stone R. and Ash C., 2004. Soils–The Final Frontier. Science, 304, 1613.

Teague W.R., Dowhowera S.L., Baker S.A., Haile N, DELAUNE PB and CONOVER DM, 2011. Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol 141, Issues 3–4, Pages 310-322. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009

UNCCD SPI, 2017 Policy Brief No. 3: Sustainable Land Management Solutions. http://www2.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/Policy_brief_ENG.pdf

UNESCO, 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO.

UNEP, 2011. Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. United Nations Environment Programme, Nairobi.

van Der Putten W.H., Anderson J., Bardgett R., Behan-Pelletier V., Bignell D., Brown G., Brown V., Brussaard L., Hunt H. and Ineson P., 2004. The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments: 15-43.

van Der Wal A. and De Boer W., 2017. Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. Soil Biology and Biochemistry, 105, 45-48. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.11.006

Vignola R., Harvey C.A., Bautista-Solis P., Avelino J., Rapidel B., Donatti C. and Martinez R., 2015. Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints, In Agriculture, Ecosystems and Environment, Volume 211, 2015, Pages 126-132, ISSN 0167-8809

Wang S., Wilkes A., Zhang Z., Chang X., Lang R., Wang Y. and Niu H., 2011. Management and land use change effects on soil carbon in northern China's grasslands: a synthesis, Agriculture, Ecosystems and Environment 142 (2011) 329– 340. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.002

Watson L., 2010. Portugal gives green light to pasture carbon farming as a recognised offset. Australian Farm Journal, 44-47.

Weber J-L., 2007. Accounting for soil in the SEEA. European Environment Agency, Rome.

Weissert L., Salmond J. and Schwendenmann L., 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO2 efflux across urban land use and soil cover types. Geoderma, 271, 80-90. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.02.014

Zomer R.J., Trabucco A., Coe R. and Place F., 2009. Trees on farm: analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry. ICRAF Working Paper. Nairobi: World Agroforestry Centre (ICRAF).

Notas finales

1. Sudgen et al., 2004, Weber, 2007; Jónsson and Davíðsdóttir, 2016; Brady and Weil, 1999
2. Orgiazzi et al., 2016
3. Ferrenberg et al., 2015; Ferrenberg et al., 2017
4. Bernoux and Chevallier, 2014; Pribyl, 2010; FAO, 2017; Kibblewhite et al., 2016
5. Bonachela et al., 2015; Marint-Piera and Lobo, 1995; Orgiazzi et al., 2016.
6. Belnap and Lange, 2003
7. Brady and Weil, 1999
8. Van der Putten et al., 2004
9. Amundson et al., 2015
10. Emerson, 1995
11. Havlicek and Mitchell, 2014
12. Bernoux and Chevallier, 2014
13. Brady et al., 2015
14. Available from www.iucn.org/drylands:
    - Land Degradation Neutrality: implications and opportunities for conservation. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/tech_brief_land_degradation_neutrality_revised_2017_2.pdf
    - Homing in on the Range: Enabling Investments for Sustainable Land Management. http://cmsdata.iucn.org/downloads/technical_brief___investing_in_slm_2.pdf
15. Banwart et al., 2014; Milne et al., 2015; Baveye et al., 2016; van der Wal and de Boer, 2017; Bernoux and Chevallier, 2014; FAO, 2017, Havlicek and Mitchell, 2014; Brady et al., 2015
16. ELD Initiative, 2015
17. van der Putten et al., 2004
18. Boucher and Ferretti-Gallon, 2015
19. Bai et al., 2008
20. FAO, 2009; UNESCO, 2012; Nellemann, 2009
21. New Climate Economy, 2014
22. ELD Initiative, 2015
23. Scharlemann et al., 2014; Batjes, 2016
24. Weissert et al., 2016; Batjes, 2016
25. Gougoulias et al., 2014; Köchy et al., 2015
26. O'Rourke et al., 2015
27. Blair et al., 1995; FAO, 2017
28. Petersen and Hoyle, 2016
29. Kibblewhite et al., 2016; Kirk and Bellamy, 2010; Smith, 2014
30. Davies et al., 2012
31. Bastin et al., 2017
32. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/WDCD/DLDD%20Facts.pdf
33. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/i0372e01.pdf
34. Davies et al, 2012
35. Safriel et al, 2005
36. Davies et al., 2015
37. Safriel et al, 2005
38. Bernoux and Chevallier, 2014; Lal, 2008
39. Gifford et al., 1992
40. Smith 2005
41. Six et al., 2002; Beare et al., 2014
42. Álvaro-Fuentes et al, 2007
43. Laban/IUCN-MoA Jordan, 2015
44. Diaz-Zorita et al., 2002; Jenkinson et al., 1999.
45. Farage et al., 2003
46. FAO, 2007
47. Batjes 2004
48. FAO, 2009
49. UNEP, 2011; Intergovernmental Technical Panel on Soil, 2015; FAO, 2017
50. McBratney et al.,2014
51. McBratney et al., 2014; Koch et al., 2013; Bernoux and Chevallier, 2014
52. Bernoux and Chevallier, 2014
53. FAO, 2017
54. Dumanski et al., 2006
55. Davies et al., 2010; McGahey et al., 2014
56. http://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/
57. Vignola et al, 2015
58. Laban/IUCN-MoA Jordan, 2015

59. Conant et al. 2003
60. Wang et al. 2011; Silveira et al. 2013; Smith et al. 2013
61. Teague et al. 2011
62. McGahey et al. 2014
63. Li et al. 2013
64. Nair et al., 2009; Zomer et al., 2009
65. Lal, 2006
66. Metternicht, 2018
67. Aerni, P. 2016
68. Jónsson and Davíðsdóttir, 2016; Adhikari and Hartemink, 2016; Comerford et al., 2013; Kumar, 2010; Banwart et al., 2014; Baveye et al., 2016; Milne et al., 2015; Brady et al., 2015
69. A summary of the economic value estimated in the literature for a range of different ecosystem services provided by soil can be found in Cameron et al., 2017
70. Kpadonou et al., 2017
71. Davies et al., 2015; Laban/IUCN-MoA Jordan, 2015
72. UNCCD SPI, 2017
73. Rowarth, 2017; Rockstrom, 2009
74. Sidibe et al., 2014
75. Cardinael, et al, 2016; Ospina, 2017
76. Dang et al., 2014; Cooper et al., 2013; New Climate Economy, 2014
77. Rochecouste et al., 2015; Australian Government, 2012
78. Booker et al 2013
79. https://www.cbd.int/sp/targets/rationale/target-11/
80. Watson, 2010
81. Bishop and Hill, 2014; Laban/IUCN-MoA Jordan, 2015
82. Laban/IUCN-MoA Jordan, 2015
83. Arriagada and Perrings, 2009

UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

Iniciativa Global para las Tierras Áridas
Mukoma Road (off Magadi Rd)
P. O. Box 68200 - 00200
Nairobi, Kenia
Tel: +254 20 249 3561/65
+254 724 256 804
+254 734 768 770
www.iucn.org