



# Punto de encuentro

Restaurar la salud de las tierras para una agricultura sostenible

Ludovic Larbodière, Jonathan Davies, Ruth Schmidt, Chris Magero, Alain Vidal, Alberto Arroyo Schnell, Peter Bucher, Stewart Maginnis, Neil Cox, Olivier Hasinger, P.C. Abhilash, Nicholas Conner, Vanja Westerberg, Luis Costa



UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA



## Acerca de la UICN

La UICN es una Unión de Miembros compuesta por Estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil. La UICN pone a disposición de las entidades públicas, privadas y no gubernamentales, los conocimientos y las herramientas que posibilitan, de manera integral, el progreso humano, el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza.

Creada en 1948, la UICN se ha convertido en la red ambiental más grande y diversa del mundo. La UICN cuenta con la experiencia, los recursos y el alcance de sus más de 1400 organizaciones Miembro y los aportes de más de 15 000 expertos. La UICN es uno de los principales proveedores de datos, evaluaciones y análisis sobre conservación. Su extensa y diversa membresía hacen de la UICN una incubadora y un repositorio confiable de las mejores prácticas y herramientas de conservación, así como de las directrices y estándares internacionales.

La UICN proporciona un espacio neutral en el que actores diversos, incluyendo gobiernos, ONGs, científicos, empresas, comunidades locales, grupos indígenas, organizaciones religiosas y otros pueden trabajar juntos para crear e implementar soluciones a los retos ambientales y lograr un desarrollo sostenible.

La UICN trabaja con diversos socios y simpatizantes para llevar a la práctica un amplio y diverso portafolio de proyectos de conservación en todo el mundo. Estos proyectos, que combinan los últimos avances científicos con los conocimientos tradicionales de las comunidades locales, procuran detener y revertir la pérdida de hábitats, restaurar los ecosistemas y mejorar el bienestar humano.

<http://www.uicn.org/es>

<https://twitter.com/IUCN/>

# Punto de encuentro

Restaurar la salud de las tierras para una agricultura sostenible

Ludovic Larbodière, Jonathan Davies, Ruth Schmidt, Chris Magero, Alain Vidal, Alberto Arroyo Schnell, Peter Bucher, Stewart Maginnis, Neil Cox, Olivier Hasinger, P.C. Abhilash, Nicholas Conner, Vanja Westerberg, Luis Costa

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 se complace en agradecer el apoyo de sus socios marco por su financiación del programa de la UICN: el Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia; el Gobierno de Francia y la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD); el Ministerio del Medio Ambiente de la República de Corea; la Agencia Noruega para la Cooperación al Desarrollo (Norad); el Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Asdi); la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y el Departamento de Estado de Estados Unidos.

Esta publicación ha sido posible gracias a la generosidad del Ministerio francés de Agricultura y Alimentación, del Gobierno de Francia y de la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD).

**Publicado por:** UICN, Gland, Suiza.

**Derechos reservados:** © 2020 UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y 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:** Larbodière, L., Davies, J., Schmidt, R., Magero, C., Vidal, A., Arroyo Schnell, A., Bucher, P., Maginnis, S., Cox, N., Hasinger, O., Abhilash, P.C., Conner, N., Westerberg, V., Costa, L. (2020). *Punto de encuentro: restaurar la salud de las tierras para una agricultura sostenible*. Gland, Suiza: UICN.

**ISBN:** 978-2-8317-2073-9 (PDF)

**DOI:** <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.10.es>

**Corrector:** Stephen Graham

**Fotografía de la cubierta:** Shutterstock

**Diseño:** Eyeris Communicatons

**Gráficos:** Todos los gráficos de esta publicación fueron desarrollados por los autores y la UICN detenta los derechos de autor correspondientes, a menos que se indique lo contrario.

**Disponible en:** UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza  
Programa Mundial de Gestión de los Ecosistemas  
Rue Mauverney, 28  
1196 Gland, Suiza  
[Jonathan.Davies@iucn.org](mailto:Jonathan.Davies@iucn.org)  
[www.iucn.org/resources/publications](http://www.iucn.org/resources/publications)



# Tabla de contenidos

<b>Prólogo.....</b>	<b>vii</b>
<b>Resumen ejecutivo.....</b>	<b>viii</b>
Porqué buscar un punto de encuentro?.....	viii
La conservación de la biodiversidad del suelo mejora la salud de las tierras agrícolas.....	viii
Mejorar la salud de las tierras agrícolas puede generar beneficios masivos para la sociedad.....	viii
Las soluciones para restaurar y mantener la salud de las tierras agrícolas están bien establecidas.....	ix
Se necesitan incentivos para acelerar la transición.....	ix
Las condiciones son favorables para un progreso rápido.....	x
Restaurar la salud de las tierras es un elemento de los cambios más generales necesarios en el sistema.....	x
Recomendaciones.....	x
Agradecimientos.....	xii
Acrónimos y abreviaturas.....	xiii
<b>1. Introducción a la búsqueda de un punto de encuentro: alimentar a nueve mil millones de personas sin dejar de proteger la naturaleza.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Alimentar el futuro.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Equilibrar los objetivos de sostenibilidad.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Gestión de la naturaleza para mejorar la sostenibilidad agrícola.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Hacia un cambio de sistema.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Prácticas agrícolas insostenibles y el futuro de la agricultura.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 La tierra como un recurso finito.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Contribución de la agricultura a la transgresión de los límites ecológicos.....	10
<b>2.2 Desarrollo agrícola: un alto desempeño.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Tierras agrícolas.....	14
<b>2.3 Impactos ambientales en tierras agrícolas el rápido aumento de la producción agrícola en el.....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Degradación de las tierras.....	16
2.3.2 Disminución de la biodiversidad.....	18
2.3.3 Estrés hídrico.....	18
<b>2.4 Impulsores de la degradación de las tierras en la agricultura.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Restablecer la salud de las tierras para imponer la sostenibilidad en el sistema alimentario.....</b>	<b>21</b>
<b>2.6 Conclusión del capítulo 2.....</b>	<b>22</b>
<b>3. Biodiversidad del suelo y salud de las tierras agrícolas.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 La rica biodiversidad del suelo.....</b>	<b>25</b>
3.1.1 Biotas del suelo y procesos ecosistémicos.....	27
3.1.2 Macro-fauna.....	27
3.1.3 Meiofauna.....	27
3.1.4 Micro-fauna.....	28
<b>3.2 El suelo como sistema ecológico.....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Servicios ecosistémicos esenciales para la agricultura.....	30
3.2.1.1 Ciclo de nutrientes.....	30
3.2.1.2 Descomponedores y transformadores elementales.....	31
3.2.1.3 Modificación de la estructura del suelo.....	31
3.2.1.4 Control de plagas y enfermedades.....	32
3.3 Diversidad abundancia de especies y función del ecosistema del suelo.....	32
<b>3.4 Tendencias en las comunidades del suelo lo basadas en prácticas agrícolas.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 Disponibilidad de información sobre el estado actual de la biodiversidad del suelo.....</b>	<b>37</b>
3.5.1 Datos de la Lista Roja sobre la biodiversidad del suelo.....	37
<b>3.6 Amenazas a los ecosistemas del suelo.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7 Conclusión del capítulo 3.....</b>	<b>40</b>

<b>4. Modelización de los resultados de una mejora mundial en la salud de las tierras.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Beneficios de alcanzar los objetivos de 4%.....</b>	<b>43</b>
4.1.1 Carbono y clima: potencial de secuestro y mitigación climática.....	44
4.1.2 Agua: mayor almacenamiento de agua en el suelo y menor demanda de riego.....	45
4.1.3 Alimentos: beneficios de rendimiento global para los cultivos básicos.....	47
<b>4.2 Conclusión del capítulo 4.....</b>	<b>48</b>
<b>5. Agricultura sostenible para la gestión de la salud de las tierras.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Agricultura sostenible: un objetivo aspiracional.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2 Agricultura sostenible: una variedad de perspectivas.....</b>	<b>51</b>
5.2.1 Intensificación sostenible.....	52
5.2.2 Intensificación ecológica de la agricultura.....	52
5.2.3 Agroecología.....	53
5.2.4 Agricultura orgánica.....	53
5.2.5 Agricultura regenerativa .....	54
5.2.6 Agricultura mixta.....	54
5.2.7 Gestión del pastoreo y pastoreo sostenible.....	55
5.2.8 Agricultura de conservación.....	56
5.2.9 Agrosilvicultura.....	56
5.2.10 Otros sistemas y prácticas agrícolas sostenibles.....	57
<b>5.3 Gestión de la salud de las tierras en explotaciones y paisajes agrícolas.....</b>	<b>58</b>
5.3.1 Conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas.....	58
5.3.2 Prácticas agrícolas que ayudan a conservar la biodiversidad a nivel de las explotaciones.....	60
5.3.3 Conservación de la diversidad genética agrícola.....	62
<b>5.4 Conclusión del capítulo 5.....</b>	<b>63</b>
<b>6. Ampliación de la salud de las tierras mediante la transformación del sistema alimentario.....</b>	<b>64</b>
<b>6.1 Obstáculos para la adopción e implementación.....</b>	<b>65</b>
<b>6.2 Mejorar la comprensión y habilitar los valores de los paisajes agrícolas.....</b>	<b>67</b>
6.2.1 Barreras a la valoración y conservación de la salud de las tierras.....	70
6.2.2 Soluciones para promover eficazmente la agricultura sostenible a gran escala.....	70
<b>6.3 Incentivos para una acción transformadora.....</b>	<b>74</b>
6.3.1 Evaluación del rendimiento de los sistemas de uso sostenible de las tierras.....	79
6.3.1.1 Métricas.....	79
6.3.1.2 Recomendaciones y directrices voluntarias.....	79
6.3.1.3 Proyecciones y trayectorias.....	79
<b>6.4 Reducir el riesgo vinculado con la transición.....</b>	<b>80</b>
<b>6.5 Conclusión del capítulo 6.....</b>	<b>84</b>
<b>7. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>85</b>
<b>7.1 La agricultura como una solución basada en la naturaleza.....</b>	<b>87</b>
<b>7.2 Agricultura sostenible.....</b>	<b>88</b>
<b>7.3 Evaluación y seguimiento de la sostenibilidad.....</b>	<b>88</b>
<b>7.4 Servicios de los agro-ecosistemas.....</b>	<b>88</b>
<b>7.5 Sistemas alimentarios sostenibles.....</b>	<b>89</b>
<b>7.6 Punto de encuentro.....</b>	<b>90</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>91</b>

# Tabla de figuras

<b>Figura 1</b> Salud de las tierras como punto de encuentro.....	x
<b>Figura 2</b> La biodiversidad del suelo y las funciones de los ecosistemas que determinan el rendimiento agrícola.....	6
<b>Figura 3</b> Efectos ambientales de la agricultura: impulsores, presiones, estado, impacto y respuesta.....	11
<b>Figura 4</b> Cambio mundial en la población, la superficie de tierras de cultivo y la producción de calorías alimenticias desde 1961.....	12
<b>Figura 5</b> Evolución del uso de fertilizantes y del riego desde 1961.....	12
<b>Figura 6</b> Evolución de la prevalencia de la desnutrición y la obesidad en los adultos a lo largo del tiempo.....	13
<b>Figura 7</b> Superficie agrícola mundial en 2015	14
<b>Figura 8</b> Mapa de la disminución de la productividad de las tierras: uno de los 3 indicadores acordados de degradación de las tierras en el marco de la CNULD.....	17
<b>Figura 9</b> Número de especies (riqueza específica) conocidas y estimadas de los principales grupos taxonómicos.....	26
<b>Figura 10</b> La biota del suelo forma complejas redes alimentarias que sustentan las funciones del ecosistema.....	27
<b>Figura 11</b> Visión general de los procesos ecosistémicos proporcionados por la biota del suelo, clasificada según su tamaño corporal (macro-fauna, meiofauna, micro-fauna y microorganismos).....	29
<b>Figura 12</b> Datos de la Lista Roja sobre la biodiversidad del suelo, incluidos plantas, hongos y protistas, insectos y colémbolos (a partir de 2020).....	38
<b>Figura 13</b> Ponderaciones de amenazas resumidas (expresadas en porcentaje de la puntuación máxima posible) de las presiones sobre la biodiversidad del suelo, según el Grupo de Trabajo sobre Biodiversidad del Suelo de la Comisión Europea.....	39
<b>Figura 14</b> Hacia el cuatro por mil: diversos beneficios del aumento del carbono del suelo en los suelos.....	43
<b>Figura 15</b> Absorción de carbono anual y acumulativa potencial en tierras cultivadas y pastizales a nivel mundial en el marco de la iniciativa 4%.....	44
<b>Figura 16</b> Uso de agua dulce y límites planetarios.....	45
<b>Figura 17</b> Ahorro acumulativo en extracciones para riego como resultado de la adopción de la estrategia 4%.....	46
<b>Figura 19</b> Aumentos porcentuales estimados en el rendimiento del maíz entre 2020 y 2050 gracias a la estrategia 4%.....	48
<b>Figura 20</b> Uso de instrumentos de mitigación de riesgos para liberar más inversiones de capital.....	81

# Recuadros

<b>Recuadro 1</b> Resumen de los beneficios mundiales de aumentar la concentración de COS en tierras agrícolas en un 0,4% anual.....	42
<b>Recuadro 2</b> Integrar el valor de la salud de los suelos en las políticas estadounidenses.....	68
<b>Recuadro 3</b> Desarrollar las capacidades y probar el valor de la salud del suelo.....	71
<b>Recuadro 4</b> Reverdecer el Sahel: múltiples incentivos para la transformación a gran escala en Níger.....	72
<b>Recuadro 5</b> Programas públicos de mejoras ambientales en la agricultura estadounidense.....	74
<b>Recuadro 6</b> Etiquetado de puntos de biodiversidad para los consumidores.....	75
<b>Recuadro 7</b> La iniciativa “4%” y el proyecto agroecológico francés: un sólido sistema voluntario ascendente.....	76
<b>Recuadro 8</b> Mejorar los medios de vida y las empresas sostenibles.....	77
<b>Recuadro 9</b> Seguro federal de cosecha en los Estados Unidos de América.....	80
<b>Recuadro 10</b> Fondos Medios de Subsistencia en Kenia.....	82

# Prólogo

El cambio climático, la pérdida de biodiversidad sin precedentes y la propagación de enfermedades devastadoras nos envían un claro mensaje: ha llegado el momento de reconsiderar nuestra relación con la naturaleza. Pocos sectores económicos son tan centrales en la relación de la humanidad con la naturaleza como la agricultura. La agricultura proporciona medios de vida a miles de millones de personas y aprovecha los recursos de la naturaleza para proporcionarnos alimentos, piensos, fibra y energía. Sin embargo, la expansión e intensificación excesivas de la agricultura son también factores de degradación del suelo y de la biodiversidad y contribuyen al cambio climático, lo que socava el propio futuro del sector agrícola.

Tal vez no sea sorprendente que el diálogo entre los sectores de la conservación y la agricultura sea con demasiada frecuencia antagónico, centrándose en objetivos aparentemente irreconciliables y en la competencia por el espacio. Si bien se reconoce esta situación, en el presente informe se intenta reformular el diálogo entre el sector agrícola y la comunidad de conservación en torno al “punto de encuentro” de las soluciones compartidas.

En los últimos decenios, el sector agrícola ha aumentado considerablemente la productividad y ha reducido drásticamente el número de personas que padecen inseguridad alimentaria en todo el mundo. Se trata de un logro inmenso. Sin embargo, a veces ha tenido un alto costo. El impacto de la agricultura en su propia viabilidad exige vigilancia. En muchas partes del mundo, la única opción para las y los agricultores es buscar nuevas tierras para continuar la producción o utilizar el suelo como sustrato con insumos sintéticos masivos. La mayor parte del crecimiento de la producción se ha logrado mediante la intensificación -obteniendo más de la misma superficie de tierra-, pero sigue habiendo una gran preocupación por la pérdida de hábitat para la agricultura que amenaza la biodiversidad y los ecosistemas naturales como los bosques, los pastizales o las turberas en muchos países en desarrollo. Si bien los efectos perjudiciales de algunos insumos agrícolas se están haciendo evidentes, están surgiendo muchas políticas e incentivos que promueven la agricultura sostenible. Éstas fomentan prácticas ecológicamente racionales que conservan los paisajes y suelos sanos, biodiversos y productivos, retienen la humedad, benefician el ciclo de los nutrientes, la descomposición y la estructura del suelo y ayudan a controlar las plagas y enfermedades.

Este informe destaca las inmensas posibilidades que ofrece la adopción generalizada de prácticas agrícolas sostenibles para la producción segura y a largo plazo de alimentos, piensos, fibras y energía. También destaca que los servicios de los ecosistemas derivados de los suelos sanos no se limitan a la explotación agrícola. Cuando las y los agricultores trabajan la tierra de manera sostenible, no sólo nos alimentan; transforman la agricultura en una auténtica solución basada en la naturaleza para nuestros desafíos sociales más apremiantes, contribuyendo a regular el clima, mejorar la seguridad del agua y proporcionar hábitats a innumerables especies. La sociedad disfruta de estos servicios añadidos, aunque rara vez los paga, ni incentiva suficientemente a las y los agricultores para salvaguardarlos. En este informe se estima por primera vez el importante valor monetario potencial de estos beneficios adicionales y se exponen medidas concretas para lograrlos.

Ahora es más evidente que nunca que necesitamos hacer que nuestros sistemas de producción de alimentos sean más sostenibles y resilientes si queremos hacer frente a los desafíos interrelacionados del cambio climático, la acelerada pérdida de biodiversidad y la inseguridad alimentaria y nutricional mundial.

Esperamos que este informe ayude a las y los conservacionistas y a las y los agricultores a colaborar en la creación de un sector agrícola más sostenible, promoviendo enfoques agroecológicos y paisajes saludables que puedan alimentar a la sociedad en el futuro, conservando al mismo tiempo la rica diversidad de la vida en nuestro planeta.

**Julien Denormandie**

*Ministro francés de la agricultura y de la  
alimentación*

**Dr Bruno Oberle**

*Director general*

*UICN, Unión Internacional para la Conservación de la  
Naturaleza*



# Resumen ejecutivo

## Porqué buscar un punto de encuentro?

Recientes informes internacionales importantes han puesto de relieve el impacto alarmante de los sistemas de producción de alimentos sobre el cambio climático, las tierras y la biodiversidad. La pandemia de COVID-19 proporciona otra ilustración de la necesidad de sistemas alimentarios más sostenibles, que trabajen con la naturaleza y no contra ella, al tiempo que garantizan la seguridad alimentaria y unos medios de vida decentes para una población en rápido crecimiento.

Lograr una mayor sostenibilidad depende de alcanzar un consenso entre diversos actores sobre los objetivos, así como sobre los enfoques. Requiere una mayor coordinación, y el desarrollo de sinergias entre una variedad de partes interesadas en los sectores de la agricultura y la conservación.

Este informe muestra que existe un *Punto de encuentro* entre los sectores agrícola y de la conservación para una acción mutuamente beneficiosa, y un gran potencial para la adopción generalizada de prácticas agrícolas sostenibles que puedan satisfacer nuestras necesidades de alimentos, piensos, fibras y energía. Más generalmente, la agricultura sostenible puede contribuir a la alimentación, la seguridad hídrica, la regulación climática y otros objetivos, apoyando los avances hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible y otras metas internacionales relacionadas con el cambio climático, la biodiversidad y la degradación de las tierras.

## La conservación de la biodiversidad del suelo mejora la salud de las tierras agrícolas

Las explotaciones agrícolas son ecosistemas modificados que dependen de la naturaleza de muchas maneras, para el suministro de nutrientes y de agua, el control de plagas, la polinización y otros servicios. La conservación de la biodiversidad del suelo está en el corazón de la mayoría de las prácticas agrícolas sostenibles, pero el conocimiento científico sigue siendo limitado: el 90-95% de la biota del suelo permanece sin identificar y menos del 1% de algunos grupos se ha descrito. Se observa una estrecha correlación entre diversidad y abundancia de especies en el suelo y función del ecosistema del suelo. La gestión de esta biota por parte de los agricultores debería estar mejor informada por la ciencia sobre cómo las especies interactúan en el suelo y cómo las interacciones positivas pueden mejorarse o restaurarse mediante prácticas agrícolas.

## Mejorar la salud de las tierras agrícolas puede generar beneficios masivos para la sociedad

La iniciativa “cuatro por mil” (o “4‰”) tiene como objetivo aumentar el carbono orgánico del suelo anualmente en un 0,4% de su stock actual dentro de los primeros 30-40 cm de suelo, a través de la implementación de prácticas agronómicas económicamente viables y ambientalmente racionales. Este informe muestra que el cumplimiento de la meta 4‰ en todas las tierras agrícolas del mundo puede generar importantes beneficios potenciales para mitigar el cambio climático, aumentar la producción de alimentos y mejorar las reservas de agua verde. Alcanzar los objetivos de 4‰ en las tierras agrícolas del mundo podría aumentar la captura de carbono por las tierras de cultivo y los pastizales en aproximadamente 1 Gt por año durante los próximos 30 años, es decir, el equivalente al 10% de las emisiones antropogénicas mundiales, en base a las emisiones de 2017. El costo social evitado que implica esta contribución a la mitigación del cambio climático en el período 2020-2050 es del orden de 600 mil millones de USD por año en términos de valor actual.

La producción de cultivos también podría beneficiarse de la consecución de los objetivos de 4%. Se estima que la producción de tres grandes cultivos (maíz, trigo y arroz) aumentará en un 23,4%, 22,9% y 41,9% respectivamente, con un valor estimado de 135,2 mil millones de USD por año entre 2020 y 2050. Los beneficios de este aumento de producción variarán según la región, pero serían más altos en los países en desarrollo, y particularmente en África. Paralelamente, una menor dependencia de los fertilizantes inorgánicos puede reducir la contaminación de los cursos de agua, mientras que el aumento de la productividad de las tierras podría compensar la demanda de una mayor conversión de tierras para la agricultura.

Los ciclos hidrológicos también se beneficiarían del aumento del carbono del suelo, y la capacidad de los suelos para almacenar agua podría aumentar hasta en unos 37 mil millones de m<sup>3</sup>. El aumento de la humedad del suelo gracias a la iniciativa 4% tiene el potencial de reducir la dependencia del riego, con un ahorro mundial estimado de 44.000 millones de USD por año. Los beneficios del 4% podrían aumentar la resiliencia de las comunidades agrícolas vulnerables y reducir la exposición a los riesgos previstos asociados con el cambio climático, como inundaciones, sequías y tormentas.

## Las soluciones para restaurar y mantener la salud de las tierras agrícolas están bien establecidas

Muchos enfoques y prácticas agrícolas sostenibles son conocidos y documentados, y han demostrado ser eficaces para conservar y mejorar el suelo y la biodiversidad terrestre en las explotaciones. Los sistemas agrícolas están estrechamente vinculados al paisaje más general a través de muchas interacciones ecológicas que también se pueden gestionar. Las prácticas de gestión del paisaje también tienen un impacto directo en la agricultura y la productividad del paisaje, así como en el nivel de prestación de servicios ecosistémicos. Las buenas prácticas agrícolas y de gestión del paisaje pueden tener un impacto positivo directo para los agricultores, especialmente los más vulnerables, para la salud y la nutrición de los consumidores y para la sociedad en su conjunto.

## Se necesitan incentivos para acelerar la transición

Para que la salud de las tierras se incorpore plenamente en las instituciones, los mercados y las políticas, se deben comprender y recompensar mejor los verdaderos valores de los paisajes agrícolas, y se deben encontrar formas de incentivar y eliminar los riesgos vinculados a la transición hacia una agricultura más sostenible. Sin embargo, los agricultores deben superar numerosos obstáculos para adoptar prácticas sostenibles, como una sensibilización insuficiente, altos costos de transición, mercados poco fiables y una aversión al cambio debido a una serie de riesgos e incertidumbres. Muchos agricultores están vinculados a los sistemas de gestión insostenibles existentes a través de políticas comerciales, marcos legales e incentivos públicos. Este informe destaca tres áreas prioritarias para avanzar y abordar estos obstáculos:

1. Comprender y recompensar los diversos valores de las tierras y los paisajes agrícolas.
2. Desarrollar incentivos y regulaciones que fomenten o permitan una acción transformadora, al tiempo que se reducen los desincentivos.
3. Reducir los riesgos asociados con la transición hacia una agricultura y una producción de alimentos que conserven la salud de las tierras.

## Las condiciones son favorables para un progreso rápido

Restaurar la salud de las tierras es un elemento de los cambios más generales necesarios en el sistema alimentario. Es probable que los países con deficiencia alimentaria o cuyas economías dependen en gran medida del sector agrícola continúen dando prioridad a la producción agrícola general. La gestión de la salud de las tierras es fundamental para alcanzar los objetivos de producción, salvaguardando al mismo tiempo la sostenibilidad y fortaleciendo la resiliencia de los agricultores. También es necesario mejorar el acceso equitativo a los recursos naturales (especialmente la tierra y el agua) y el acceso a los alimentos, para reducir las dietas poco saludables y mitigar la pérdida y el desperdicio de alimentos. Esto requerirá una coordinación sin precedentes entre muchos actores, en las cadenas de suministro de alimentos y más allá, guiada por un liderazgo político audaz. La próxima década ofrece una oportunidad única para orientar la agricultura hacia un conjunto de objetivos más ambiciosos, que equilibren las necesidades de alimentos, piensos, fibras y de una variedad de servicios ecosistémicos que contribuirán globalmente a sociedades más sostenibles y resilientes. **Las políticas públicas deben tener como objetivo lograr un impacto neto positivo de la agricultura en los indicadores clave de biodiversidad para 2030, así como estabilizar la superficie de tierras agrícolas, con el fin de aumentar la biodiversidad y la resiliencia en los paisajes agrícolas y reducir la degradación de las tierras, la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero.**



Figura 1 Salud de las tierras como punto de encuentro

## Recomendaciones

### 1. Priorizar la biodiversidad del suelo y de los paisajes para la alimentación y la naturaleza

La agricultura sostenible depende del mantenimiento de la salud de las tierras y de la conservación de la biodiversidad en los suelos y paisajes agrícolas. Por lo tanto, la salud de las tierras debe ser un objetivo central para que el sector agrícola contribuya a acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición, y promover la sostenibilidad sin ampliar la superficie total de tierras agrícolas. Al hacerlo, la agricultura puede convertirse en una **Solución basada en la Naturaleza** que contribuya a algunos de los desafíos sociales más apremiantes. **Los agricultores y el sector agrícola deben adoptar con urgencia metas ambiciosas para la salud de las tierras, y el sector de la conservación debe fortalecer la base científica para monitorear los progresos.**

## 2. Principales enfoques agroecológicos para la gestión de los paisajes agrícolas

Ya se dispone de enfoques agroecológicos que fomenten las sinergias entre la agricultura y la diversidad biológica, que deberían ampliarse e incorporarse en todas las políticas, instrumentos e instituciones pertinentes. Esto debe hacerse en estrecha colaboración con las comunidades y organizaciones de agricultores. **Se debe hacer hincapié en la creación de condiciones que permitan a los agricultores lograr la sostenibilidad tanto a nivel de las explotaciones como a escala de los paisajes, y reducir los riesgos a los que se enfrentan durante la transición.** Si bien ya es posible avanzar rápidamente sobre la base de los conocimientos existentes, como se demuestra en varios países, se necesita un análisis más profundo de los obstáculos conductuales, organizativos, sociales, políticos, financieros y económicos a la adopción.

## 3. Establecer metas e indicadores a nivel nacional y mundial para la agricultura sostenible

La adopción de enfoques de agricultura sostenible debería aumentarse mediante el establecimiento de objetivos claros para los parámetros de sostenibilidad. Más específicamente, el sector agrícola debería tener un impacto neto positivo en los indicadores clave de biodiversidad para 2030, incluyendo la estabilización de la superficie total de tierras agrícolas, el aumento de la biodiversidad en los paisajes agrícolas y la reducción de la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos indicadores deben complementar los datos socioeconómicos sobre ingresos, empleo, reducción de la pobreza y resiliencia de los medios de subsistencia, especialmente para los más necesitados, incluidos jóvenes y mujeres.

## 4. Recompensar los servicios ecosistémicos para incentivar la agricultura sostenible

La transición mundial hacia una agricultura sostenible requiere dejar de pensar en la agricultura en términos de “alimentos, fibras y combustible” (y otros productos), para pensar en términos de “producción, agua, clima y naturaleza” (y otros servicios). El principal objetivo político del sector agrícola debe ser aumentar el valor general de la agricultura, **promoviendo todos los valores de los suelos, las tierras y los paisajes agrícolas, así como los servicios prestados a la sociedad, y estableciendo reglamentos e incentivos pertinentes.** Es necesario diseñar y probar incentivos innovadores y medidas de eliminación de riesgos, lo que requiere marcos políticos creativos y coherentes.

## 5. Promover el cambio en todo el sistema alimentario mundial para mejorar la sostenibilidad

Se debe promover la restauración y conservación de la salud de los suelos y las tierras como parte integral de una transformación más amplia del sistema, centrándose en la **convergencia de las políticas nacionales e internacionales para conectar la salud de los suelos y las tierras con dietas sostenibles y saludables.** Las subvenciones públicas y los flujos financieros privados deberían reorientarse de la agricultura convencional hacia una agricultura más sostenible, al tiempo que se debería eliminar los factores que bloquean la transformación, como las subvenciones a los insumos, la especialización de los sistemas, las cadenas de suministro estandarizadas y las asimetrías de poder. Se debe prestar mayor atención a inversiones responsables en los paisajes y las cadenas de suministro, que protejan los suelos saludables y recompensen las prácticas agrícolas sostenibles.

## 6. Establecer un consenso sobre la gerencia ambiental en el sector agrícola

El diálogo entre las comunidades agrícola y de la conservación debe intensificarse a nivel local, nacional e internacional. El sector agrícola necesita información mejorada sobre la naturaleza ecológica y viva de los suelos como capital natural. Los actores de la conservación necesitan una mayor apreciación de la agricultura sostenible como una solución para aumentar la biodiversidad, y de los paisajes agrícolas como una oportunidad para ampliar la cobertura mundial de áreas de conservación. Unas instituciones nuevas o adaptadas pueden ser necesarias para incentivar la acción y garantizar resultados de sostenibilidad a nivel del agro-ecosistema o del paisaje.

# Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros revisores Bruce Campbell (CGIAR: Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional), Dafydd Pilling (FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), Julie Bélanger (FAO), Mark Schauer (GIZ: Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), Maya Suzuki (GIZ), Judith Rosendahl (GIZ), Sébastien Treyer (IDDRI: Instituto para el Desarrollo Sostenible y las Relaciones Internacionales), Thierry Caquet (INRAE: Instituto Nacional para la Agricultura, la Alimentación y el Medio Ambiente), Helene van den Hombergh (UICN Países Bajos), Estelle Midler (MAA: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Francia), Marie-Hélène Schwoob (MAA) y Olivier Crozet (OFB: Agencia Francesa de Biodiversidad), cuya experiencia y consejos ayudaron a dar forma a nuestro trabajo y nos alentó en este esfuerzo.

También deseamos agradecer a nuestros colegas Barbara Oberč, Linda Lungaho, Daisy Hessenberger, Goska Bonnaveira, Mark Gnadt y Matthias Fiechter, que dedicaron su tiempo y esfuerzos a hacer posible este informe.



# Acrónimos y abreviaturas

<b>C</b>	Carbono
<b>CDB</b>	Convenio sobre la Diversidad Biológica
<b>CDN</b>	Contribución Determinada a nivel Nacional
<b>CNULD</b>	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>COS</b>	Carbono Orgánico del Suelo
<b>CSA</b>	Comité de Seguridad Alimentaria Mundial de las Naciones Unidas
<b>EPANB</b>	Estrategia y Plan de Acción Nacional para la Biodiversidad
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>FBN</b>	Fijación biológica de nitrógeno
<b>FOLU</b>	Coalición para la Alimentación y el Uso de la Tierra
<b>GAIN</b>	Alianza Global para la Mejora de la Nutrición
<b>GANES</b>	Grupo de Alto Nivel de Expertos sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GIZ</b>	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
<b>GST</b>	Gestión Sostenible de las Tierras
<b>HMA</b>	Hongos Micorrízicos Arbusculares
<b>IDDR</b>	Institut du développement durable et des relations internationales
<b>MAA</b>	Ministère français de l'agriculture et de l'alimentation
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Nitrous oxide
<b>NDT</b>	Neutralidad de la Degradación de las Tierras
<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
<b>ODS</b>	Objetivo de Desarrollo Sostenible
<b>OFB</b>	Office français de la Biodiversité
<b>OMEC</b>	Otra Medida Eficaz de Conservación basada en áreas
<b>P</b>	Fósforo
<b>RNGA</b>	Regeneración natural gestionada por el agricultor
<b>SbN</b>	Solución basada en la Naturaleza
<b>SOM</b>	Soil organic matter
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>UICN</b>	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza



# Capítulo 1

Introducción a la búsqueda de un punto de encuentro: alimentar a nueve mil millones de personas sin dejar de proteger la naturaleza

## 1.1 Alimentar el futuro

El interés en el impacto ambiental del sector de la alimentación y la agricultura ha crecido significativamente en los últimos años. Varios informes influyentes han destacado la magnitud de los daños causados por la agricultura, a través de su contribución al cambio climático, la deforestación, la contaminación y otros peligros (HLPE, 2017; Willett et al., 2019). Si bien las preocupaciones están plenamente justificadas, el discurso público acostumbra a ser altamente polémico y, a menudo, pasa por alto la evidencia de los posibles beneficios ambientales de la agricultura. Este informe muestra que, al reorientar la agricultura hacia el uso responsable y la protección del medio ambiente natural a través de prácticas sostenibles, lo que denominamos gerencia ambiental, podemos incentivar una transición de una pérdida neta a una ganancia neta de biodiversidad, al tiempo que contribuimos a la seguridad alimentaria y a los medios de subsistencia de los agricultores.

La población mundial alcanzó los 7,7 mil millones de personas a finales de 2019, y se prevé que aumente en un 25% más para el año 2050, acercándose a 10 mil millones de personas. Esos 10 mil millones de personas probablemente tendrán una riqueza per cápita mayor que las generaciones anteriores, y exigirán más alimentos y alimentos más costosos para el medio ambiente, así como otros productos agrícolas. Esta demanda deberá satisfacerse en un contexto de condiciones climáticas cambiantes, lo que afectará la calidad y cantidad de los productos agrícolas (Ebi & Loladze, 2019). La agricultura ya tiene una gran huella medioambiental, en tal medida que, sin un cambio radical, la viabilidad a largo plazo de la producción de alimentos puede verse comprometida. La degradación de las tierras es una preocupación creciente, y un alto funcionario de la ONU ha advertido que los suelos del mundo podrían agotarse en tan solo 60 años<sup>1</sup>.

Sin embargo, teniendo en cuenta la creciente demanda mundial de alimentos y la persistente inequidad en la distribución de alimentos en todo el mundo, es poco probable que un discurso que se centre exclusivamente en los efectos nocivos de la agricultura llegue a soluciones prácticas para un desarrollo sostenible. Si queremos conciliar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2 (Hambre Cero) y 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres), sin mencionar varios otros, el mundo debe prestar mucha más atención a las oportunidades de gerencia ambiental por parte del sector agroalimentario.

Existen marcadas diferencias de opinión sobre la mejor manera de alimentar a la población del futuro. En un estudio reciente (FAO, 2018a), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha sugerido que “para satisfacer la demanda, la agricultura en 2050 necesitará producir casi un 50% más de alimentos, piensos y biocombustibles que en 2012<sup>2</sup>. Sin embargo, otras fuentes, incluido el Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición (HLPE, 2017) del Comité de las Naciones Unidas sobre Seguridad Alimentaria Mundial (CSA), encuentran que el desafío no es tanto la producción total, sino la desigualdad en la distribución de alimentos, combinada con un consumo excesivo. La Organización Mundial de la Salud informó en 2014 que, mientras que aproximadamente 462 millones de adultos en todo el mundo padecían insuficiencia ponderal, 1,9 mil millones tenían sobrepeso u obesidad<sup>3</sup>. Además, la FAO estima que un tercio de todos los alimentos producidos se desperdicia<sup>4</sup>. El GANE ha estimado que el mundo ya produce alimentos más que suficientes para ofrecer a todos en el planeta una dieta saludable (HLPE, 2017).

La reducción de la pérdida y del desperdicio de alimentos a nivel mundial podría reducir de forma significativa el impacto ambiental total de la agricultura. La FAO diferencia entre la pérdida de

---

<sup>1</sup> <https://www.scientificamerican.com/article/only-60-years-of-farming-left-if-soil-dégradation-continues/>

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>

<sup>4</sup> <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>

alimentos (disminución en la cantidad o calidad de los alimentos como resultado de decisiones y acciones de los proveedores de alimentos en la cadena de suministro, excluyendo los minoristas, proveedores de servicios de alimentos y consumidores) y el desperdicio de alimentos (disminución en la cantidad o calidad de los alimentos como resultado de decisiones y acciones de los minoristas, proveedores de servicios de alimentos y consumidores). Alrededor del 30% de las tierras agrícolas del mundo se utiliza para producir alimentos que se pierden o se desperdician, con los niveles más altos de desperdicio en Europa y América del Norte (95-115 kg por persona por año) y los más bajos en África subsahariana, el sur y el sudeste de Asia (6-11 kg por persona por año) (Gustavsson et al., 2011). El patrón mundial de pérdida de alimentos es bastante diferente, con los niveles más altos en Asia central y del Sur (21%) y los niveles más bajos en Australia y Nueva Zelanda (6%). A nivel mundial, alrededor del 14% de los alimentos producidos se pierde entre la etapa posterior a la cosecha y antes de la etapa minorista (FAO, 2019c).

Informes recientes, incluidos el del GANE y el informe de la Comisión EAT-Lancet (Willett et al., 2019), abogan por una transformación del sistema alimentario, para alejarse de una producción ineficiente, un consumo excesivo y una distribución inequitativa. El informe EAT-Lancet concluye que alimentar a la población futura proyectada depende de la transformación de los hábitos alimenticios, la mejora de la producción de alimentos y la reducción del desperdicio de alimentos. Los siguientes capítulos muestran que, reorientando la agricultura hacia la gerencia ambiental, podemos incentivar esta transformación.

Los autores han sido guiados por una visión de un sistema agroalimentario que proteja los ecosistemas y conserve la biodiversidad, y constituya un contribuyente neto a los objetivos de conservación. En nuestra visión, los paisajes agrícolas en todo el mundo proporcionan alimentos, combustible y fibras, regulan el suministro de agua, almacenan carbono (C) y contribuyen a la mitigación del cambio climático, y conservan la biodiversidad, al tiempo que apoyan los medios de vida de las comunidades agrícolas. Si bien se trata de una visión ambiciosa y de gran alcance, se basa en

soluciones que ya se practican ampliamente en la actualidad, y se ha demostrado que son económicamente viables. La Coalición para los Alimentos y el Uso de la Tierra (FOLU, 2019) sugiere que los beneficios de una agricultura más sostenible podrían superar ampliamente los costos, generando potencialmente 4,5 billones de USD en nuevas oportunidades de negocio cada año, y ahorrando 5,7 billones de USD al año en daños a las personas y el planeta para 2030. Esto representa más de 15 veces el costo de inversión estimado de 350 mil millones de USD al año.

## 1.2 Equilibrar los objetivos de sostenibilidad

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible incluye varias ambiciones ambientales a través de sus metas de consumo y producción responsables ([ODS 12](#)), acción por el clima ([ODS 13](#)), vida submarina ([ODS 14](#)) y vida de ecosistemas terrestres ([ODS 15](#)). Al mismo tiempo, muchos actores de la conservación trabajan explícitamente hacia objetivos de desarrollo, incluyendo el fin de la pobreza ([ODS 1](#)) y el hambre cero ([ODS 2](#)). El equilibrio entre desarrollo social y económico y objetivos ambientales es implícito en la visión de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) de “un mundo justo que valore y conserve la naturaleza”.

Equilibrar el logro de los ODS requiere una comprensión profunda de los posibles compromisos entre ellos. El paradigma dominante del desarrollo agrícola todavía se centra principalmente en la producción de alimentos y menos en los impactos ambientales. Además, los mayores aumentos de producción no se producen en las regiones con mayores déficits alimentarios. Es necesario abordar estas incoherencias para alcanzar los ODS. Este informe identifica soluciones pragmáticas, que aprovechan las posibles sinergias entre agricultura y conservación. Lograr un cambio transformador hacia una agricultura sostenible requiere una comprensión más profunda de los efectos positivos y negativos de la agricultura en el medio ambiente.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) revisó, actualizó y adoptó un Plan Estratégico para la Diversidad Biológica, incluidas las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica, para el período 2011-2020. Estos 20 objetivos eran ambiciosos y amplios, e incluían dos objetivos de relevancia directa para la agricultura<sup>5</sup> :

- Objetivo 7: “Para 2020, las zonas destinadas a agricultura, acuicultura y silvicultura se gestionarán de manera sostenible, garantizándose la conservación de la diversidad biológica”;
- Objetivo 13: “Para 2020, se mantiene la diversidad genética de las especies vegetales cultivadas y de los animales de granja y domesticados y de las especies silvestres emparentadas, incluidas otras especies de valor socioeconómico y cultural, y se han desarrollado y puesto en práctica estrategias para reducir al mínimo la erosión genética y salvaguardar su diversidad genética”.

Si bien muchas Estrategias y Planes de Acción Nacionales para la Biodiversidad (EPANB) hacen referencia a los Objetivos 7 y 13, sólo el 30% incluye detalles de acciones para la conservación y el uso sostenible de la agro-biodiversidad. Muy pocas EPANB incluyen planes para utilizar recursos genéticos para la alimentación y la agricultura, o para dietas diversificadas y una mejor nutrición (Lapena et al., 2016).

El Acuerdo de París, adoptado en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 2015, también reconoce el papel que el sector agrícola puede desempeñar en la preservación de la seguridad alimentaria y su contribución a los objetivos de mitigación y adaptación:

- “Teniendo presentes la prioridad fundamental de salvaguardar la seguridad alimentaria y acabar con el hambre, y la particular vulnerabilidad de los sistemas de producción de alimentos a los efectos adversos del cambio climático” (Preámbulo);

- Solicita a las Partes que tomen medidas para conservar y mejorar, según proceda, los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero con el fin de alcanzar el objetivo a largo plazo de mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C por encima de los niveles preindustriales (artículos 4.1 y 5.1).

La gran mayoría de las Partes en el Acuerdo de París también han incluido la agricultura en sus Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (CDN) a la respuesta mundial al cambio climático, como un área prioritaria para la adaptación (78% de las CDN presentadas) o la mitigación (86% de las CDN presentadas) (FAO, 2016).

Nuestro informe proporciona una nueva visión del papel de la biodiversidad en la agricultura, prestando especial atención al papel fundamental de la biodiversidad de los suelos y las diferentes prácticas agrícolas que contribuyen a su protección y capacidad para proporcionar una variedad de servicios ecosistémicos, incluida una contribución directa a la adaptación y mitigación del cambio climático. El informe se enmarca en torno a la preocupación de la disminución de la salud de las tierras, los impactos que esto puede tener en la productividad, así como en los retos sociales importantes a nivel local y mundial, y las consecuencias para los medios de vida rurales.

El concepto de Soluciones basadas en la Naturaleza ([SbN](#)) abre la puerta a un nuevo enfoque para equilibrar los objetivos de desarrollo ambiental y agrícola. La UICN define las SbN como “acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad”<sup>6</sup>. Un mejor análisis de la manera en que la agricultura puede gestionar mejor la biodiversidad para calificar como SbN puede renovar nuestro marco de análisis para identificar y gestionar posibles sinergias y compensaciones.

<sup>5</sup> <https://www.cbd.int/sp/targets/>

<sup>6</sup> IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2016). Resolution 69 on Defining Nature-based Solutions (WCC-2016-Res-069). IUCN Resolutions, Recommendations & Other Decisions 6–10 September 2016. World Conservation Congress

Honolulu, Hawaii, USA. [https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2016\\_RES\\_069\\_EN.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_EN.pdf)



## 1.3 Gestión de la naturaleza para mejorar la sostenibilidad agrícola

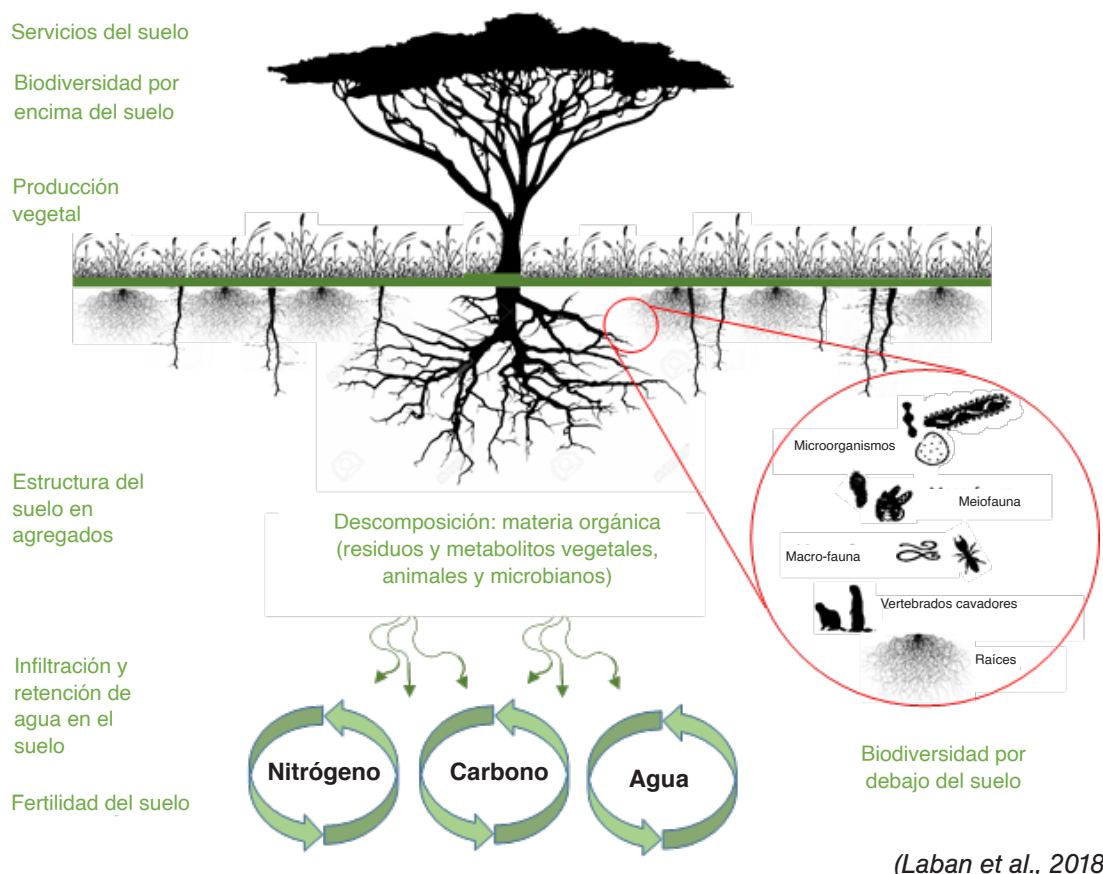
La agricultura depende de la biodiversidad de muchas maneras, desde la diversidad genética en los cultivos y el ganado hasta los organismos que desempeñan un papel en la polinización o el control de plagas. Sin embargo, tanto la agricultura como la conservación en general prestan poca atención a muchas de estas funciones. Un área particularmente olvidada es la biodiversidad del suelo, y su papel en el mantenimiento de la fertilidad y la humedad de los suelos, y por lo tanto en la determinación de la productividad de la tierra, así como en el control de una serie de otras funciones ecosistémicas. Por ejemplo, la biodiversidad del suelo modera el pH, la fertilidad, la humedad y la estructura del suelo, a través de su influencia en los ciclos del C, del nitrógeno (N) y del agua. Contribuye a servicios ecosistémicos como la estabilización de los suelos, la mitigación de inundaciones y sequías (Brussaard et al., 2007), y la creación de microclimas que ayudan a la producción agrícola. Una comunidad diversa de organismos vertebrados e invertebrados desempeña un papel importante en el control biológico de plagas y el ciclo de nutrientes (ver Figura 1) (Laban et al., 2018).

Los datos sobre el estado de la biodiversidad de los suelos son escasos, y la comprensión científica de la relación entre la biota del suelo y la función de los ecosistemas sigue siendo limitada. Sin embargo, este informe muestra que las funciones ecosistémicas y la biodiversidad del suelo están estrechamente relacionadas, y que la productividad agrícola puede mejorarse mediante suelos saludables y una mejor función del ecosistema. El concepto de salud de la tierra se utilizará como un punto de interés común entre los actores de la agricultura y de la conservación, definido como “la capacidad de la tierra, en relación con su potencial, para sostener la prestación de servicios ecosistémicos” (Shepherd et al., 2015).

A pesar de las lagunas de conocimientos, superficies considerables de tierras ya se gestionan mediante prácticas agrícolas que se consideran Gestión Sostenible de las Tierras (GST). Los paisajes agrícolas se gestionan con diferentes grados de intensidad y la

FAO estima que dos quintas partes de las tierras de cultivo del mundo incluyen al menos un 10% de cobertura arbórea (Zomer et al., 2009). La adopción acelerada de prácticas sostenibles a nivel de explotaciones y paisajes es posible inmediatamente, siempre que se eliminen los factores limitantes descendentes y los efectos de bloqueo en el sistema alimentario. Hay indicios de que muchos actores de la agricultura están preocupados por la sostenibilidad del sector, incluido el riesgo de agotar los suelos, y esto está creando nuevas oportunidades de acción para una producción más respetuosa con el medio ambiente.

Una limitación fundamental es la falta de consenso sobre objetivos, metas e indicadores de progreso. La falta de consenso sobre lo que constituye la agricultura sostenible es un obstáculo importante para acordar las prácticas o enfoques agrícolas deseados, y la polarización del debate entre agricultura y conservación sobre estos temas significa que se pasan por alto o se ignoran importantes puntos en común y oportunidades. Este informe muestra que es probable que las prácticas agrícolas que conservan la biodiversidad del suelo generen múltiples beneficios al mejorar la calidad y la cantidad de servicios ecosistémicos. Otra limitación importante es que, en muchos casos, los agricultores y los administradores de tierras tienen pocos incentivos para proteger los activos ecosistémicos de los que se derivan los servicios de los ecosistemas. Los mecanismos ecológicos subyacentes de la agricultura sostenible reciben una atención limitada por parte de muchos actores del sector agrícola y de la sociedad en su conjunto. El establecimiento de recompensas y otros incentivos para estos servicios ecosistémicos puede ser una de las claves para catalizar la transición hacia una gestión agroambiental global.



(Laban et al., 2018)

**Figura 2** La biodiversidad del suelo y las funciones de los ecosistemas que determinan el rendimiento agrícola

## 1.4 Hacia un cambio de sistema

Una multitud de políticas e incentivos promueven actualmente una agricultura insostenible y desalientan las prácticas ambientalmente racionales, oscureciendo todo el potencial ambiental de la agricultura. Muchos países han promovido la dependencia de insumos agrícolas costosos, nocivos para el medio ambiente y no renovables durante décadas. Sin embargo, existe un interés creciente de los actores del sector agrícola en adoptar métodos de producción de alimentos que protejan los servicios ecosistémicos de los que dependen. Esto incluye proteger la fertilidad y la humedad del suelo, proteger los insectos polinizadores y los organismos de control biológico, y conservar la diversidad genética en las explotaciones.

Este informe muestra que el aumento de la salud de las tierras crea una plataforma para mejorar la sostenibilidad en la agricultura y puede proporcionar una puerta de entrada a otras mejoras en la sostenibilidad y otros objetivos ambientales. Demuestra el Punto de encuentro entre los sectores de la agricultura y la conservación para una acción mutuamente beneficiosa, haciendo hincapié en la importancia de la biodiversidad de los suelos para la salud de las tierras, y en intervenciones e incentivos a nivel de todo el sistema para mejorar su restauración y gestión. El informe muestra que la adopción generalizada de prácticas agrícolas sostenibles puede contribuir a la producción de alimentos, la seguridad hídrica, la regulación climática y otros beneficios.

El Capítulo 2 analiza los datos sobre tendencias mundiales en la agricultura para mostrar cómo las prácticas agrícolas insostenibles han logrado alimentar a una población creciente, al tiempo que amenazan el

futuro de la agricultura, particularmente al comprometer la salud de las tierras. El Capítulo 3 explora la biodiversidad en la agricultura, con especial énfasis en los servicios ecosistémicos que impulsan la producción, y en la biodiversidad del suelo que sustenta esos servicios. El Capítulo 4 modeliza los resultados potenciales de unas mejoras globales en la salud de las tierras, simulando los múltiples beneficios que podrían generarse al adoptar la estrategia de aumentar el Carbono Orgánico del Suelo (COS) en 0,4% cada año. El Capítulo 5 presenta una serie de conceptos y enfoques para la agricultura sostenible, que ya se practican a una escala significativa y tienen el potencial de ampliarse aún más. El Capítulo 6 proporciona información sobre la remodelación de la narrativa para un cambio de sistema en el sector agroalimentario, con énfasis en incentivar la GST a través de inversiones y políticas que influyen en la producción agrícola y las cadenas de suministro. Por último, las lecciones extraídas del informe se resumen en una serie de mensajes clave, en el Capítulo 7. El objetivo del informe es proporcionar una contribución

constructiva, basada en la ciencia y el conocimiento, a la conciliación de la agricultura y la conservación. Su objetivo es convencer a los actores de los sectores de la conservación y la agricultura para que promuevan una agenda común y adopten un enfoque más constructivo del diálogo, centrándose en una visión común de la sostenibilidad y unos objetivos acordados para la GST y la conservación de la biodiversidad. Por lo tanto, el público principal incluye a los actores de la conservación y la agricultura en los gobiernos y organizaciones no gubernamentales, así como a los grupos de agricultores y los agro-negocios. El informe desafía la interpretación antagónica de la relación entre biodiversidad y productividad agrícola como un juego de suma cero. Proporciona evidencia del potencial de convergencia y sinergias genuinas mediante la promoción de enfoques sostenibles que puedan mejorar la salud de las tierras y calificar como SbN para proporcionar múltiples beneficios a la sociedad y naturaleza.





# Capítulo 2

Prácticas agrícolas insostenibles y el futuro de la agricultura

## 2.1 La tierra como un recurso finito

Como se ilustra en el Capítulo 1, en las próximas décadas, uno de los mayores desafíos al cual se enfrentará la humanidad será equilibrar la necesidad de alimentar a 9 mil millones de personas con la de restaurar y proteger los recursos naturales. La tierra es uno de los recursos naturales más fundamentales: algo tan común que ignoramos habitualmente cómo las acciones humanas la están perjudicando. La tierra es territorio, propiedad, un recurso, nuestro patrimonio y mucho más. La tierra tiene un valor económico, social y ambiental y, incluso cuando es de propiedad privada, proporciona muchos beneficios a la sociedad, incluido el suministro de agua dulce y la regulación del clima. La tierra es parte de la base de la vida humana, sin embargo, la damos por sentada y la estamos degradando rápidamente.

En su documento de 2009, Rockström et al. definen lo que denominan un espacio operativo seguro para la humanidad, más allá del cual podemos incurrir en riesgos “deletéreos o incluso catastróficos”. Los autores identifican nueve límites planetarios y estiman que tres de estos límites ya han sido transgredidos por la humanidad: cambio climático, pérdida de biodiversidad y cambios en el ciclo global del nitrógeno (Rockström et al., 2009). Un estudio posterior estima que un cuarto límite, la conversión de las tierras, también se está transgrediendo, y propone un límite planetario genérico para abarcar la influencia humana en los flujos biogeoquímicos en general, en lugar de sólo centrarse en el fósforo (P) y el N (Steffen et al., 2015).

Lograr los ODS adoptados por los estados miembros de la ONU en 2015 ayudaría a abordar estos límites planetarios. Sin embargo, los ODS incluyen objetivos de desarrollo económico y social que, potencialmente, implican compromisos con la sostenibilidad ambiental. En particular, el [ODS 2](#) (Hambre Cero) puede considerarse como en competencia directa con el [ODS 15](#) (Vida de Ecosistemas Terrestres). Uno de los desafíos más urgentes de la sociedad es, por lo tanto, satisfacer los derechos de las personas a una “buena

vida”, incluida una alimentación y nutrición adecuadas, manteniéndose dentro de los límites planetarios. En otras palabras, necesitamos conciliar la agricultura y el medio ambiente: “acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible” ([ODS 2](#)) y también “proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de manera sostenible, combatir la desertificación y detener e invertir la degradación de las tierras y la pérdida de biodiversidad” ([ODS 15](#)).

Un marco de trabajo más reciente ha sido propuesto para equilibrar los límites planetarios con el desarrollo social (Raworth, 2017). El modelo de “economía de rosquilla” añade doce dimensiones del desarrollo social, extraídas de los ODS, a los nueve límites planetarios. Este modelo presenta una visión de una sociedad justa y sostenible, en la que la humanidad ocupa el espacio seguro entre los lindares superiores de nuestros límites planetarios y los requisitos mínimos de desarrollo social para todos, en todo el mundo, conocidos como “fundamento social”. Este modelo destaca el desafío de mejorar nuestra entrega de beneficios sociales como alimentos, agua, salud y educación, permaneciendo al mismo tiempo dentro de los límites planetarios.

El desarrollo económico básico sigue siendo una prioridad urgente para muchas personas, ya que aproximadamente 750 millones de personas viven actualmente en una pobreza extrema. Sin embargo, ese número se ha reducido a la mitad desde finales de la década de los 1980, mientras que la población ha crecido, lo que hace que la parte de la población mundial en extrema pobreza haya bajado del 42% al 10% desde 1987 (Roser & Ortiz-Ospina, 2017). La población sigue creciendo rápidamente y se prevé que aumente de aproximadamente 7,7 mil millones de personas a finales de 2019 a unos 9,7 mil millones para 2050<sup>7</sup>. A medida que el mundo avanza significativamente en las dimensiones sociales del desarrollo sostenible, el aumento de la población y la creciente riqueza per cápita están exigiendo cada vez más de la naturaleza, especialmente a través del sector alimentario.

<sup>7</sup> <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/>



### 2.1.1 Contribución de la agricultura a la transgresión de los límites ecológicos

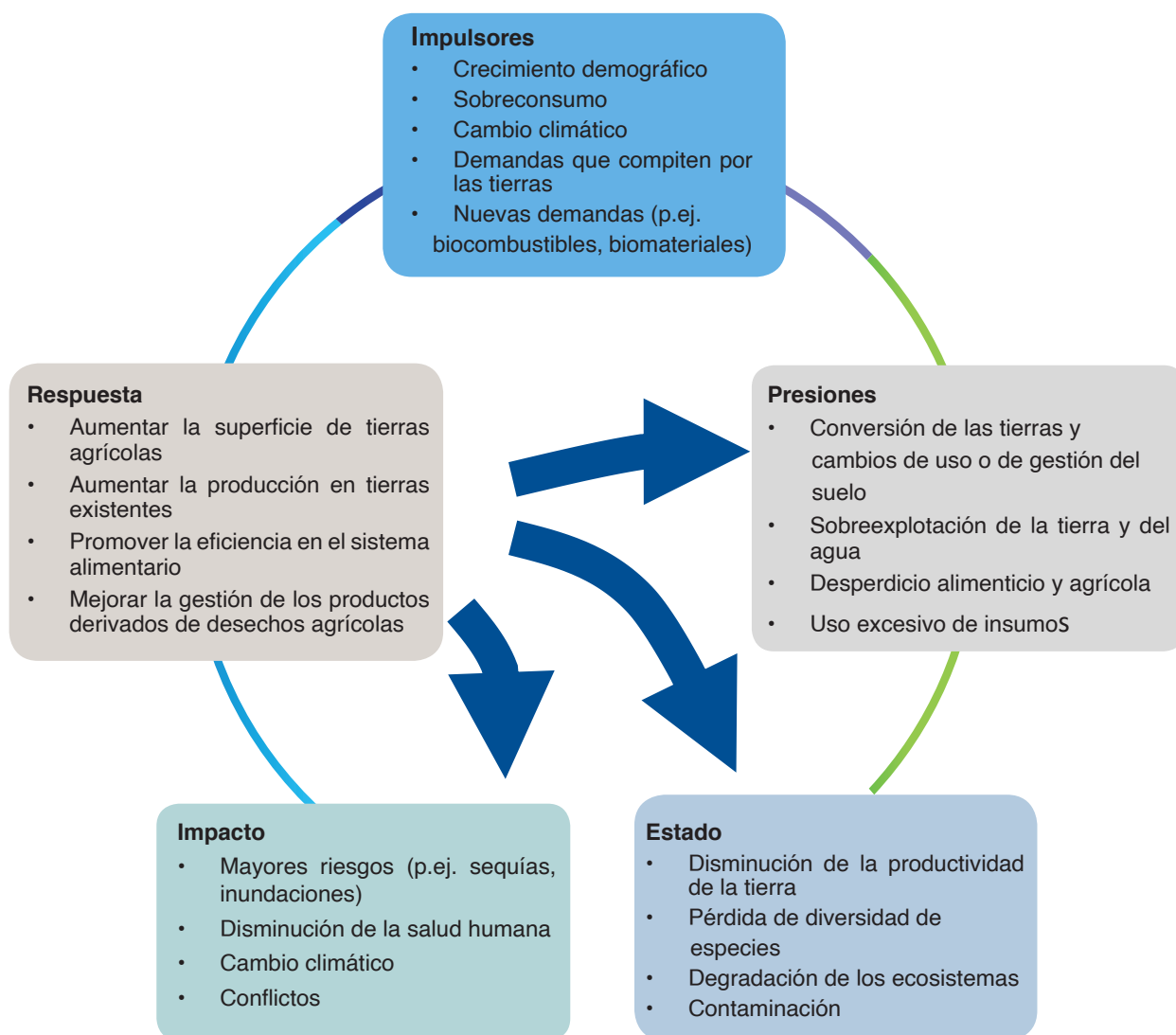
La agricultura constituye actualmente una de las principales amenazas a los límites planetarios. Es la principal fuente de riesgo para la integridad de la biosfera, los flujos biogeoquímicos, el cambio del sistema terrestre y el uso de agua dulce, así como un importante contribuyente al cambio climático (Campbell et al., 2017). Si bien algunas formas de agricultura protegen la biosfera e incluso crean nuevos hábitats, las prácticas dañinas han comprometido la integridad de la biosfera al destruir los hábitats y al contribuir a la extinción de especies. Los sistemas agroalimentarios son los principales contribuyentes a los flujos biogeoquímicos, especialmente a través de la lixiviación de N y P, lo que afecta la calidad del agua y contribuye a la contaminación oceánica. La agricultura es también el motor principal de los cambios de uso de las tierras, responsable de la conversión de bosques y pastizales en áreas cultivadas.

La extracción de agua dulce para servir a la producción agrícola ha afectado negativamente a los ecosistemas en muchas cuencas hidrográficas. Reduce las masas de agua, amenaza la biodiversidad y compromete las funciones ecosistémicas. La escala del impacto puede ser significativa, ya que el uso localizado de agua tiene consecuencias a gran distancia por la fragmentación de los ecosistemas y la eutrofización causada por la lixiviación de N y P (Falkenmark, 2013). La agricultura se considera la mayor fuente no puntual de contaminación (Evans et al., 2019).

La agricultura contribuye al cambio climático mediante la liberación de gases de efecto invernadero (GEI), como el metano producido por la fermentación entérica en el ganado rumiante y el cultivo de arroz, y el óxido nitroso del suelo, la aplicación de fertilizantes y la gestión del estiércol (Blanco et al., 2014). En total, se estima que el 23% de las emisiones de GEI antropogénicas se derivan de la agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (IPCC, 2019).

El impacto de la agricultura en la naturaleza tiene un gran alcance. Las prácticas agrícolas insostenibles pueden comprometer la productividad de las tierras y la disponibilidad de agua, y con frecuencia socavan la viabilidad a largo plazo de la agricultura. Como resultado, la agricultura no sostenible tiene un efecto en la resiliencia y la seguridad humana, y puede contribuir a conflictos y migraciones. En última instancia, la insostenibilidad de nuestro sistema alimentario global socava las economías y la estabilidad política mundiales.

La agricultura es un componente central del altamente complejo sistema alimentario mundial, pero las prácticas agrícolas no son el único factor que afecta su sostenibilidad. Las elecciones y el comportamiento de miles de millones de consumidores, junto con una multitud de actores en las cadenas de suministro de insumos, procesamiento, comercialización y distribución de alimentos, determinan en última instancia la sostenibilidad del sistema alimentario. Como lo ilustra la Figura 2, poderosas fuerzas subyacentes, como el crecimiento demográfico y el aumento del ingreso per cápita, están impulsando la creciente demanda de productos agrícolas (alimentos, fibras, biocombustibles y biomateriales) e intensificando la presión sobre las tierras. El sector agrícola responde con una intensificación de la producción mediante el aumento de la producción en las tierras de cultivo existentes y la incorporación de nuevas tierras a la producción. Ambas respuestas pueden tener graves consecuencias perjudiciales para la naturaleza. Sin embargo, la Figura 2 incluye una tercera respuesta: aumentar la eficiencia del sistema alimentario. Esta respuesta es coherente con la opinión de que la producción mundial de alimentos ya es suficiente, y que el reto es garantizar que estos alimentos se distribuyan de forma equitativa y se consuman de manera responsable.



**Figura 3** Efectos ambientales de la agricultura: impulsores, presiones, estado, impacto y respuesta

La Figura 3 muestra cómo la agricultura y otros factores contribuyen a la creciente presión sobre las tierras, subrayando la complejidad del desafío. Abordar esta complejidad requiere estrategias con visión de futuro y respuestas integradas de múltiples actores. Comprender la retroalimentación entre respuestas e impulsores, presiones y estado de las tierras es esencial para identificar y promover opciones de retroalimentación positiva. Esta relación positiva se puede desarrollar a través de un enfoque en la gerencia ambiental y una inversión equilibrada en los múltiples valores de las tierras agrícolas.

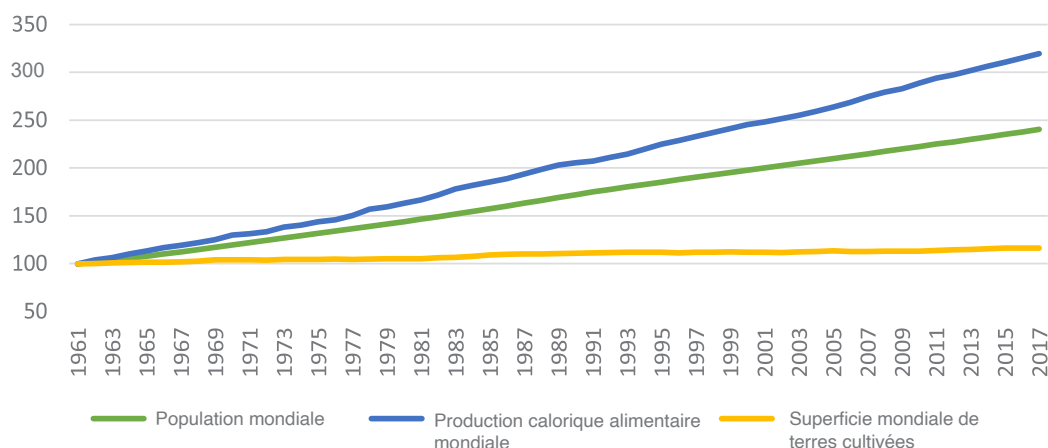
## 2.2 Desarrollo agrícola: un alto desempeño

La alimentación es una necesidad humana fundamental, esencial para una vida saludable y productiva, y para sociedades pacíficas y prósperas. La inseguridad alimentaria ha provocado un sufrimiento inconmensurable a lo largo de la historia de la humanidad e, incluso en los últimos años, ha propiciado revoluciones políticas y trastornos sociales. No es sorprendente que los gobiernos coloquen la seguridad alimentaria por delante de muchas prioridades de desarrollo.

En los últimos 50 años, el sector agrícola ha logrado avances notables en la alimentación de una población mundial en rápido crecimiento. Mientras que la población humana aumentó en más de 170% desde 1962, la producción agrícola mundial aumentó en más de 270% (Figura 3). Este salto en la producción se atribuye en gran medida a un aumento de la productividad, más que a una expansión de las tierras agrícolas: durante el mismo período, la superficie cultivada creció en torno al 12%. A modo de ejemplo, la

producción de cereales per cápita aumentó de 0,29 a 0,39 toneladas, entre 1961 y 2014.

Estos mayores rendimientos se atribuyen a cuatro grandes áreas de desarrollo tecnológico: variedades de cultivos de mayor rendimiento, riego, fertilizantes sintéticos y pesticidas, y mecanización, junto con una energía de bajo coste (a menudo subvencionada) a partir de combustibles fósiles (Ramankutty et al., 2018).

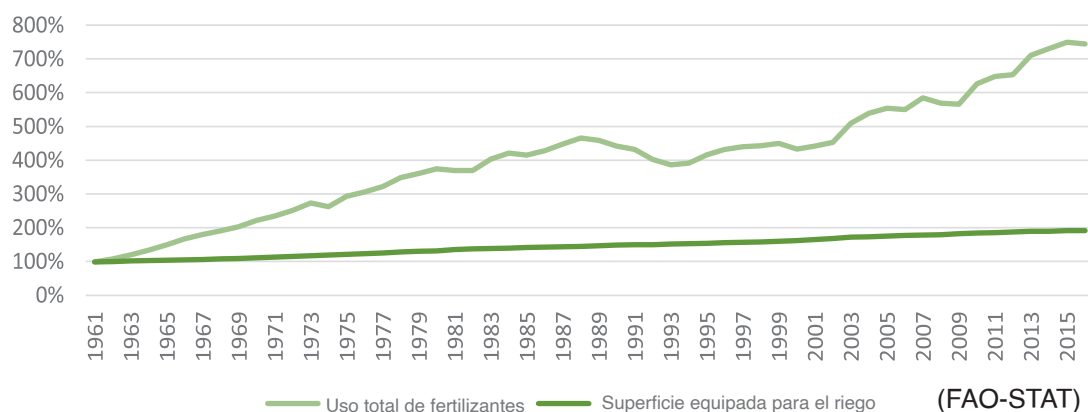


(FAO-STAT)

**Figura 4** Cambio mundial en la población, la superficie de tierras de cultivo y la producción de calorías alimenticias desde 1961

El riego ha desempeñado un papel importante en el crecimiento agrícola. Las tierras de riego representaban aproximadamente el 19,7% de las tierras cultivadas en 2006, pero el aumento del riego ha contribuido aproximadamente al 40% del aumento total de la producción agrícola (FAO, 2011). Aunque la tasa de expansión del riego está disminuyendo, un estudio (Tubiello et al., 2010) prevé que la

producción de alimentos de regadío aumente entre un 15 y un 17% entre 2015 y 2050. Los productos agroquímicos también han desempeñado un papel importante en el desarrollo agrícola. Se espera que el uso mundial de fertilizantes artificiales superen los 200 millones de toneladas anuales para 2018, un aumento del 25% con respecto a los niveles de 2008 (FAO, 2015)<sup>1</sup>.



(FAO-STAT)

**Figura 5** Evolución del uso de fertilizantes y del riego desde 1961

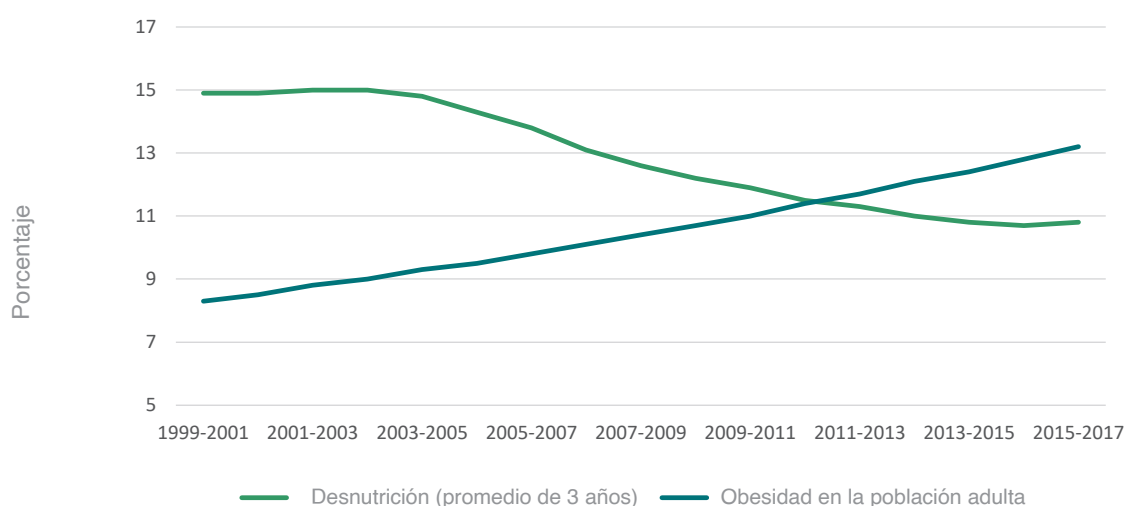
<sup>1</sup> Cabe señalar que esta proyección se basa en estimaciones de productividad agrícola que no suponen ningún cambio en la situación actual en cuanto a la eficiencia del sector agroalimentario.

Aunque los avances en la producción agrícola hayan sido notables, el panorama mundial puede ocultar los principales desafíos que persisten en algunos países y regiones. Los aumentos en los rendimientos de los cultivos han ayudado a reducir el hambre, mejorar la esperanza de vida, reducir las tasas de mortalidad infantil y juvenil, y disminuir la pobreza a nivel mundial (Whitmee et al., 2015). La prevalencia de la desnutrición ha disminuido en los últimos 20 años, aunque todavía afecta actualmente a cerca del 11% de la población mundial, o 800 millones de personas, y que al menos 51 países se enfrentaron a la inseguridad alimentaria en 2017 (FSIN, 2018). Sin embargo, las cifras de prevalencia de la inseguridad alimentaria han aumentado entre 2015 y 2018. En un contexto de cambio climático y crisis humanitarias múltiples, la incertidumbre ha aumentado y una mayor producción mundial de alimentos podría no ser suficiente para garantizar la seguridad alimentaria, a menos que los sistemas de producción de alimentos sean más resilientes y las personas tengan un acceso más estable a los alimentos (FAO, 2019d).

Paralelamente, una combinación de urbanización rápida, aumento de los ingresos y acceso inadecuado a alimentos nutritivos está impulsando un fenómeno

creciente de consumo excesivo y dietas poco saludables (Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition, 2016; Willett et al., 2019). El aumento del consumo de carne, grasas refinadas, azúcares refinados, alcoholes y aceites está contribuyendo a dietas poco saludables, y conduce a una competencia por los recursos con productos alimenticios básicos (Ramankutty et al., 2018). Un estudio estima que entre 2005-2007 y 2050, la producción mundial de carne aumentará en un 76% y la producción de cereales en un 46% (Alexandratos & Bruinsma, 2012).

Si bien existe una gran preocupación por el nivel de desnutrición mundial, se estima que 2.000 millones de personas en todo el mundo tienen sobrepeso (WHO, 2019). La prevalencia de la obesidad está aumentando constantemente (Figura 5) y, en 2011, superó a la desnutrición como causa principal de malnutrición a nivel mundial. Las políticas agrícolas contribuyen a estos resultados negativos para la salud: las mejoras en la productividad agrícola, combinadas con un acceso subsidiado a las grasas saturadas y al azúcar, han facilitado un aumento masivo de la ingesta energética en la dieta (Willett et al., 2019).



(FAO-STAT)

**Figura 6** Evolución de la prevalencia de la desnutrición y la obesidad en los adultos a lo largo del tiempo

Además de alimentar al mundo, la agricultura sigue siendo el principal empleador y hace muchas contribuciones a los medios de vida rurales. El Banco Mundial estimaba que la agricultura empleaba al 27% de la fuerza de trabajo mundial en 2019, frente al 43% en 1991<sup>9</sup>, y 33 países tienen más de la mitad de su fuerza laboral dedicada a la agricultura, 24 de ellos en África<sup>10</sup>. En el Sur de Asia, un tercio del crecimiento del empleo desde 1999 se ha producido en la agricultura, mientras que el empleo agrícola está disminuyendo en las economías desarrolladas, en Asia del Este, América Latina y el Caribe. Las mujeres son más activas que los hombres en el sector agrícola a nivel mundial (38% versus 33%). El sector también emplea la mayor proporción de trabajo infantil a nivel mundial: alrededor del 60% de todos los menores trabajadores, o 129 millones de niñas y niños (FAO, 2014b).

### 2.2.1 Tierras agrícolas

Según los datos de 2015 de la División de Estadística de la FAO, FAOSTAT<sup>11</sup>, el 12% de todas las tierras del planeta están siendo cultivadas, y otro 25% se utiliza como prados y pastos permanentes (Figura 6). En conjunto, estas cifras indican que el 37% de la superficie total de las tierras se utilizan para la agricultura. Sin embargo, estos datos pueden ser engañosos, ya que grandes áreas de praderas y pastos permanentes son hábitats seminaturales en los que se conserva la vida silvestre junto con la producción ganadera (Davies et al., 2012). Estas áreas podrían considerarse sujetas a “otras medidas eficaces de conservación basadas en áreas” (OMEC) y contribuir, junto con áreas más estrictamente protegidas, al Objetivo 11 de Aichi para la Diversidad Biológica.



**Figura 7** Superficie agrícola mundial en 2015

<sup>9</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/sl.agr.empl.zs>

<sup>10</sup> [https://www.theglobaleconomy.com/rankings/employment\\_in\\_agriculture/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/employment_in_agriculture/)

<sup>11</sup> <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Se han hecho varios intentos para estimar cuándo se estabilizará el área global de tierras de cultivo, un punto conocido como “pico de tierras de cultivo”. Los modelos utilizados en estas proyecciones son sensibles a la incertidumbre en parámetros como el crecimiento demográfico, las preferencias dietéticas y las nuevas demandas, como la de biocombustibles. Un estudio predijo que el área total bajo cultivo comenzaría a disminuir después de 2010 (Ausubel et al., 2013), aunque datos recientes indican que el pico podría alcanzarse entre 2020 y 2040 para todas las tierras agrícolas, y alrededor de 2050 para las tierras de cultivo (Roser & Ortiz-Ospina, 2017). La FAO ha estimado que el pico de tierras de cultivo podría no alcanzarse hasta 2080 (Alexandratos & Bruinsma, 2012).

Grandes áreas de tierras no son aptas para el cultivo, basadas en las tecnologías actuales, pero aun quedan áreas significativas potenciales para tierras de cultivo. Se ha estimado que el 80% de las tierras agrícolas potenciales restantes del mundo se encuentran en África (580 millones de hectáreas) y Sudamérica (369 millones de hectáreas). Sin embargo, una proporción significativa de estas tierras ya está gestionada para ganado y otros fines, y la estimación de las tierras de cultivo disponibles podría ser sobrestimada (Cotula et al., 2008). Las tierras identificadas para su conversión en tierras de cultivo a menudo han demostrado tener un alto costo ambiental, por ejemplo, mediante la destrucción de pastizales, pastos o bosques. Además, las sugerencias para expandir las tierras de cultivo a tierras marginales o degradadas se enfrentan a varios problemas. Existen desafíos continuos para llegar a un acuerdo sobre cómo definir las tierras degradadas e identificar dónde se encuentran. Las tierras marginales o degradadas rara vez están desocupadas y ya brindan beneficios a sus usuarios existentes. Sin embargo, se buscan simultáneamente para usos competitivos, como la producción de alimentos, la producción de madera, las bioenergías y la conservación. Por último, gran parte de las tierras clasificadas como degradadas ya son tierras agrícolas y, por lo tanto, son aptas para la rehabilitación mediante la agricultura sostenible, pero no se pueden “convertir” en tierras agrícolas (Hanson y Searchinger, 2015).

Con la desaceleración de la expansión total de tierras de cultivo, se prevé que la mayoría del crecimiento futuro de la producción, hasta el 80%, provendrá de mejores rendimientos. Esto refleja un cambio hacia una mayor eficiencia desde 1990, por el que el aumento de la producción agrícola mundial se ve menos impulsado por el uso de insumos (tierra, riego, mano de obra, maquinaria, etc.) y más por una “productividad total de los factores”, que mide la producción por unidad de insumos (Ramankutty et al., 2018).

Los cambios en la productividad y el uso de la tierra tienen implicaciones para la tenencia de la tierra y los derechos sobre los recursos de las comunidades agrarias. Los cambios en el tamaño de las explotaciones pueden dar una idea de cómo están evolucionando los derechos sobre los recursos, con marcadas diferencias entre regiones. El tamaño medio de las explotaciones en África y Asia disminuyó entre 1950 y 2000, pero en los últimos años la tendencia se ha invertido en Asia. El tamaño de las explotaciones sigue disminuyendo en África, aunque la mayoría de los países africanos con abundancia de tierras hayan mostrado un aumento en el tamaño medio de las explotaciones. Al mismo tiempo, el tamaño de las explotaciones en Europa y América del Norte ha aumentado (Lowder et al., 2016).

La mayoría de las explotaciones del mundo (84%) son gestionadas por pequeños agricultores, que cultivan menos de 2 hectáreas y gestionan colectivamente alrededor del 12% de las tierras agrícolas del mundo (Lowder et al., 2016). La contribución de estas explotaciones a la producción mundial de calorías se ha estimado en entre el 18% y el 34% (Herrero et al., 2017, Ricciardi et al., 2018). La mayoría de las tierras agrícolas son administradas por agricultores familiares, que no están clasificados como pequeños agricultores porque tienen más de 2 hectáreas de tierras. Basado en Lowder et al. (2016), estos agricultores familiares (no clasificados como pequeños agricultores) administran el 6% de las explotaciones individuales del mundo, pero el 63% de las tierras agrícolas. El 10% restante de las explotaciones gestiona el otro 25% de las tierras: esto incluye tierras controladas por explotaciones estatales y empresas privadas.



En la última década, se han planteado preocupaciones por acuerdos sobre tierras agrícolas entre países en desarrollo y empresas extranjeras, a menudo ignorando los derechos consuetudinarios de las comunidades indígenas y locales a acceder y utilizar la tierra. Según un estudio, los derechos sobre el agua adquiridos a través de estos acuerdos serían suficientes, por sí solos, para mejorar la seguridad alimentaria y disminuir la desnutrición en los países afectados (Rulli et al., 2013). El estudio estima que alrededor de 47 millones de hectáreas de tierras han sido adquiridas en todo el mundo y consumen aproximadamente 310 mil millones de m<sup>3</sup> por año de agua verde (agua del suelo y de la vegetación) y hasta 140 mil millones de m<sup>3</sup> por año de agua azul (agua de lagos, ríos y aguas subterráneas).

Aunque la relación entre desarrollo agrícola y estructura de las empresas propietarias de las tierras es difícil de discernir, los cambios en la tenencia de las tierras suscitan preocupaciones sobre las posibles desigualdades que podrían resultar. En muchas sociedades, unas actitudes discriminatorias hacia la propiedad de la tierra y el acceso al conocimiento o al capital financiero conducen a resultados inequitativos en el desarrollo agrícola. Son especialmente preocupantes las desigualdades entre hombres y mujeres en materia de tenencia de la tierra y derechos sobre los recursos. Las mujeres están en desventaja en relación con los hombres con respecto a todas las dimensiones de los derechos a la tierra asociados con las tierras agrícolas: propiedad, gestión, transferencia y derechos económicos. Menos del 15% de todos los propietarios de tierras en todo el mundo son mujeres, y tan solo 5% en el Oriente Medio (FAO, 2018b).

Las mujeres a menudo están excluidas de la participación en procesos relacionados con la tenencia y la gobernanza de la tierra, y pueden tener una capacidad limitada para influir en la toma de decisiones. La tenencia de la tierra a menudo refleja las relaciones de poder entre diferentes grupos, y puede ser abusada para hacer valer una autoridad sobre grupos pobres y socialmente marginados. Esto puede ocurrir cuando el control y la influencia del Estado son débiles, y unas élites locales logran tomar el control de las tierras y los recursos (Borelli et al., 2019). Teniendo en cuenta la

importancia del trabajo de las mujeres en la agricultura en muchos países, su exclusión de la toma de decisiones puede tener consecuencias significativas para la adopción de prácticas de GST. Esto puede resultar de diferentes motivos y prioridades impulsando su toma de decisiones, diferentes capacidades para responder a las oportunidades o una falta de acceso a la información pertinente (Ragassa, 2014).

## 2.3 Impactos ambientales en tierras agrícolas

El rápido aumento de la producción agrícola en el último medio siglo ha tenido un coste medioambiental significativo, y existen indicios de que las prácticas agrícolas insostenibles están socavando la viabilidad a largo plazo del sector. Los avances en la tecnología agrícola, incluida la selección de variedades de cultivos y razas ganaderas que requieren factores de producción más exigentes para desarrollar su potencial (fertilizantes, pesticidas y mecanización), han sido motores importantes de prácticas agrícolas no sostenibles para el medio ambiente. Sin embargo, nuevos avances tecnológicos pueden desempeñar un papel importante en la consecución de la sostenibilidad en el futuro, y el reto consiste en redirigir el desarrollo de la tecnología agrícola para apoyar una producción más sostenible.

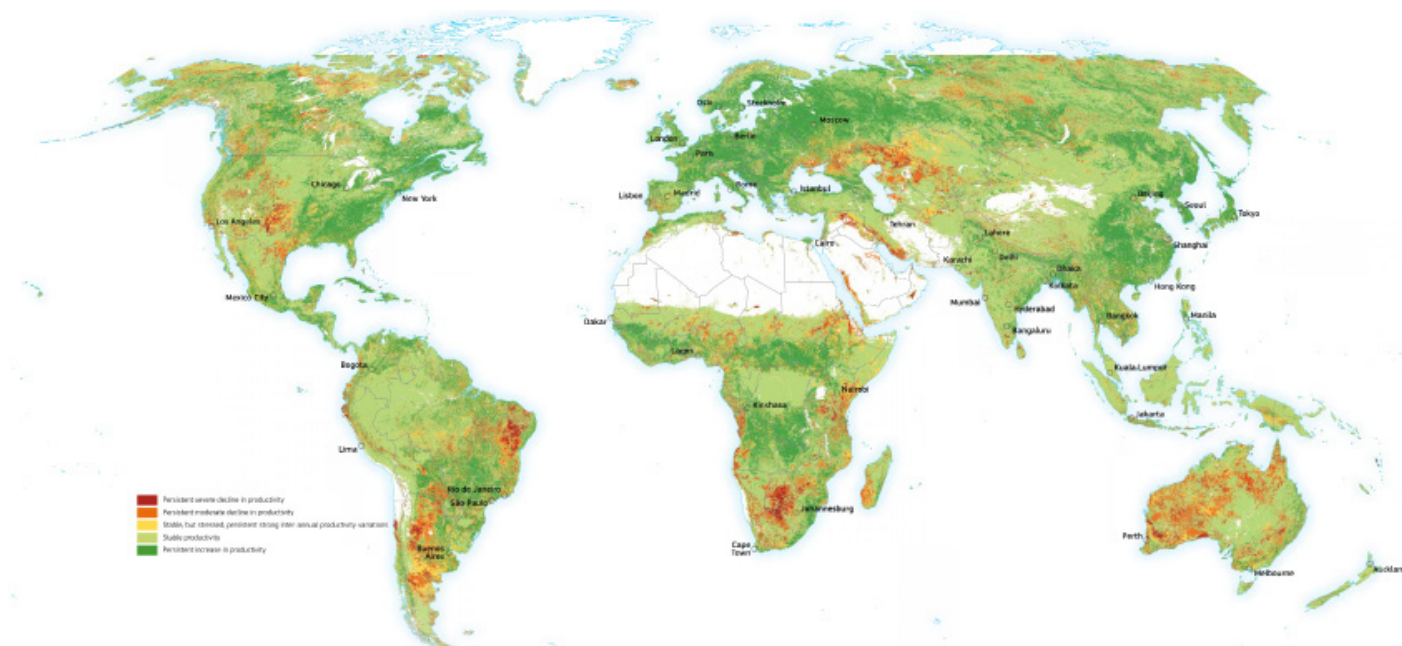
### 2.3.1 Degradación de las tierras

Las Naciones Unidas definen la degradación de las tierras como una “reducción o pérdida ... de la productividad y complejidad biológica o económica de ... la tierra resultante de los usos del suelo ...” La degradación de las tierras puede ocurrir como resultado de una erosión del suelo causada por el viento o el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o económicas del suelo, o la pérdida duradera de la vegetación natural (United Nations, 1994). El uso prolongado, intensivo e indiscriminado de agroquímicos afecta negativamente a la biodiversidad del suelo, la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria, y es un importante contribuyente a la degradación de las tierras (Meena et al., 2020). Los síntomas de la degradación de la tierra pueden incluir

la pérdida de suelo, el agotamiento de los nutrientes, la salinidad, la escasez de agua, la contaminación, la interrupción de los ciclos biológicos y la pérdida de biodiversidad (Bai et al., 2008).

La agricultura contribuye a la degradación de las tierras agrícolas y otros tipos de cobertura, por ejemplo mediante la deforestación o la conversión de pastizales naturales. La degradación de las tierras afecta a aproximadamente el 29% de la superficie total de las tierras del mundo y ocurre en todos los agro-ecosistemas. Se observa una disminución inducida por el ser humano en la productividad de biomasa en el 25% de las tierras de cultivo y los mosaicos de cultivos con vegetación, el 29% de los mosaicos de bosques con arbustos y pastizales, el 25% de los matorrales y el 33% de los pastizales. La degradación de las tierras en los cultivos puede verse enmascarada por la aplicación de fertilizantes para aumentar la productividad de la tierra (Le et al., 2014).

La degradación de las tierras agrícolas se observa en todas las regiones, aunque es más prevalente en el norte de África y el Próximo Oriente, afectando al 45% de las tierras de cultivo y al 52% de las tierras de pastoreo, en comparación con el 19% y el 17% respectivamente en Europa. A nivel mundial, se estima que el 28% de la población reside en áreas degradadas, aunque esto aumenta al 66% en el norte de África y el Próximo Oriente, mientras que en Europa la cifra es del 10% (Le et al., 2014).



*Atlas mundial de la desertificación:* <https://wad.jrc.ec.europa.eu/landproductivity>

**Figura 8** Mapa de la disminución de la productividad de las tierras: 1 de los 3 indicadores acordados de degradación de las tierras en el marco de la CNULD.

### 2.3.2 Disminución de la biodiversidad

Las prácticas agrícolas insostenibles se asocian con una disminución de la diversidad de especies, impulsada por la conversión de los hábitats naturales para la producción de alimentos, así como por la contaminación. El impacto en la biodiversidad se amplifica a lo largo de las cadenas de suministro de alimentos, mediante el uso de energía, el transporte y los residuos (Dudley & Alexander, 2017). Uno de los principales contribuyentes a la pérdida de biodiversidad en el sector agroalimentario es la intensificación y la creciente aplicación de productos agroquímicos, incluidos los pesticidas y los fertilizantes. Las funciones y servicios ecosistémicos con frecuencia disminuyen en paralelo con la pérdida de biodiversidad, incluida la disminución del suministro de agua, la calidad del agua, el aire limpio y la regulación climática. Se estima que la pérdida mundial de servicios ecosistémicos debido a cambios en el uso de la tierra costará entre 4,3 y 20,2 billones de USD al año (Costanza et al., 2014).

La conversión de las tierras para la agricultura contribuye a la pérdida de hábitats y a la fragmentación de los paisajes. La superficie forestal mundial ha disminuido en aproximadamente un 3% entre 1990 y 2015, aunque la tasa de pérdida neta de bosques entre 2010 y 2015 fue dos veces menor que en la década de los 1990 (Keenan et al., 2015). La pérdida de bosques fue mayor en los trópicos y en los países en desarrollo, mientras que el área mundial de bosques templados ha aumentado. Unos cambios en las prácticas de gestión de las tierras agrícolas también han afectado negativamente a la biodiversidad, incluida la conversión de pastos permanentes en cultivos anuales, la sustitución de barbechos por cultivos permanentes, o la pérdida de los límites de campo, entre muchos otros (UNEP, 2007). En Europa, por ejemplo, la agricultura es el factor citado con mayor frecuencia en cuanto a afectación del estado de la naturaleza<sup>12</sup>.

La intensificación agrícola ha contribuido a la pérdida de métodos agrícolas tradicionales, que a menudo respaldan niveles más altos de heterogeneidad paisajística y de biodiversidad. Esta simplificación de los

sistemas agrícolas reduce el número de depredadores naturales, lo que a su vez conduce a un aumento de las infestaciones de plagas de cultivos y una mayor dependencia de los pesticidas. Un análisis encontró que el control natural de plagas era un 46% menor en paisajes agrícolas homogéneos en comparación con paisajes más complejos (Rusch et al., 2016). Además, la intensificación ha llevado a una disminución de la diversidad de cultivos y ganado. Si bien se han cultivado más de 6.000 especies de plantas como alimento, menos de 200 hacen contribuciones sustanciales a la producción alimentaria mundial, y sólo nueve representaban el 66% de la producción total de cultivos en 2014 (FAO, 2019d).

### 2.3.3 Estrés hídrico

La expansión de la agricultura de regadío ha provocado la degradación de los humedales y las zonas ribereñas, el agotamiento de los acuíferos y la interrupción del suministro, aguas abajo. El sector agrícola utiliza aproximadamente el 70% de toda el agua que se extrae de acuíferos, ríos y lagos (FAO, 2011). La disponibilidad de agua para la agricultura es hoy un factor limitante para una mayor intensificación en muchas áreas. Además, el riego mal gestionado o mal diseñado contribuye a la degradación de las tierras en algunos países mediante la salinización de las tierras de cultivo (IWMI, 2007).

Durante la segunda mitad del siglo XX, las “revoluciones verdes” en varios países comprometieron la seguridad hídrica, debido al agotamiento de los cabales fluviales y de las aguas subterráneas, así como a una grave contaminación del agua. La pérdida de humedad del suelo (agua verde) debido a la degradación de las tierras y la deforestación amenaza la producción de biomasa terrestre, incluidos los rendimientos agrícolas, y el secuestro de C. Los cambios en los volúmenes y patrones de escorrentía de agua (agua azul) amenazan los ecosistemas acuáticos, así como el suministro de agua doméstica e industrial. La disminución en la retroalimentación de humedad a los flujos de vapor (agua verde) afecta los patrones de precipitación locales y regionales, y tiene impactos en la regulación del clima (Falkenmark, 2013).

<sup>12</sup> European Environment Agency. (2015). State of nature in the EU: biodiversity still being eroded, but some local improvements observed. <http://www.eea.europa.eu/highlights/state-of-nature-in-the>

## 2.4 Impulsores de la degradación de las tierras en la agricultura

El crecimiento demográfico es uno de los principales impulsores de la presión ambiental vinculada a la agricultura. Se prevé que la población mundial alcance los 9,7 mil millones para 2050 y alrededor de 11 mil millones de personas para 2100<sup>13</sup>. Sin otros cambios para mejorar la eficiencia del sistema alimentario y agrícola, se estima que la demanda de productos agrícolas aumentará al menos en un 50% para 2050 (FAO, 2018a). Sin embargo, como indicado anteriormente, la producción de alimentos excede en gran medida la demanda actual. El desafío no es tanto la disponibilidad de alimentos, sino más bien una cuestión de cómo se distribuyen y consumen estos alimentos a nivel mundial.

Aunque se prevé que la producción agrícola mundial se ralentice, esto oculta importantes discrepancias regionales. La producción en el Sur de Asia podría duplicarse, y se prevé que en África subsahariana se triplique (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Mientras tanto, el abandono rural está emergiendo como un nuevo desafío medioambiental en Europa. La estimación de rango medio del abandono de tierras agrícolas en la Unión Europea (UE) es de aproximadamente 3-4% de la superficie total de las tierras para 2030 (Keenleyside & Tucker, 2010).

El informe de la Comisión EAT-Lancet sobre los patrones de consumo y la degradación medioambiental encontró una gran cantidad de pruebas que vinculan las dietas con la salud humana y la sostenibilidad medioambiental (Willett et al., 2019). La comisión encontró que la forma en que se producen los alimentos, las opciones de consumo y el alcance de la pérdida y el desperdicio de alimentos determinan en gran medida la salud de las personas y del planeta. Concluye que las dietas ricas en alimentos de origen vegetal y con menos productos de origen animal pueden proporcionar mejores beneficios para la salud y el medio ambiente, al tiempo que reconoce que el

patrón mundial puede disimular discrepancias regionales, como unas deficiencias de micronutrientes. Además de una creciente demanda de calorías y proteínas, nuestro apetito por productos no alimentarios de la agricultura, como los biocombustibles y los bioplásticos, está aumentando. Según una estimación, la superficie total de tierras utilizadas para la producción de biocarburantes y subproductos podría aumentar entre 35 y 54 millones de hectáreas para 2030, en función del escenario político (Cotula et al., 2008). Mientras tanto, la creciente preocupación mundial por los residuos plásticos está impulsando una nueva demanda de bioplásticos fabricados a partir de biomasa, como las grasas y aceites vegetales o el almidón de maíz. El aceite de palma, que se utiliza para biocombustibles, cosméticos y otros usos además de como alimento, se producía a partir de 18,7 millones de hectáreas de plantaciones de palma aceitera a escala industrial en 2017. Aunque esto representa menos del 10% de las tierras asignadas a cultivos oleaginosos, representa el 35% de todo el aceite vegetal, lo que refleja niveles comparativamente altos de productividad de las tierras (Meijaard et al., 2018).

El desperdicio de alimentos es otro de los principales impulsores de los impactos ambientales del sector agrícola, ya que aumenta el área total de tierras e insumos necesarios para producir cada unidad de alimentos consumidos. La mayoría del desperdicio de alimentos en los países de ingresos medios y altos se debe al comportamiento de los consumidores, combinado con una falta de coordinación entre los actores de las cadenas de suministro de alimentos. En la UE, esto cuesta aproximadamente 143.000 millones de euros al año<sup>14</sup>, y cada tonelada de alimentos desperdiciados que se envía a los vertederos aporta emisiones de GEI equivalentes a 4,2 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)<sup>15</sup>. En los países en desarrollo, las limitaciones en la cosecha, el almacenamiento, la infraestructura y la comercialización son los principales factores del desperdicio de alimentos. Hasta un tercio de todos los alimentos producidos a nivel mundial se desperdicia, y la reducción del desperdicio es una de las formas más prometedoras de reducir el impacto

<sup>13</sup> <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/>

<sup>14</sup> Para más información sobre el desperdicio de alimentos en la UE, véase: [https://ec.europa.eu/food/safety/food\\_waste\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste_en)

<sup>15</sup> Dinamix, Issue No. 2, February 2016. *Policy Report*. A policy mix aimed at reducing impacts of agricultural production & consumption - Synthesis of potential impacts. [https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Dynamix%20Policyfield\\_roadmap\\_land\\_230316\\_0.pdf](https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Dynamix%20Policyfield_roadmap_land_230316_0.pdf)



actual de la humanidad sobre el medio ambiente y, al mismo tiempo, de lograr la seguridad alimentaria (Gustavsson et al., 2011).

Los factores económicos han contribuido en gran medida a la insostenibilidad de la agricultura. Una evaluación de la OCDE en sus 37 países miembros, los cinco Estados miembros de la UE que no pertenecen a la OCDE y 12 economías emergentes reveló que las transferencias netas a los sectores agrícolas de estos 54 países ascendían a 619 mil millones de USD al año, entre 2017 y 2019 (OECD, 2020). La OCDE informa que más de 500 mil millones de USD contribuyen a distorsionar los mercados, sofocar la innovación y perjudicar el medio ambiente. En contraste, el informe concluye que se gasta muy poco en garantizar el rendimiento a largo plazo del sector agrícola, con sólo 106 mil millones de USD al año asignados a investigación y desarrollo, infraestructura, bioseguridad y otros servicios de apoyo.

La OCDE estima que más de uno de cada nueve dólares de ingresos agrícolas brutos a nivel mundial proviene de políticas públicas, aunque en algunos países esta cifra asciende a casi la mitad de todos los ingresos agrícolas. En los últimos 40 años, el apoyo a los productores en los países de la OCDE ha disminuido de aproximadamente un tercio en la década de los 1980 a aproximadamente el 17% en 2017-2019, en porcentaje de los ingresos brutos de las explotaciones agrícolas. La evolución en las economías emergentes muestra actualmente una tendencia opuesta, desde un promedio del 4% en los países analizados en 2000-2002 a más del 8% en 2017-2019. Si bien la OCDE reconoce la necesidad de que los gobiernos inviertan en sistemas alimentarios que funcionen correctamente, reconoce que “la mayor parte del apoyo actual a la agricultura es inútil o incluso perjudicial”. Se identifican tres acciones políticas que los gobiernos pueden tomar para que su sector agrícola sea más productivo, sostenible y resiliente (OECD, 2020):

1. Eliminar las políticas distorsionadoras, incluido el apoyo a los precios y el apoyo

presupuestario, estrechamente vinculados con la producción agrícola y el uso de insumos.

2. Reasignar fondos hacia servicios públicos clave al sector para mejorar la productividad, la sostenibilidad y la resiliencia, o para un apoyo bien orientado para la provisión de resultados de interés público como la biodiversidad.
3. Centrarse en resultados medioambientales más ambiciosos a través de políticas menos distorsionadoras, más eficientes y más específicas.

El cambio climático afecta positiva y negativamente a la productividad de las tierras agrícolas, a través del aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitaciones, el aumento de la gravedad y la frecuencia de los eventos climáticos y la fertilización por el CO<sub>2</sub>. El cambio climático está exacerbando los procesos de degradación de las tierras, incluido mediante unos aumentos en la intensidad de las precipitaciones, las inundaciones, la frecuencia y la gravedad de las sequías, el estrés térmico, los períodos de sequía, el nivel del mar y la acción de las olas, y el deshielo del permafrost, con resultados modulados por las técnicas de gestión de las tierras. La erosión costera se está intensificando y está afectando a más regiones, y el aumento del nivel del mar incrementa la presión del uso de las tierras en algunas regiones. En las zonas áridas, se proyecta que el cambio climático y la desertificación reduzcan la productividad de los cultivos y el ganado, modifiquen la mezcla de especies vegetales y dañen la biodiversidad. Se proyecta que un mayor número de personas serán vulnerables al aumento de la desertificación en Asia y África. Se proyecta que los trópicos y subtrópicos sean más vulnerables a la disminución del rendimiento de los cultivos. Se proyecta que la degradación de las tierras a consecuencia de la combinación del aumento del nivel del mar y de ciclones más intensos pondrá en peligro las vidas y los medios de subsistencia en las zonas propensas a los ciclones (IPCC, 2019).

## 2.5 Restablecer la salud de las tierras para imponer la sostenibilidad en el sistema alimentario

El sector agrícola ha logrado una transformación notable en el último medio siglo y proporciona actualmente suficiente alimento para la población del futuro. La intensificación agrícola ha jugado un papel importante en la reducción de la expansión de las tierras agrícolas, pero ha creado una serie de amenazas ambientales, incluidas la degradación de las tierras y la contaminación. La transformación de la agricultura ha sido impulsada por un enfoque político estrecho basado en un objetivo principal: producir más alimentos, fibras y combustible, sin tener suficientemente en cuenta otras dimensiones importantes de los sistemas agroalimentarios, como la variedad nutricional, los medios de vida y los ingresos rurales, la sostenibilidad ambiental e, incluso, la eficiencia económica.

La intensificación agrícola ha llevado a prácticas que perjudican la esencia misma de la productividad agrícola: los suelos. Y esto a su vez ha socavado la salud de las tierras, en tal medida que la degradación de las tierras y los paisajes amenaza el futuro mismo del sistema agrícola actual. La sostenibilidad futura del sistema alimentario mundial depende de la restauración y el mantenimiento de la salud de las tierras en la agricultura, tanto a nivel de las explotaciones como de los paisajes, reconociendo simultáneamente la necesidad de satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos y de preservar la biodiversidad.

Los agro-ecosistemas proporcionan muchos beneficios además de la producción de alimentos, incluidos el suministro de agua, la reducción de los riesgos de sequía e inundaciones, la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios recreativos, estéticos y culturales. El enfoque en un aumento de la producción de alimentos a partir de las tierras agrícolas a menudo ha sacrificado estos otros valores, unos valores que la sociedad exige cada

vez más. Muchos de los beneficios asociados con las tierras agrícolas están determinados por la biodiversidad del suelo, que constituye una de las primeras víctimas de la degradación de las tierras. El valor de la biodiversidad del suelo para los servicios ecosistémicos se ha estimado en entre 1,5 billones y 13 billones de USD anualmente (van der Putten et al., 2004). El sector agrícola tiene un papel importante que jugar en la protección de los servicios ecosistémicos mediante la protección de la biodiversidad del suelo.

La cantidad de tierras disponibles para la expansión agrícola es limitada, lo que empuja a la agricultura a áreas cada vez más marginales. La invasión de tierras y la pérdida de hábitats seguirán siendo preocupantes para la conservación en algunas regiones, especialmente en África, y para ciertos hábitats críticos. Para ser coherente con los ODS, la agricultura necesitará alimentar a todos sin aumentar el área total de cultivos. Esto dependerá de un aumento de la eficiencia en el uso de los recursos, y en algunas regiones, es casi seguro que implicará nuevos aumentos de producción. Es muy probable que el uso de riego, insumos sintéticos y razas mejoradas continúe aumentando. Por lo tanto, el desarrollo agrícola necesita urgentemente hacer hincapié en una mayor eficiencia, produciendo más por unidad de insumos, de una manera ambientalmente sostenible (Van Der Esch et al., 2017). Producir más por unidad de insumos no significa necesariamente producir más en general: producir la misma cantidad con menos insumos también es una forma legítima de mejorar la eficiencia. Mantener la producción mientras se reducen los costos puede ser una opción de negocio atractiva para muchos agricultores.

La agricultura sostenible debe equilibrar la producción de alimentos con la provisión de otros servicios ecosistémicos. Esto debe lograrse sin comprometer la producción ni los ingresos, especialmente en las regiones que padecen inseguridad alimentaria. La sostenibilidad de la agricultura debe evaluarse tanto a escala de los paisajes como a nivel de las explotaciones. Depende de la adopción de prácticas agrícolas sostenibles por parte de los agricultores



individuales, así como de esfuerzos colectivos para garantizar la funcionalidad e integridad del paisaje, más allá de las explotaciones individuales. Esto puede incluir la protección de bosques y humedales, o la gestión de bosques y pastos, dentro del paisaje agrícola más amplio.

Abordar las pautas mundiales de consumo y distribución y reducir el desperdicio de alimentos requerirá una acción intersectorial en los países y una acción intergubernamental para un cambio mundial. La magnitud del desafío es enorme y requiere una acción urgente, a gran escala. Requiere respuestas de agricultores individuales, inversores agrícolas, y a lo largo de las cadenas de suministro agroalimentarias, hasta el consumidor. Requiere respuestas en las políticas y la legislación, y en las agendas políticas nacionales para proporcionar un mayor apoyo a la sostenibilidad en la agricultura. Sin embargo, los actores de la conservación y la agricultura tienen un interés compartido en proteger y restaurar la salud de las tierras y la biodiversidad de los suelos en los paisajes agrícolas. La creación de incentivos para la salud de las tierras en el sistema agroalimentario mundial debe ser una parte integral de la transición hacia la sostenibilidad. Esto será un reto importante que se deberá abordar durante el Decenio de las Naciones Unidas sobre la restauración de los ecosistemas (2021-2030)<sup>16</sup>.

## 2.6 Conclusión del capítulo 2

El sector agrícola ha alcanzado un desempeño notable durante el último medio siglo. La producción de alimentos ha aumentado drásticamente, reduciendo el hambre y contribuyendo a una mayor esperanza de vida, menores tasas de mortalidad infantil y juvenil, así como a una disminución de la pobreza. Estos impresionantes cambios se han logrado en gran medida a través de la intensificación, en particular con un aumento masivo en el uso de insumos, incluidos los agroquímicos y la mecanización, así como gracias al riego y a nuevas razas.

Estas mejoras han tenido un alto costo para el planeta y la sociedad. La expansión de las tierras agrícolas y la destrucción de los hábitats naturales han contribuido a pérdidas masivas de biodiversidad, contaminación, emisiones de GEI y degradación de las tierras.

El fácil acceso a alimentos baratos ha contribuido a una crisis de la obesidad en algunos países, mientras que un gran número de personas en los países en desarrollo siguen padeciendo inseguridad alimentaria y carencias de micronutrientes. Ya se podría satisfacer la demanda mundial si los alimentos se distribuyeran más equitativamente y se eliminara el desperdicio.

La tierra es un recurso finito y en gran medida sobreexplotado, lo que pone en peligro el bienestar futuro de la humanidad. Para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible y cumplir las metas internacionales sobre cambio climático, conservación de la biodiversidad y degradación de las tierras, la sociedad debe adoptar urgentemente más prácticas de GST, junto con otros cambios de gran alcance en el sistema agroalimentario. Esto deberá lograrse en un contexto de clima cambiante, de crecimiento demográfico y de disminución de los recursos naturales.

El costo de estos cambios puede parecer desalentador, pero debe analizarse a la luz de los 60 mil millones de USD de subvenciones y de los flujos aún mayores de inversión privada (principalmente de los propios agricultores) en el sector agrícola. El reto es garantizar que los flujos financieros se reutilicen para favorecer prácticas de producción sostenibles y promover la eficiencia en todo el sistema agroalimentario.

---

<sup>16</sup><https://www.decadeonrestoration.org/>





# Capítulo 3

Biodiversidad del suelo y salud de las tierras agrícolas





La diversidad biológica (o biodiversidad) se define como la variabilidad entre los organismos vivos y los complejos ecológicos de los que forman parte. Esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas (CBD, 1992). La biodiversidad agrícola incluye todos los componentes de la diversidad biológica de relevancia para la alimentación y la agricultura, y que constituyen un agro-ecosistema: la variedad y variabilidad de los animales, plantas y microorganismos, a nivel genético, de las especies y de los ecosistemas, que son necesarios para mantener las funciones clave del agro-ecosistema, su estructura y sus procesos (CBD, 2010).

La biodiversidad agrícola se puede dividir en dos categorías principales. La primera categoría agrupa las especies domesticadas que proporcionan alimentos y otros productos, junto con sus parientes silvestres (CBD, 2010). La segunda categoría incluye todos los componentes no cosechados que contribuyen y fomentan la productividad agrícola mediante los servicios ecosistémicos de suministro, apoyo y regulación, incluidos la biota del suelo, los polinizadores y los enemigos de las plagas y enfermedades (CBD, 2010). Las micro-biotas del suelo presentan una diversidad particularmente importante y realizan una serie de funciones vitales que regulan la fertilidad del suelo y el ciclo de nutrientes (discutido en detalle en la siguiente sección). Esto es particularmente cierto para las funciones ecosistémicas determinadas principalmente por la biodiversidad de los suelos: el 90-95% de la biota del suelo permanece sin identificar y menos del 1% de algunos grupos se ha descrito.

La polinización para la producción de cultivos es quizás el servicio ecosistémico más conocido (realizado por insectos, así como por algunas aves y mamíferos). Ochenta y siete de los principales cultivos alimentarios de la humanidad, que representan el 35% de la producción mundial de alimentos, dependen de una polinización animal (Klein et al., 2007). Los polinizadores más importantes para los cultivos económicamente significativos son las abejas domésticas (*Apis mellifera*), seguidas por las abejas solitarias y las moscas (Rader et al., 2016). En total,

entre 235 y de 577 mil millones de producción anual de alimentos a nivel mundial dependen de las contribuciones directas de los polinizadores (IPBES, 2018).

Los polinizadores varían ampliamente para cada cultivo, dependiendo de la ubicación geográfica, la disponibilidad de hábitat natural y el uso de pesticidas (Kremen et al., 2002). Por ejemplo, en contraste con las abejas versátiles, las abejas solitarias son específicas para ciertas especies de plantas (Hallmann et al., 2017). Por lo tanto, la pérdida de ciertas especies vegetales puede estar directamente relacionada con la disminución de las abejas en algunas partes del mundo, y constituye una preocupación importante para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la agricultura (Papanikolaou et al., 2017, IPBES, 2018). Por ejemplo, et al. (2006) encontraron disminuciones paralelas de abejas y plantas polinizadas por insectos en Gran Bretaña y los Países Bajos después de cambios en la riqueza específica (número de especies), y Weiner et al. (2014) demostraron que los efectos del uso de las tierras en los polinizadores se aceleran por su dependencia mutua con las plantas.

El control biológico de plagas y enfermedades es otro servicio ecosistémico importante para la agricultura, proporcionado por los organismos mediante depredación directa, parasitismo o los compuestos que producen (por ejemplo, unas toxinas). Estas actividades reducen la densidad de población de organismos nocivos, incluidos animales, malas hierbas y enfermedades (Bale et al., 2008). La reducción de la pérdida de hábitats y de las perturbaciones ambientales asociadas con la producción intensiva de cultivos puede conservar estos enemigos naturales y contribuir a la supresión de plagas, un enfoque conocido como control biológico de conservación (Begg et al., 2017).

El control biológico de conservación, que implica el despliegue de varios métodos para conservar y mejorar los herbívoros, parasitoides y/o depredadores nativos naturales, tiene impactos negativos mínimos en el medio ambiente y los servicios ecológicos. Por el contrario, el control biológico clásico, que implica la introducción y el establecimiento de enemigos naturales

no nativos especializados, a veces puede llevar a consecuencias ecológicas inesperadas en el ecosistema meta (Jennings et al. 2017).

Muchos de estos biopesticidas van dirigidos a especies de plagas específicas, con menos impacto en los polinizadores y la biodiversidad del suelo (Chandler et al., 2011) en comparación con los pesticidas químicos que, muchas veces, tienen efectos perjudiciales sobre los organismos no meta, dañando las comunidades del suelo y las interacciones entre especies (Thiour-Mauprivez et al., 2019). Algunos organismos pueden incluso desarrollar resistencia y, por lo tanto, requerir mayores insumos de pesticidas (Aktar et al., 2009). Por esta razón, los biopesticidas a veces se han considerado una alternativa más segura a los pesticidas químicos (Bale et al., 2008). La bacteria *Bacillus thuringiensis*, un patógeno de los insectos utilizado para combatir los lepidópteros nocivos para la agricultura (Bravo et al., 2005), que representan el 95% del mercado mundial de agentes microbianos de control de plagas, es un ejemplo excelente (Joung & Côté, 2000).

En un estudio más reciente, Siegwart (Siegwart et al., 2015) mostró que todos los biopesticidas ampliamente utilizados seleccionan finalmente individuos resistentes. Por ejemplo, al menos 27 especies de insectos se han descrito como resistentes a las toxinas de *Bacillus thuringiensis*. Del mismo modo, se ha demostrado que los biopesticidas pueden tener impactos similares a los pesticidas sintéticos en la biodiversidad del suelo, especialmente cuando se usan a dosis recomendadas para la agricultura (Romdhane et al., 2019) (Shao et al. 2017). Otros biopesticidas de uso común incluyen nematodos entomopatógenos como Steinernematidae y Heterorhabditidae, que se han utilizado eficazmente contra insectos (Lacey & Georgis, 2012), así como especies del hongo Trichoderma, que se utilizan contra hongos patógenos de plantas transmitidos por el suelo y también producen una variedad de compuestos que promueven el crecimiento de las plantas (Verma et al., 2007). Al reducir las poblaciones de plagas en la agricultura, los servicios de control biológico reducen la necesidad de pesticidas químicos (Power, 2010). Algunos estudios sugieren que los depredadores y

parasitoides de insectos representan aproximadamente el 33% del control natural de plagas (Hawkins et al., 1999), y el valor de los servicios de control de plagas atribuidos a los insectos se ha estimado en 4,5 mil millones de USD anuales, sólo en los Estados Unidos (Losey & Vaughan, 2006).

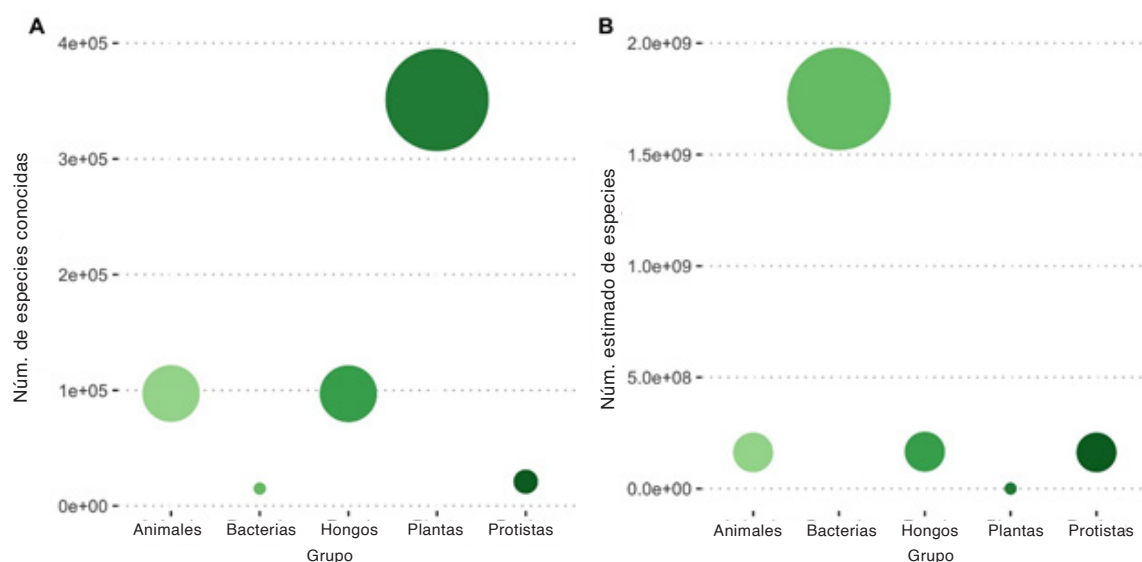
### 3.1 La rica biodiversidad del suelo

La biota del suelo incluye bacterias, hongos, algas, protistas, virus, nematodos, Acari (incluidos los ácaros), Collembola (colémbolos), anélidos (principalmente lombrices de tierra), macroartrópodos (como arañas, hormigas y cochinillas) y vertebrados (como ratones de campo, topos y musarañas). Pueden ser beneficiosos o dañinos, según el agro-ecosistema específico. La biota del suelo también incluye plantas cuyos exudados de raíz proporcionan alimentos para los organismos del suelo en una zona alrededor de las raíces conocida como “rizosfera” (Briones, 2014).

Los organismos del suelo se clasifican comúnmente en tres grupos principales según su tamaño corporal: macro-fauna (2-20 mm) como lombrices de tierra, hormigas y termitas; meiofauna (0,1-2 mm) incluyendo ácaros y colémbolos, y micro-fauna y microorganismos (menos de 0,1 mm) incluyendo nematodos, protistas, hongos y bacterias (Swift et al., 1979). La diversidad de especies en el suelo es tan inmensa que aproximadamente el 90-95% de la biota del suelo queda por identificar (Wall, 2005). Las especies identificadas y descritas hasta ahora incluyen 7.000 lombrices de tierra (23% del número total estimado de especies), 40.000 ácaros (55% del total estimado), 25.000 nematodos (2,5% del total estimado) y 21.000 protistas (0,03-0,3% del total estimado) (Tabla 1, Figura 9).

**Tabla 1** Diversidad global (riqueza específica) de los organismos del suelo, según su tamaño corporal (según Wall, Adams and Parsons, 2011 y De Deyn and Van Der Putten, 2005).

Grupo	Subgrupos	Especies descritas	Núm. estimado de especies existentes	Porcentaje de especies descritas
<b>Plantas vasculares</b>		350.700	400.000	88
<b>Macro-fauna (2–20 mm)</b>				
	Lombrices de tierra	7.000*	30.000*	23
	Hormigas	14.000	25.000 – 30.000	50-60
	Termitas	2.700	3.100	87
<b>Meiofauna (0,1–2 mm)</b>				
	Ácaros	40.000*	100.000	40
	Colémbolos	8.500	50.000	17
<b>Micro-fauna y microorganismos (&lt; 0,1 mm)</b>				
	Nematodos	20.000 – 25.000*	1–10 millones*	≤2,5
	Protistas	21.000*	7-70 millones*	≤0,03
	Hongos	97.000	1,5-5,1 millones	≤0,02
	Bacterias	15.000	>1.000.000	<1,5



Datos: Barrios (2007) y Larsen et al. (2017). Los animales incluyen lombrices de tierra, hormigas, termitas, ácaros y colémbolos. Microorganismos (bacterias, hongos). Plantas = plantas vasculares.

**Figura 9** Número de especies (riqueza específica) conocidas (izquierda) y estimadas (derecha) de los principales grupos taxonómicos

La biota del suelo interactúa y forma complejas redes alimentarias que sustentan una serie de procesos ecológicos (Barrios, 2007), como se muestra en la Figura 9. Estos procesos son esenciales para mantener un ecosistema del suelo funcional y, por lo tanto, para la salud de las tierras.



### 3.1.2 Macro-fauna

### 3.1.3 Meiofauna

Las especies de meiofauna, incluidos muchos artrópodos, descomponen la materia orgánica y depositan heces, lo que contribuye a aumentar la fertilidad del suelo (Culliney, 2013). Los ácaros son a menudo el grupo más abundante y más rico en especies (Culliney, 2013), y se encuentran en diferentes niveles tróficos de la red alimentaria del suelo: como herbívoros (alimentándose de plantas o algas del primer nivel trófico), bacterívoros y fungívoros (alimentándose de bacterias u hongos que pertenecen



al segundo nivel trófico), y depredadores (alimentándose de pequeños animales que viven en el suelo, del segundo nivel trófico y niveles superiores) (Mitchell, 2013). El número de especies conocidas de colémbolos es mucho menor que el de los ácaros, pero pueden alcanzar la misma abundancia. En comparación con los ácaros, la mayoría de las especies de colémbolos se alimentan de hongos y algas, aunque algunas se alimentan de plantas o son depredadores (Petersen & Luxton, 1982).

### 3.1.4 Micro-fauna

Las especies de micro-fauna son un grupo extremadamente abundante y diverso de organismos del suelo, los nematodos (también conocidos como gusanos redondos) y protistas (en su mayoría organismos unicelulares incluyendo ameboideos y ciliados) siendo el componente dominante de la biota del suelo (Haynes, 2014). Muchas miles de especies de micro-fauna son conocidas a nivel mundial, pero se cree que estas representan sólo una fracción del número de especies realmente presentes en el mundo. Por ejemplo, un estudio reciente estimó que aproximadamente  $4,4 \times 10^{20}$  nematodos (que representan una biomasa total de aproximadamente 0,3 Gt) habitan los suelos a nivel mundial (van den Hoogen et al., 2019). La micro-fauna vive generalmente en la interfaz suelo-agua, y se alimenta de micro-flora, raíces de plantas y otras especies de micro-fauna (incluidos hongos y bacterias). Los nematodos entomopatógenos se alimentan de organismos más grandes. Por lo tanto, los nematodos pueden regular el tamaño de la población y la actividad de los microbios del suelo, y promover la capacidad competitiva y la dispersión de microbios beneficiosos mediante un pastoreo selectivo en microorganismos dañinos del suelo (Bonkowski et al., 2009; Mitchell, 2013). Su actividad ayuda a liberar nutrientes, incluidos N y P, que estimulan el crecimiento de las raíces (Mekonen Ertiban, 2019).

Los nematodos están presentes en todos los niveles de la red alimentaria. Según su estrategia de alimentación, se pueden clasificar en cinco grupos tróficos: bacterívoros, fungívoros, depredadores, omnívoros

y herbívoros (Kennedy and de Luna, 2005). Dado su papel fundamental en el procesamiento de nutrientes orgánicos y el control de las poblaciones de microorganismos del suelo, desempeñan un papel crítico en la regulación del C y la dinámica de nutrientes, y son un buen indicador de la actividad biológica de los suelos (van den Hoogen et al., 2019). Además, los nematodos entomopatógenos pueden contribuir a la supresión de plagas de insectos (Mitchell, 2013).

Los protistas llegan fácilmente a decenas de miles de individuos por gramo de suelo (Finlay, 2002) y presentan una inmensa diversidad morfológica y funcional. Los protistas autotróficos y heterotróficos son de fundamental importancia en la red alimentaria (Geisen et al., 2018), y los protistas fotosintéticos pueden proporcionar importantes insumos de C en los suelos (Bonkowski and Clarholm, 2012). Los protistas fagotróficos heterotróficos liberan nutrientes a través de la depredación microbiana, que luego se ponen a disposición de las plantas y estimulan el crecimiento. Los protistas del suelo son los principales consumidores de bacterias, modulando así las comunidades bacterianas. Algunos también se alimentan de hongos, incluidos los patógenos de las plantas (Geisen et al., 2018).

La diversidad microbiana en los ecosistemas del suelo es incluso mayor que la de los protistas. Algunos microbios, como los hongos saprotróficos, son los principales reguladores del C del suelo y del ciclo de nutrientes (Crowther et al., 2012). Al constituir una parte importante de la biomasa microbiana del suelo (Frac et al., 2018), los hongos son los agentes primarios de la descomposición de los desechos vegetales, y sus redes hifales representan canales altamente dinámicos a través de los cuales los nutrientes se distribuyen fácilmente (Crowther et al., 2012).

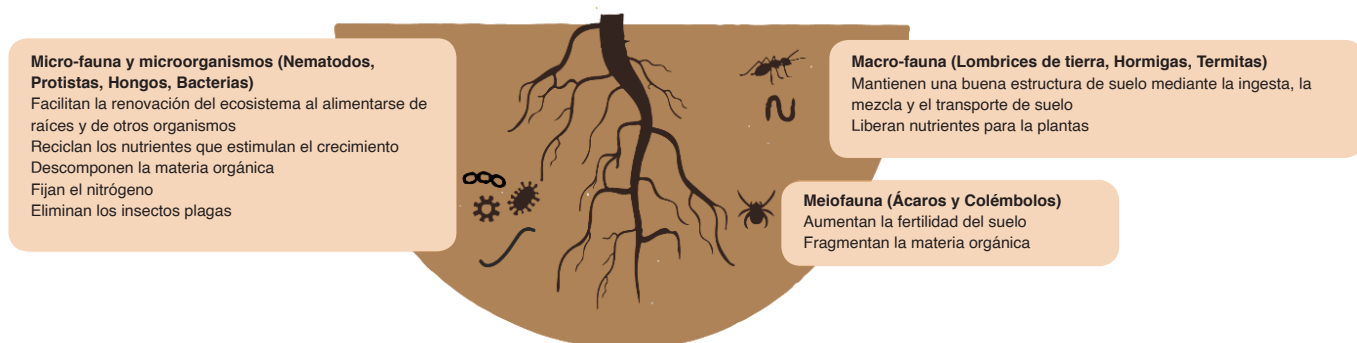
Más del 80% de las especies de plantas forman asociaciones radiculares con hongos micorrízicos, unas relaciones simbióticas que ayudan a la planta a adquirir nutrientes importantes como el P del suelo a cambio de azúcares vegetales (Peterson et al., 1984).

Además, los hongos micorrízicos mejoran la resistencia al estrés, la tolerancia y la fertilidad de las plantas, así como la estructura del suelo, ya que los micelios micorrízicos pueden transportar compuestos de C derivados de las plantas a través del sistema del suelo (Chen et al., 2018). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son, de lejos, la clase más ubicua, y forman arbusculas y, a veces, vesículas dentro de las células de las raíces de sus huéspedes (Smith & Read, 2008). Un mecanismo clave por el cual los HMA aumentan la adquisición de P por parte de las plantas es su exploración de un gran volumen de suelo mediante sus redes de hifas (Jakobsen et al., 1992). Por lo tanto, las simbiosis con HMA son más beneficiosas en suelos de baja fertilidad, porque las finas hifas fúngicas pueden eliminar de manera más eficiente los nutrientes esenciales que las raíces de las plantas (Chen et al., 2018).

Las bacterias a menudo se consideran el grupo más diverso de microorganismos del suelo, con un estimado de 103 a 107 especies bacterianas por gramo de suelo (Fierer et al., 2007). Las bacterias son impulsores clave de los ciclos biogeoquímicos, durante los cuales liberan elementos esenciales para el reciclaje (Orgiazzi et al., 2016). También descomponen la materia orgánica muerta y son los únicos microbios capaces de fijar el N de forma biológica (Orgiazzi et al., 2016). Las bacterias fijadoras de N, como *Rhizobia*, forman una relación simbiótica con cultivos de Leguminosae de importancia

agrícola, en la cual transforman el N atmosférico en amonio, que es asimilado por las plantas (Hillel, 2008). El suelo también contiene una gran abundancia y diversidad de algas (Metting, 1981), arqueas y virus (Fierer et al., 2007), con un número estimado de 107 a 109 partículas de virus por gramo de suelo (Williamson et al., 2017). Sin embargo, su papel en el funcionamiento del ecosistema permanece en gran parte inexplorado (Trubl et al., 2018). Las algas del suelo son microorganismos pioneros que colonizan rocas y superficies del suelo en diversas condiciones ambientales (clima seco o húmedo, frío o cálido). Contribuyen a la primera fijación e insumos de materia orgánica mediante la fotosíntesis y la liberación de sustancias exopolímeras en los suelos, y fomentan (con las cianobacterias) el inicio de sucesiones ecológicas al ayudar a formar costras biológicas de suelo en suelos naturales y agrícolas (Belnap & Lange, 2003). Se sabe que las Archaea producen metano (metanógenos) y oxidan el amoníaco en nitrito y luego nitrato, que es un proceso central del ciclo del N (Hallin et al., 2009). Se ha demostrado que los virus actúan como depredadores microbianos que influyen en los ciclos biogeoquímicos y controlan el tamaño de las poblaciones de patógenos de plantas y bacterias beneficiosas (Rohwer et al., 2009).

### 3.2 El suelo como sistema ecológico



**Figura 11** Visión general de los procesos ecosistémicos proporcionados por la biota del suelo, clasificada según su tamaño corporal (macro-fauna, meiofauna, micro-fauna y microorganismos)

### 3.2.1 Servicios ecosistémicos esenciales para la agricultura

#### 3.2.1.1 Ciclo de nutrientes

El ciclo de los nutrientes es una función crítica de los ecosistemas, esencial para la vida, y los microsimbiontes tienen un impacto positivo en el rendimiento de los cultivos al poner más nutrientes a disposición de las plantas (Barrios, 2007). El N, en particular, es un nutriente esencial para las plantas, y los microsimbiontes, como *Rhizobia*, proporcionan una fuente importante de fijación biológica de nitrógeno (FBN) en el ecosistema del suelo (Checcucci et al., 2017). La cantidad de N fijada por la simbiosis *Rhizobia*-leguminosa varía considerablemente en función de muchos factores, incluidas las especies de plantas y el cultivar, y las condiciones ambientales (Stewart, 1977). Si bien las estimaciones de FBN simbiótica pueden llegar a 400 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, la FBN asociativa promedia (por organismos del suelo en asociación casual con raíces de plantas) es aproximadamente 10 veces menor, y la FBN libre por heterótrofos (ni simbióticos ni asociativos) aproximadamente 100 veces menor (Barrios, 2007). Por ejemplo, la cantidad total estimada de N fijada es de 65 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los guisantes (*Pisum sativum*), de 103 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para la soja (*Glycine max*) y de 224 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para los frijoles (*Cajanus cajan*) (Stewart, 1977).

Además de esta simbiosis bien documentada para la fijación de N, muchos microorganismos del suelo son capaces de fijar N sin formar nódulos, sino viviendo en la rizosfera (fijación asociativa de N) o en los tejidos vegetales (fijación endofítica de N) (Moreau et al., 2019). Estudios recientes han demostrado grandes aumentos de rendimiento en cereales como el maíz, el arroz y el trigo como resultado del uso de bacterias *Rhizobia* fijadoras de N que promueven el crecimiento de las plantas (Souza et al., 2014). Unos cultivares de frijol brasileño (*Phaseolus vulgaris*) en suelos pobres en N, inoculados con la cepa de *Rhizobia* más efectiva, mostraron un aumento de rendimiento de 178 kg ha<sup>-1</sup>. Los ejemplos muestran que explorar la capacidad genética de los microorganismos para fijar el N puede ayudar a aumentar los rendimientos a bajo costo

(Hungria et al., 2003), al tiempo que reduce los insumos de fertilizantes (Souza et al., 2014). Los microorganismos del suelo también ponen N a disposición de las plantas a través de su papel en la descomposición de la materia orgánica del suelo. Esta actividad es fundamental para su nutrición. La planta transfiere grandes cantidades de moléculas orgánicas a sus microorganismos asociados a las raíces para estimularlos a degradar la materia orgánica del suelo, de modo que se liberará N, un fenómeno conocido como “cebado” (Kuzyakov et al., 2000, Moreau et al., 2019).

La nitrificación y la desnitrificación son los principales procesos microbianos responsables de las pérdidas de N mineral en los ecosistemas terrestres. Estudios recientes indican que existen relaciones entre crecimiento de las plantas, actividad de los microbios del ciclo del N y retención y pérdida de N, lo que indica una competencia entre plantas y microorganismos por el N, en la que la planta emplea varias estrategias para conservar N. Estas incluyen la limitación de los procesos microbianos que conducen a pérdidas de N, como la nitrificación y la desnitrificación, directamente mediante la liberación de inhibidores a partir de las raíces. Las plantas también pueden afectar negativamente a los microbios del ciclo del N indirectamente, mediante una competencia por el N, ya que una mayor absorción de N por parte de la planta disminuye la disponibilidad de N del suelo, con consecuencias sobre la abundancia y/o actividad de los microbios (Moreau et al., 2019). Por ejemplo, los inhibidores de nitrificación pueden conducir a una disminución de hasta un 90% en las tasas de oxidación del amoníaco en los pastos de *Brachiara*, y a una menor abundancia de microorganismos oxidantes del amoníaco, tanto archaeos como bacterianos (Subbarao et al., 2009). El mismo resultado se puede lograr mediante la aplicación en los campos de inhibidores de nitrificación. Sin embargo, los problemas de persistencia debidos a la hidrólisis, la sorción a los coloides del suelo o la volatilización reducen su eficacia y pocos están disponibles comercialmente (McNeill & Unkovich, 2007). Del mismo modo, otro estudio demostró que algunas plantas pueden inhibir la desnitrificación hasta en un 80% mediante la liberación de procianidinas en exudados de las raíces (Bardon et

al., 2014, 2016). Sin embargo, a diferencia de los inhibidores de nitrificación, el impacto de dichos inhibidores de desnitrificación aún no se ha cuantificado en los campos, y se requiere más investigación para determinar las diversas interacciones que tienen lugar entre las plantas y los microbios asociados, con el fin de encontrar soluciones para retener el N en los suelos y evitar los efectos negativos.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), son micro-simbiontes que ayudan a las plantas a adquirir fósforo (ver más arriba), y especialmente importantes en los sistemas de cultivos deficientes en fósforo (Barrios, 2007). Dado que la mayoría de los cultivos agrícolas son anfitriones de hongos micorrízicos, la inoculación con HMA representa un enfoque prometedor para aumentar la salud y el rendimiento de las plantas (Hijri, 2016). Las tasas de crecimiento significativamente mayores de las plantas colonizadas con HMA han hecho de la inoculación de HMA un punto de partida clave para rehabilitar las tierras degradadas y restaurar la productividad de las tierras (Requena et al., 2001).

### 3.2.1.2 Descomponedores y transformadores elementales

La descomposición de la materia orgánica en moléculas y nutrientes más simples (incluidos N, P y azufre, así como C mineralizado) es uno de los servicios ecosistémicos más importantes que realizan los organismos del suelo. La descomposición implica la fragmentación física, la mineralización bio química y la lixiviación de sustratos y nutrientes orgánicos (Barrios, 2007). El proceso de descomposición es al 90% llevado a cabo por microorganismos como bacterias y hongos, y facilitado en gran medida por la meio- y macro-fauna del suelo (especialmente las lombrices de tierra) que fragmentan residuos y dispersan propágulos microbianos, y por lo tanto tienen impactos en la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) y en el ciclo de los nutrientes (Lavelle et al., 1997). La gestión adaptativa de la biodiversidad del suelo puede tener fuertes impactos en la productividad de los cultivos (Barrios, 2007). Unos estudios han encontrado que una presencia media de lombrices de tierra en agro-

ecosistemas con bajo contenido de N conduce a un aumento del 25% del rendimiento de los cultivos y del 23% de la biomasa por encima del suelo en comparación con los agro-ecosistemas sin lombrices de tierra, gracias a la liberación de N, destacando una posible alternativa al uso de fertilizantes nitrogenados (Van Groenigen et al., 2014).

### 3.2.1.3 Modificación de la estructura del suelo

La estructura del suelo se puede definir como la disposición de partículas de arena, limo y arcilla, así como de MOS, en agregados de diferentes tamaños por agentes orgánicos e inorgánicos (Barrios, 2007). El tamaño, la cantidad y la estabilidad de los agregados del suelo reflejan un equilibrio entre los factores que crean agregados (enmiendas de la materia orgánica, microorganismos del suelo y fauna del suelo) y los que los alteran (bioturbación, cultivo). El “modelo dinámico de agregados” propone que varios procesos biológicos en el suelo conducen a la formación de “macro-agregados biológicos” y a su estabilización como parte de la estructura del suelo mediante la actividad de hongos y bacterias, raíces de plantas y macro-fauna (como las lombrices de tierra) (Six et al., 2002). Por ejemplo, los hongos micorrízicos producen glomalina, una glicoproteína crucial para la estabilidad del suelo y la retención de agua, y que contribuye a un importante depósito de C (Pal, 2014). Además, las raíces, a través de sus exudados, aumentan 2,3 veces más el COS que el proceso de compostaje de biomasa muerta por encima del suelo (Kätterer et al., 2011). En algunos suelos agrícolas particulares (tierras áridas o suelos desnudos), las algas y las cianobacterias desempeñan un papel clave en la agregación de la superficie y la estabilización de las partículas del suelo, lo que ayuda a prevenir la erosión (Renuka et al., 2018; Crouzet et al., 2019). Como se describió anteriormente, la macro-fauna del suelo también juega un papel importante en la modificación de la estructura del suelo y la porosidad relacionada, y por lo tanto influye profundamente en el agua del suelo y la dinámica de nutrientes (Brussaard, 1997). Por ejemplo, la gestión indirecta de las termitas mediante la aplicación de mantillo orgánico puede conducir a la recuperación de los suelos impermeabilizados (Mando, 1997).



#### 3.2.1.4 Control de plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades transmitidas por el suelo causan enormes pérdidas anuales en los cultivos a nivel mundial (Barrios, 2007). Una comunidad de suelo saludable tiene una red alimentaria diversa que mantiene las plagas y enfermedades bajo control mediante competencia, depredación y parasitismo (Susilo et al., 2009). Una biota del suelo saludable conduce a una mayor fertilidad y salud vegetal en comparación con los cultivos ubicados en suelos con baja biodiversidad, que resultan en una mala nutrición y una mayor susceptibilidad a los ataques de plagas y enfermedades (Altieri & Nicholls, 2003, Barrios, 2007). Por ejemplo, las infestaciones del maíz por la hierba parásita *Striga* spp. en suelos africanos deficientes en N se redujeron significativamente tras el uso de leguminosas arbóreas fijadores de N como barbechos plantados, que aumentaron la disponibilidad de N del suelo a través de la FBN y la descomposición (Barrios et al., 1998). A modo de comparación, en el norte de Camerún, cuando el maíz y el sorgo fueron inoculados con HMA y cultivados en suelos infestados de *Striga hermonthica*, la emergencia de *S. hermonthica* se redujo en un 30-50% y la biomasa aumentó en un 40%-63%, en gran parte debido a una mejor nutrición y, por lo tanto, una mejor salud vegetal (Lendzemo et al., 2005). La diversidad de las comunidades microbianas del suelo crea una barrera que controla el establecimiento de patógenos microbianos en los suelos (Van Elsas et al., 2012, Vivant et al., 2013). Existe un consenso general de que una comunidad de suelo diversa no sólo ayudará a prevenir pérdidas debidas a plagas y enfermedades transmitidas por el suelo, sino que también promoverá otras funciones biológicas clave del suelo (Wall & Virginia, 2000).

### 3.3 Diversidad y abundancia de especies y función del ecosistema del suelo

Existe un consenso general de que una disminución de la biodiversidad conduce a una disminución del funcionamiento y los servicios de los ecosistemas (Isbell et al., 2011), y viceversa (Hooper et al., 2005; Balvanera et al., 2006; Isbell et al., 2011; Gamfeldt et al., 2013). En consecuencia, la productividad de los ecosistemas agrícolas depende de la estabilidad de los servicios ecosistémicos proporcionados por el suelo. Ejemplos de servicios ecosistémicos que afectan la productividad agrícola incluyen la polinización, el control biológico de plagas y enfermedades, el mantenimiento de la estructura y la fertilidad del suelo, el ciclo de nutrientes y los servicios hidrológicos (Power, 2010). Las malas opciones de producción y gestión reducen la productividad agrícola, a consecuencia de la degradación de las tierras, la escasez y la reducción de la calidad del agua, el aumento del riesgo de plagas y enfermedades y la pérdida de polinizadores naturales (Regmi et al., 2016). El valor actual neto de tomar medidas contra el agotamiento de nutrientes a consecuencia de la erosión del suelo en tierras cultivables utilizadas para la producción de cereales durante 15 años, de 2016 a 2030, se ha estimado en 2,48 billones de USD, o 62,4 mil millones de dólares por año (ELD Initiative, 2015).

La riqueza y abundancia de especies determinan en gran medida la función del ecosistema y, por lo tanto, a menudo se utilizan como indicadores de biodiversidad para evaluar la condición de un ecosistema (Regmi et al., 2016). Es ampliamente aceptado que la biodiversidad de las plantas afecta a los procesos ecosistémicos (Tilman et al., 1997) e influye en las respuestas de los ecosistemas a las perturbaciones (Reich et al., 2001). Por ejemplo, los estudios han demostrado que la biodiversidad vegetal aumenta los servicios ecosistémicos (Hautier et al., 2015), ya que la biodiversidad vegetal afecta positivamente el contenido de nutrientes del suelo y, por lo tanto, la calidad del suelo (Hajjar et al., 2008, Mulumba et al., 2012; Ponisio et al., 2015).



Seleccionar la combinación adecuada de cultivos, en lugar de utilizar uno o algunos cultivos dominantes, puede, por ejemplo, aumentar drásticamente la eficiencia de los cultivos en materia de uso del agua (Brauman et al., 2013; West et al., 2014). También se ha demostrado que el aumento de la diversidad de cultivos mejora la salud de los polinizadores (Isaacs & Kirk, 2010; Garibaldi et al., 2014), mientras que la falta de diversidad de cultivos causa una disminución de los polinizadores, lo que representa una amenaza para la seguridad alimentaria (Aizen et al., 2019).

Los estudios de multifuncionalidad biodiversidad-ecosistema han encontrado que se necesitan más especies para proporcionar múltiples funciones, porque diferentes especies promueven diferentes funciones (Zavaleta et al., 2010; Eisenhauer et al., 2018). Además, un estudio realizado por Isbell et al. (2011) encontró que se necesitan más especies para proporcionar un funcionamiento del ecosistema a escalas espacio-temporales más grandes, porque diferentes especies promueven la productividad en diferentes momentos o lugares. Por lo tanto, aunque algunas especies puedan parecer funcionalmente redundantes cuando una función se considera bajo un conjunto de condiciones ambientales (Cardinale et al., 2011), muchas especies son necesarias para mantener múltiples funciones en múltiples momentos y lugares (Isbell et al., 2011). Esto significa que una mayor diversidad de especies conduce a una mayor redundancia y, por lo tanto, una mayor resiliencia del suelo.

Del mismo modo, se ha demostrado que la diversidad microbiana mejora el funcionamiento de los ecosistemas (Downing & Leibold 2002, Horner-Devine et al. 2003, Bell et al. 2005, Peter et al. 2011, Wagg et al. 2019), y viceversa. A menos que exista una redundancia funcional sustancial en las comunidades microbianas (Allison & Martiny, 2009), una pérdida de diversidad microbiana probablemente alteraría la capacidad de los microbios para apoyar las funciones del ecosistema (Delgado-Baquerizo et al., 2016). Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que una fuerte disminución de la diversidad microbiana

afecta la descomposición de las fuentes de C, confirmando que la diversidad microbiana puede ser de gran importancia para la descomposición de la materia orgánica (Maron et al., 2018). Por el contrario, trabajos anteriores han demostrado que una alteración moderada de la diversidad microbiana del suelo no alteraba el ciclo del N del suelo (Wertz et al., 2007). Por lo tanto, es importante comprender y predecir las consecuencias funcionales de unos cambios en la diversidad microbiana en los servicios ecosistémicos del suelo, con el fin de desarrollar indicadores de la función ecosistémica.

Los rasgos funcionales de la macro-fauna y las redes tróficas del suelo también están influenciados por el tipo y la intensidad de uso del suelo (Birkhofer et al., 2017). Algunas poblaciones microbianas pueden facilitar la degradación de pesticidas en el suelo y actuar como amortiguadores para los ecosistemas del suelo (Aislabie & Lloyd-Jones, 1995).

### 3.4 Tendencias en las comunidades del suelo lo basadas en prácticas agrícolas

Diferentes prácticas agrícolas afectan a los hábitats agrícolas de maneras diferentes, y el impacto en las comunidades del suelo y los servicios ecosistémicos que proporcionan puede ser positivo o negativo dependiendo de la biota del suelo afectada (Tabla 2). La comparación de categorías generales de prácticas agrícolas es una forma de evaluar los efectos de la intensidad de la gestión agrícola en la biodiversidad (Rundlöf, Smith and Birkhofer, 2016). Si bien no existe un consenso suficiente sobre la terminología utilizada para describir las diferentes prácticas agrícolas (véase el Capítulo 5), es posible analizar los impactos de las prácticas agrícolas en las comunidades del suelo distinguiendo entre agricultura convencional, orgánica y de conservación.

Los sistemas agrícolas convencionales varían de un país a otro y de una explotación a otra. Pueden variar de intensivo a extensivo, no tener labranza o una

labranza mínima, utilizar un sólo cultivo (monocultivos) o cultivos mixtos (policultivos), y tener insumos bajos o altos de pesticidas y fertilizantes (CBD, 2010; Gold, 2016). Generalmente, la agricultura convencional proporciona altos rendimientos debido al uso de pesticidas y fertilizantes (Seufert et al., 2012), pero generalmente a costa de una menor biodiversidad y de servicios ecosistémicos deteriorados (Erisman et al., 2016).

Se ha demostrado que un aumento de las aportaciones de fertilizantes nitrogenados cambia las comunidades bacterianas y fúngicas y altera la biomasa microbiana al modificar la proporción C:N en los suelos (Martínez-García et al., 2018) y al afectar los ciclos de nutrientes. La composición de la comunidad de nematodos se ve afectada de manera similar (Kardol et al., 2005). Debido a su sensibilidad, los nematodos y las lombrices de tierra se usan comúnmente como indicadores de la calidad del suelo (Neher, 2001). Mientras tanto, ciertos pesticidas pueden reducir la eficiencia de la rizobia simbiótica, lo que resulta en menos nódulos radiculares, menores tasas de fijación de N y una reducción del rendimiento de la planta (Fox et al., 2007). Se ha demostrado ampliamente que los pesticidas tienen una serie de efectos negativos sobre la micro-biota del suelo, incluidos su crecimiento, diversidad, composición, procesos y funciones bioquímicas (Aktar et al., 2009; Chagnon et al., 2015), así como sobre la macro-biota del suelo, incluido el crecimiento y la supervivencia de muchas especies de anfibios (Baker et al., 2013).

La agricultura ecológica y la agricultura de conservación son alternativas a la agricultura convencional que a menudo se promueven como más respetuosas con el medio ambiente (Mäder et al., 2002; Tuck et al., 2014). La agricultura orgánica minimiza el uso de agroquímicos y se basa en técnicas naturales como la rotación de cultivos, una labranza reducida o nula, el control biológico de plagas y la aplicación de estiércol, abono verde o compost (Reganold & Wachter, 2016). La agricultura de conservación representa un conjunto de tres principios de gestión de cultivos: (A) siembra directa de cultivos con una perturbación mínima del suelo (es decir, labranza reducida o nula), (B) cobertura

permanente del suelo por residuos de cosecha o cultivos de cobertura, y (C) rotación de cultivos (Pittelkow et al., 2015). Los estudios indican que la agricultura orgánica y de conservación tienen un efecto principalmente positivo en la calidad del suelo y en una variedad de biotas del suelo (Köhl et al., 2014; Briones & Schmidt, 2017).

La labranza afecta la biota del suelo mediante cambios en la estructura del suelo, pérdida de materia orgánica y humedad, dinámica de temperatura alterada y daño mecánico, por lo que diferentes sistemas de labranza tendrán impactos diferentes (Busari et al., 2015). Generalmente, la abundancia de micro-artrópodos (ácaros y colémbolos) disminuye con el aumento de la labranza, siendo los colémbolos más sensibles que los ácaros (Cortet et al., 2002). Se ha demostrado que la abundancia, la biomasa y la diversidad de especies de lombrices de tierra disminuyen significativamente con una mayor intensidad de labranza (Plaas et al., 2019). Por ejemplo, el número de individuos puede variar de 30 por m<sup>2</sup> en campos arados a 400 sin labranza (Plaas et al., 2019).

Cómo la labranza afecta a los hongos del suelo es menos claro. Frac et al., (2018) demostraron que la labranza afecta negativamente a los HMA al descomponer los agregados del suelo conectados por las hifas fúngicas, lo que provoca un deterioro de la estructura del suelo y la absorción de nutrientes, y efectos supresores contra los microorganismos patógenos. Sin embargo, un meta-análisis reciente encontró que los HMA, la diversidad fúngica y la diversidad funcional no se vieron afectados negativamente por la labranza (de Graaff et al., 2019). Se sugiere que una serie de impactos son posibles de acuerdo con las especies de hongos involucradas (Douds et al., 1995; Brito et al., 2012), las propiedades del suelo y la intensidad de la labranza (Roger-Estrade et al., 2010; Snapp et al., 2010). La labranza puede diferir ampliamente en su impacto sobre los hongos, con efectos tanto positivos (Peyret-Guzzon et al., 2016) como negativos (Schnoor et al., 2011), dependiendo de las prácticas utilizadas, que pueden variar desde una labranza de inversión convencional hasta una labranza de no inversión, que deja la mayor parte del suelo y los

residuos inalterados (Morris et al., 2010). Por ejemplo, un reciente meta-análisis mundial sobre el efecto de la labranza de conservación (que implica una labranza nula o reducida con cubierta de residuos >30%) sobre la biomasa fúngica y bacteriana del suelo, mostró que la labranza de conservación aumentó considerablemente la biomasa microbiana del suelo en general (37%), incluyendo tanto la biomasa fúngica (31%) como la biomasa bacteriana (11%), especialmente en los 20 primeros cm del suelo, en sistemas sin labranza (Oldfield, Bradford and Wood, 2019). Otro meta-análisis (Briones and Schmidt, 2017) mostró que la agricultura sin labranza y de conservación aumentan significativamente la abundancia de lombrices de tierra (aumento promedio de 137% y 127%, respectivamente) y de biomasa (196% y 101%, respectivamente) en comparación con una inversión del suelo por arado convencional.

Las diferentes biotas del suelo se ven afectadas de manera diferente por las perturbaciones del suelo. Los sistemas con labranza tienden a albergar más bacterias que hongos, ya que los primeros son más resistentes al arado, así como más protistas, mientras que el número de nematodos tiende a aumentar o disminuir de acuerdo con las prácticas de labranza (Sun et al., 2018). Los sistemas sin labranza tienden a tener un mayor número de hongos en relación con las bacterias, así como lombrices de tierra y colémbolos. Los sistemas sin labranza se caracterizan por una alta concentración de materia orgánica en las capas superiores del suelo, debido a la descomposición de los desechos vegetales, y los hongos, así como los colémbolos que se alimentan de ellos, son más numerosos en estos sistemas. Por lo tanto, las poblaciones de estas especies pueden modularse modificando el régimen de labranza (Menta, 2012).

**Tabla 2** Hábitats agrícolas (suelo tratado químicamente, sistemas con y sin labranza) según las prácticas agrícolas (agricultura orgánica, de conservación y convencional) y sus efectos sobre la biota del suelo y los servicios ecosistémicos resultantes

Hábitat agrícola	Sistema de producción principal	Efecto sobre la biota del suelo
Suelos tratados químicamente	Aplicación de pesticidas, fertilizantes orgánicos y minerales	Fuertes impactos en la biodiversidad del suelo, altera las comunidades bacterianas y fúngicas, puede inhibir/matar ciertos hongos, puede afectar el crecimiento y la supervivencia de los anfibios y a las composiciones de la comunidad de nematodos → procesos cíclicos (C, N, nutrientes)
Suelos labrados	Agricultura ecológica, agricultura de conservación, agricultura convencional - rotaciones de cultivos, control biológico de plagas, aplicaciones de estiércol/compost	La labranza puede tener efectos positivos y negativos sobre la biomasa de los microorganismos del suelo, especialmente las lombrices de tierra, los nematodos y los hongos, incluidos los HMA. Si la biomasa de nematodos y lombrices de tierra disminuye, menos micro-artrópodos → disminuye la estructura y la estabilidad del suelo, la absorción de nutrientes (P), el control biológico de patógenos
Suelos sin labranza/ con labrado reducido	Agricultura ecológica, agricultura de conservación, agricultura convencional - rotaciones de cultivos, control biológico de plagas, aplicaciones de estiércol/compost	Aumento de la biomasa microbiana del suelo, tanto hongos como bacterias (hongos generalmente más numerosos), así como lombrices de tierra, colémbolos → aumento de la estructura y estabilidad del suelo, absorción de nutrientes (P), mayor MOS, control biológico de patógenos

### 3.5 Disponibilidad de información sobre el estado actual de la biodiversidad del suelo

Como muestra este informe, el suelo es un sistema ecológico rico en biodiversidad que proporciona servicios ecosistémicos esenciales para la producción agrícola. Una mejor comprensión de la biodiversidad del suelo y cómo sustenta los servicios ecosistémicos es importante para informar la toma de decisiones sobre cómo lograr el desarrollo sostenible en la agricultura y áreas conexas, al mismo tiempo que se conserva la biodiversidad.

La investigación sobre la biodiversidad del suelo se ha centrado en gran medida en las funciones de grupos específicos de organismos, incluidos los microbios del suelo, los hongos micorrízicos y la fauna del suelo (Wagg et al., 2014). Se ha recopilado información detallada sobre la biodiversidad del suelo, por ejemplo, en el Atlas Mundial de la Diversidad Biológica del Suelo (Orgiazzi et al., 2016). Sin embargo, el conocimiento de qué biodiversidad está realmente presente en los suelos en lugares particulares, y cómo las especies del suelo influyen en el funcionamiento del ecosistema, sigue siendo escaso.

Las evaluaciones mundiales de las principales amenazas y el estado de la biodiversidad del suelo son importantes para cerrar las brechas de conocimiento existentes. Junto con nuevos avances en la evaluación de la biodiversidad (por ejemplo, nuevos enfoques y herramientas moleculares), es esencial vincular las evaluaciones de biodiversidad con funciones específicas del suelo en contextos ambientales particulares (Ramirez et al., 2015). Por ejemplo, mientras que algunas funciones del suelo (como la descomposición) son impulsadas por una variedad diversa de organismos, otras funciones implican un conjunto más específico, lo que hace que esas funciones sean más vulnerables a la pérdida de biodiversidad (Jurburg & Salles, 2015). Además, una mejor comprensión de las funciones clave de los organismos del suelo en la mediación de los servicios ecosistémicos del suelo, tal como se ven afectados por

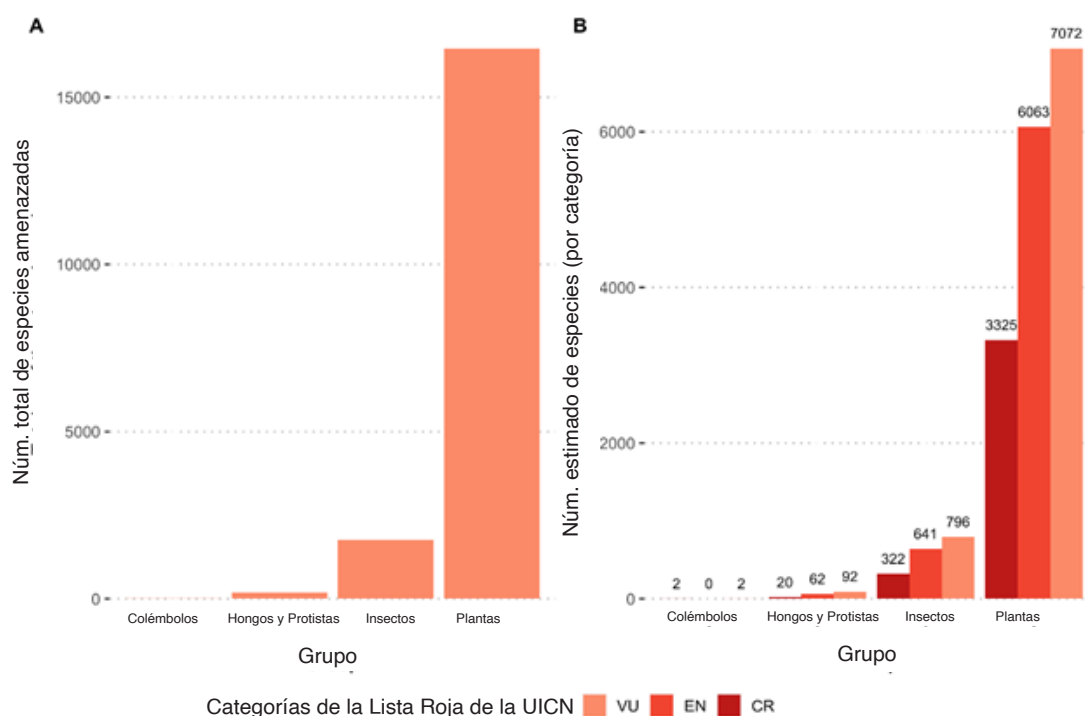
los enfoques y prácticas de gestión de los ecosistemas adaptados a contextos socio-ecológicos, es fundamental para guiar una intensificación agrícola favorable a la diversidad biológica.

#### 3.5.1 Datos de la Lista Roja sobre la biodiversidad del suelo

Las enormes lagunas en la documentación de la biodiversidad del suelo, especialmente de los microorganismos, hace que sea imposible evaluar el estado de conservación de muchas biotas del suelo. Los datos actuales sobre la biodiversidad del suelo se refieren en gran parte a plantas e insectos. El Informe de Evaluación Mundial sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES, 2019) establece que alrededor de medio millón de especies terrestres están “condenadas a la extinción” a menos que sus hábitats mejoren. Sin embargo, esta estimación podría ser conservadora, ya que la diversidad indocumentada de artrópodos, parásitos y micro-fauna del suelo podría suponer entre 2 y 25 veces más especies animales que las que se asume normalmente, sin incluir a los hongos (Scheffers et al., 2012).

En general, existe una escasez de conocimientos detallados sobre el estado de conservación y las tendencias poblacionales de especies de insectos, hongos y microbios, y las poblaciones tropicales están extremadamente infra-representadas en los datos sobre tendencias (IPBES, 2019). La Figura 11 ilustra claramente que los hongos, los protistas y los colémbolos no se incluyen en la Lista Roja, básicamente, por falta de datos. Otra cuestión es que la Lista Roja de la UICN no está diseñada para evaluar el riesgo de extinción de los microorganismos. La Lista Roja de la UICN se basa en un conjunto de criterios cuantitativos (tales como el tamaño de la población o del área de repartición geográfica, la duración de las generaciones o la naturaleza de las amenazas a las que se enfrenta la especie), que no son criterios apropiados para evaluar el riesgo de extinción de los microorganismos. Por esta razón, sería necesario desarrollar una metodología diferente.





Categorías de la Lista Roja de la UICN: CR - En Peligro Crítico, EN - En Peligro de Extinción, VU - Vulnerable<sup>17</sup>

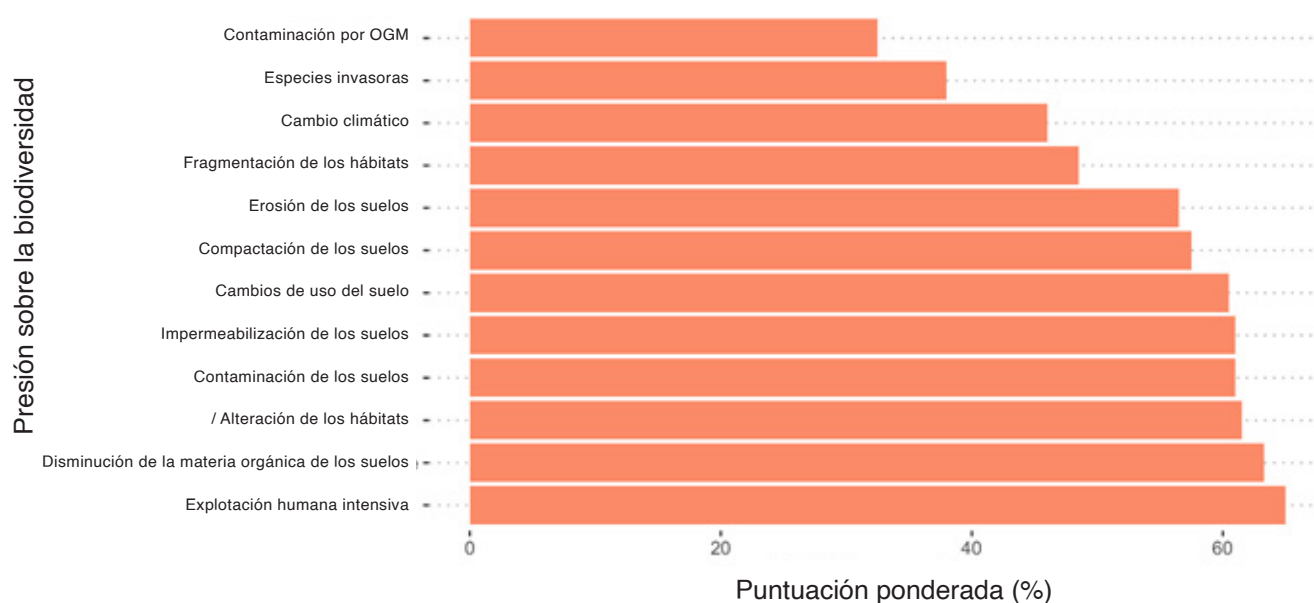
**Figura 12** Datos de la Lista Roja sobre la biodiversidad del suelo, incluidos plantas, hongos y protistas, insectos y colémbolos (a partir de 2020).

### 3.6 Amenazas a los ecosistemas del suelo

La degradación de las tierras tiene múltiples factores antropogénicos, incluido el cambio climático y las prácticas agrícolas que degradan los suelos mediante, por ejemplo, labranza, contaminación, compactación, erosión y eliminación de materia

orgánica (Gomiero, 2016). La degradación de las tierras puede tener impactos directos o indirectos en numerosas funciones ecosistémicas importantes de la biota del suelo, al reducir su abundancia y diversidad (Wagg et al., 2014). La Figura 12 ilustra las presiones más importantes que la degradación de las tierras ejerce sobre la biodiversidad del suelo.

<sup>17</sup>Según el sitio web de estadísticas de la UICN: <https://www.iucnredlist.org/resources/summary-statistics>



Datos: Gardi, Jeffery and Saltelli (2013)

**Figura 13** Ponderaciones de amenazas resumidas (expresadas en porcentaje de la puntuación máxima posible) de las presiones sobre la biodiversidad del suelo, según el Grupo de Trabajo sobre Biodiversidad del Suelo de la Comisión Europea

La compactación del suelo degrada su estructura al aumentar su densidad aparente o al disminuir su porosidad, llevando al estancamiento de los rendimientos de los cultivos, a un aumento de la escorrentía y la erosión de agua y nutrientes, y a una reducción de la biodiversidad (Smith et al., 2016; Keller et al., 2019). Por ejemplo, un estudio que analizó los efectos de la densidad aparente del suelo y la resistencia a la penetración del suelo en las tasas de descomposición de los desechos vegetales, encontró que la compactación del suelo afecta los principales procesos del suelo, como la descomposición (Carlesso et al., 2019).

La erosión física ocurre típicamente cuando el suelo se deja expuesto a la lluvia o a la energía eólica. La erosión del suelo conduce a una reducción de la productividad o, en casos extremos, al abandono de las tierras (Gomiero, 2016). Los estudios muestran claramente que la erosión del suelo afecta negativamente a su biodiversidad. Sin embargo, la relación entre erosión del suelo y biodiversidad es compleja (Orgiazzi & Panagos, 2018). La actividad

excavadora de las lombrices de tierra o unas densas redes de hongos micorrízicos puede reducir la cantidad de suelo erosionado por la lluvia o las tormentas de viento, al mantener los agregados del suelo más compactados (Shuster et al., 2002, Burri, Gromke & Graf, 2013). Sin embargo, la producción de montículos de deposiciones por parte de algunas especies de lombrices de tierra también puede acelerar los procesos de erosión, ya que el material digerido es más fácilmente destruido por el agua (Shipitalo & Protz, 1987).

La intensificación del uso de la tierra es otro de los principales impulsores de la degradación de las tierras. Un estudio encontró que la intensificación reducía la biodiversidad del suelo y simplificaba la composición de las comunidades del suelo, deteriorando las funciones ecosistémicas, incluidas la descomposición, la retención de nutrientes y el ciclo de nutrientes. Algunos grupos de organismos del suelo, como los nematodos y los hongos micorrízicos, fueron completamente eliminados, mientras que las comunidades fúngicas y bacterianas mostraron una abundancia y riqueza específicas

reducidas (Wagg et al., 2014). Otro estudio mostró que la intensificación agrícola mediante el uso extensivo de pesticidas redujo la diversidad específica de la biota del suelo, especialmente de organismos más grandes, incluyendo lombrices de tierra, colémbolos y ácaros (Tsiafouli et al., 2015). Como resultado, las redes alimentarias del suelo se volvieron menos diversas y compuestas de organismos de tamaño más pequeño (Tsiafouli et al., 2015). Tales cambios afectan negativamente a múltiples servicios ecosistémicos proporcionados por la macro-fauna del suelo, como la regulación de la erosión del suelo, el secuestro de C y el flujo y almacenamiento de agua (Wagg et al., 2014). Los mismos cambios afectan la resistencia y la resiliencia de los suelos a eventos climáticos extremos, como las sequías, lo que lleva a una importante pérdida de C y N por drenaje y hacia las aguas subterráneas durante eventos de lluvias posteriores (De Vries et al., 2011).

### 3.7 Conclusión del capítulo 3

La mayor variedad y abundancia de especies en la agricultura se encuentra en el suelo, pero la biodiversidad del suelo sigue siendo poco comprendida y monitoreada. Si bien el conocimiento de la importancia de los polinizadores y el papel de la diversidad genética en las razas de cultivos y ganado está razonablemente desarrollado, la comprensión de la biota del suelo y de su contribución a la función del ecosistema es limitada: hasta el 90-95% de la biota del suelo permanece sin identificar y menos del 1% de algunos grupos se ha descrito.

El suelo es un sistema ecológico en el que una amplia gama de especies forman redes tróficas complejas y proporcionan numerosos servicios, incluyendo el ciclo de nutrientes, la descomposición, la modificación de la estructura del suelo y el control de plagas y enfermedades. Parece existir una estrecha correlación entre diversidad y abundancia de especies y función del ecosistema del suelo, pero esta relación, así como las interdependencias y la competencia entre las especies del suelo, es poco conocida. Como resultado, la gestión de las funciones del suelo puede aparecer como un arte en lugar de una ciencia; un arte que hasta la fecha se

basa en gran medida en el conocimiento experto y la experiencia de los agricultores. Mejorar la comprensión científica de las funciones de las diferentes especies del suelo y cómo pueden manipularse para mejorar los servicios ecosistémicos, podría contribuir de manera importante a la promoción de una agricultura sostenible.

Los sistemas agrícolas son ecosistemas modificados que dependen estrechamente de la biodiversidad para funcionar eficazmente. Como mostrará el Capítulo 5, muchas prácticas agrícolas progresistas basan su éxito en la conservación de la biodiversidad del suelo con el fin de mejorar el flujo de servicios ecosistémicos, incluidas la formación y fertilidad del suelo, la retención de humedad y el control de plagas. Estos enfoques agrícolas también proporcionan servicios ecosistémicos a los beneficiarios fuera de las explotaciones agrícolas, por ejemplo, protegiendo las cuencas hidrográficas para reducir los riesgos de inundaciones o contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Tanto los gobiernos como los beneficiarios, muchas veces, dan por sentado estas externalidades positivas y, como resultado, la conservación de la biodiversidad del suelo no está incentivada ni salvaguardada de manera efectiva.

Actualmente, peligros como la contaminación con nutrientes y la pérdida de biodiversidad dominan el discurso sobre agricultura y medio ambiente, y se pasa por alto el valor de la biodiversidad para la agricultura. Una comprensión más profunda de la biodiversidad en la agricultura, y su contribución tanto a la producción de alimentos como a otros beneficios sociales, ayudará a identificar incentivos y otras medidas para restaurar los agro-ecosistemas.





# Capítulo 4

Modelización de los resultados de una mejora mundial en la salud de las tierras





La gestión sostenible de los suelos agrícolas y los paisajes agrícolas puede restaurar y proteger la biodiversidad al tiempo que mejora el funcionamiento general de los ecosistemas agrícolas, como se explica en el Capítulo 3. Las prácticas agrícolas sostenibles proporcionan una serie de beneficios directos para el agricultor, por ejemplo, una mayor productividad, una reducción de los costos de insumos y de los riesgos, así como beneficios indirectos y disfrutados por individuos fuera de la explotación agrícola. Estas “externalidades positivas” son un aspecto vital de la agricultura sostenible, y probablemente son la clave para incentivar la adopción a gran escala de prácticas sostenibles. Este capítulo muestra cómo se pueden monetizar estos beneficios para ayudar a fortalecer los argumentos a favor de una agricultura sostenible.

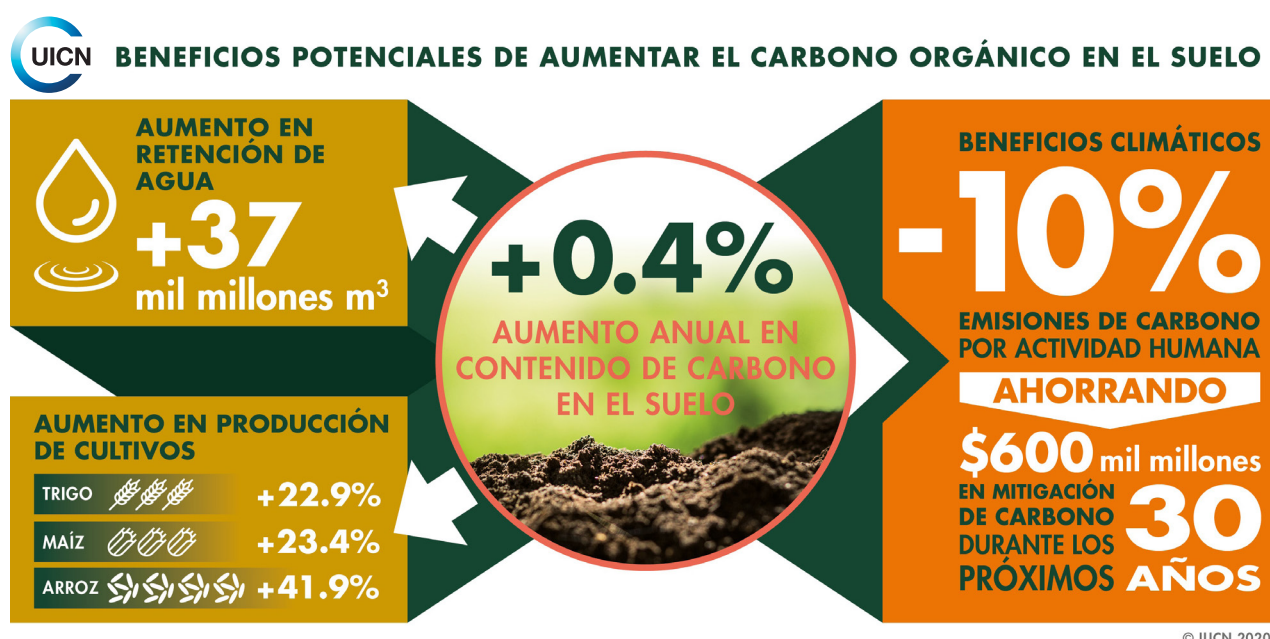
“Cuatro por mil”, una iniciativa internacional lanzada por el gobierno francés en 2015<sup>18</sup>, pretende ser un impulso para restaurar los ecosistemas agrícolas con el fin de mejorar la seguridad alimentaria y combatir el cambio climático. Conocida por la abreviación “4‰”, la iniciativa tiene como objetivo aumentar el COS en los 30-40 cm superiores de suelo en un 0,4% anual, mediante la implementación de prácticas agronómicas económicamente viables y ambientalmente racionales. El COS es uno de los indicadores de sostenibilidad más comúnmente utilizados en las tierras agrícolas. Se puede suponer que un cambio relativo en la concentración del COS se correlaciona con cambios en la biodiversidad del suelo y la generación de servicios ecosistémicos de apoyo (Brady et al., 2015). La siguiente sección estima el valor de alcanzar los objetivos de 4‰ en tres ámbitos: el cambio climático, la producción de alimentos y la reservas de agua verde

**RECUADRO 1 RESUMEN DE LOS BENEFICIOS MUNDIALES DE AUMENTAR LA CONCENTRACIÓN DE COS EN TIERRAS AGRÍCOLAS EN UN 0,4% ANUAL**

Lograr los objetivos de 4‰ podría:

- Capturar aproximadamente 1 Gt C por año durante los próximos 30 años, equivalente al 10% de las emisiones antropogénicas mundiales;
- Evitar costos sociales de 600 mil millones de USD por año mediante la mitigación del cambio climático en el período 2020-2050;
- Aumentar la producción de maíz, trigo y arroz entre 2020 y 2050 en un 23,4%, 22,9% y 41,9% respectivamente (por valor combinado de 135,2 mil millones de USD por año);
- Ayudar a alcanzar el objetivo de acabar con el hambre para 2030, con regiones como África disfrutando de las mayores mejoras de productividad;
- Almacenar 37 mil millones de m<sup>3</sup> adicionales de agua en los suelos, reduciendo así la demanda mundial de riego en un 4% y ahorrando un estimado de 44 mil millones de USD por año; y
- Aumentar la resiliencia de las comunidades agrícolas frente al cambio climático, reducir la dependencia de los fertilizantes inorgánicos y la contaminación resultante, y compensar la demanda de nuevas conversiones de tierras.

<sup>18</sup> [www.4per1000.org](http://www.4per1000.org)



**Figura 14** Hacia el cuatro por mil: diversos beneficios del aumento del carbono del suelo en los suelos

## 4.1 Beneficios de alcanzar los objetivos de DE 4‰

Si se implementa a nivel mundial (incluso en áreas no agrícolas como las turberas y los bosques), alcanzar el objetivo de 4‰ podría permitir eliminar 6 Gt C por año de la atmósfera, compensando dos tercios de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> antropogénico (Chabbi et al., 2017). Aumentar las reservas de COS para contrarrestar el cambio climático tiene una serie de beneficios, como mejorar la biodiversidad y la productividad de los suelos, aumentar los rendimientos, reducir la erosión, aumentar la retención de agua, reducir los requisitos de fertilizantes y mejorar la resiliencia de los cultivos a la variabilidad climática (Laban et al., 2018).

Todos los beneficios biofísicos antes mencionados tienen impactos tangibles en el bienestar humano. Además, estos beneficios se pueden monetizar en

términos, por ejemplo, de evitar daños causados por las emisiones de CO<sub>2</sub> o mejorar los rendimientos de los cultivos. Esta sección resume el trabajo de Westerberg y Costa encargado para este informe (inédito)<sup>19</sup> para estimar los beneficios de una mejora del secuestro de C y la productividad agrícola en el período de 2020 a 2050, mediante una estrategia de 4‰ en tierras de cultivo y pastizales cultivados (véase el recuadro 1)<sup>20</sup>. Los resultados se basan en un modelo simplificado que proporciona una base para evaluar algunos beneficios del secuestro de C en los suelos. El modelo no tiene en cuenta los impactos en la biodiversidad por dos razones: en primer lugar, porque aumentar el COS no siempre significa una mayor biodiversidad, y sería necesario evaluar mejor los posibles compromisos; y en segundo lugar, porque el modelo no tiene explícitamente en cuenta la re-diversificación de los paisajes agrícolas y un aumento del uso de las rotaciones de cultivos, ambos fundamentales para restaurar el COS.

<sup>19</sup> El análisis se basa en datos disponibles públicamente. Los conjuntos de datos espaciales incluyeron 1) estimaciones del COS, 2) densidad aparente del suelo, 3) ubicación de las tierras cultivadas y pastizales, y 4) rendimientos de los principales productos agrícolas. Los datos sobre procesos agronómicos incluyen un meta-análisis de la respuesta de rendimiento del maíz (Oldfield, Bradford and Wood, 2019) y de la tasa de absorción de C en los suelos en el tiempo (Minasny et al., 2017). Los datos económicos incluyen los precios de los principales productos agrícolas en 2018, así como las estimaciones de los costos sociales asociados al C bajo diferentes escenarios de reducción.

<sup>20</sup> El valor de los aumentos de productividad agrícola se estima sólo con respecto a las tierras de cultivo, mientras que los beneficios de una mayor captura de C se aplican tanto a las praderas como a las tierras de cultivo

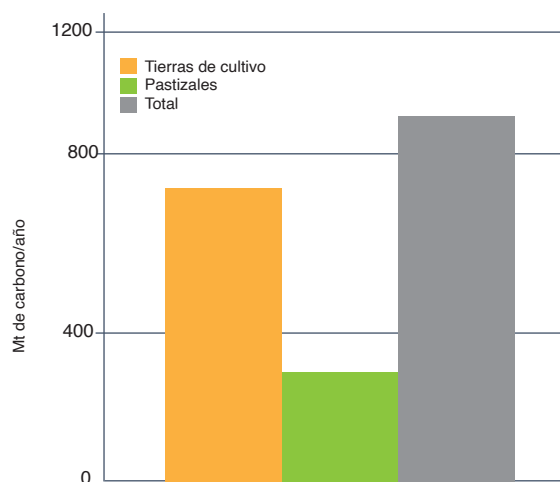
### 4.1.1 Carbono y clima: potencial de secuestro y mitigación climática

El CO<sub>2</sub> es un gas de efecto invernadero clave y su mayor emisión contribuye considerablemente al calentamiento global y al cambio climático. El ciclo mundial del C incluye una importante reserva de C en los suelos, incluidos los suelos agrícolas. La degradación mundial de las tierras y de los suelos está fuertemente vinculada al agotamiento de esta reserva.

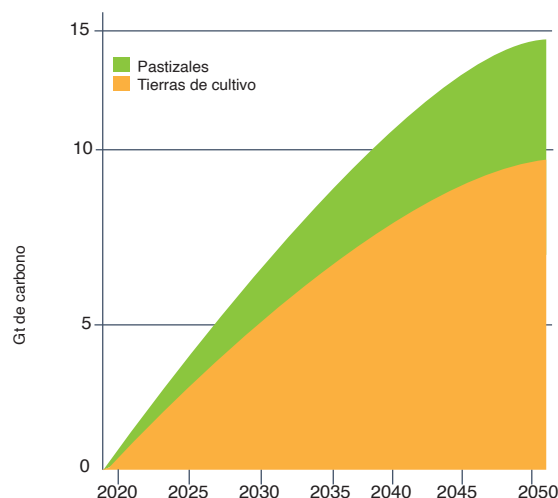
La modelización de la implementación de la estrategia 4% de 2020 a 2050 muestra que, a nivel mundial, los suelos agrícolas secuestrarían hasta 1 Gt C por año en el primer metro de suelo. La absorción de C se haría

inicialmente a un ritmo más alto, ya que muchos suelos se están actualmente agotando, y la tasa de absorción disminuiría con el tiempo. El potencial de almacenamiento de C en los suelos puede verse influenciado por un aumento de las temperaturas y de los eventos extremos, que no se han tenido en cuenta aquí. El COS se acumula principalmente en la capa superior del suelo, donde también es más fácilmente influenciado por las prácticas de gestión. Para estos 30-40 cm superiores de suelo, el modelo calcula un potencial de secuestro de aproximadamente 0,7 Gt C por año, es decir aproximadamente el 1,6% de las emisiones globales de C en 2018 (37 Gt)<sup>21</sup>. El potencial de secuestro de C en tierras de cultivo es aproximadamente dos veces mayor que en pastizales gestionados, a pesar de que la superficie global sea dos veces menor (Figura 15).

Potencial anual de absorción de carbono en la capa superior del suelo y en el subsuelo combinados



Absorción acumulativa de carbono en la capa superior del suelo con una estrategia 4%



**Figura 15** Absorción de carbono anual y acumulativa potencial en tierras cultivadas y pastizales a nivel mundial en el marco de la iniciativa 4%.

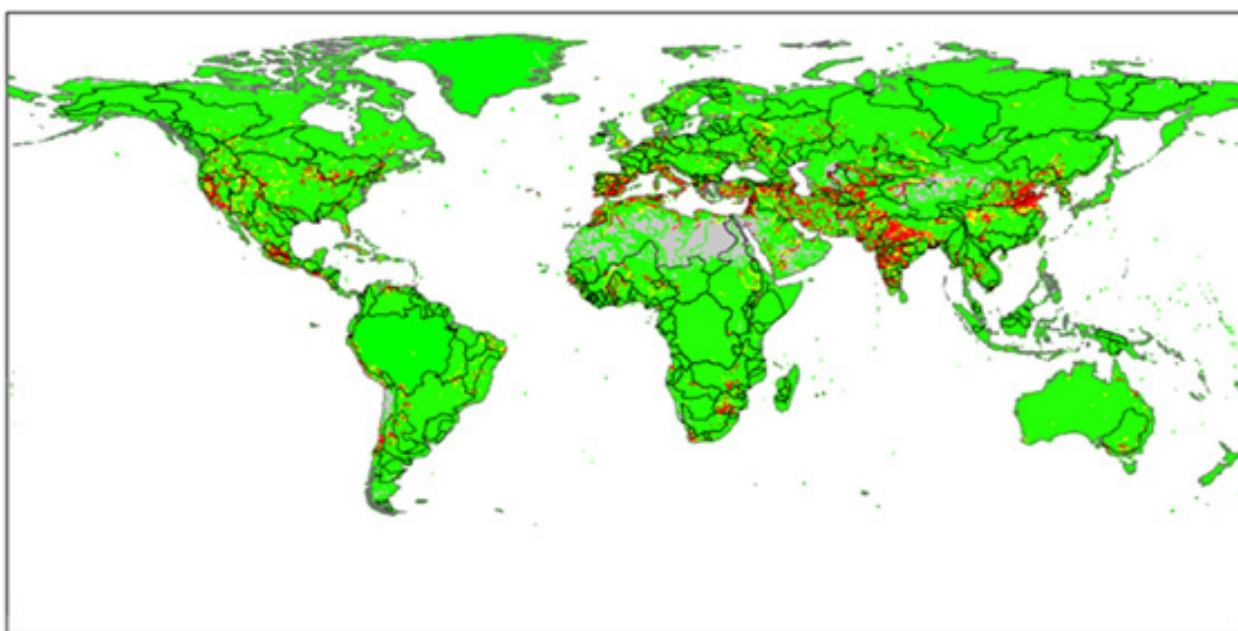
<sup>21</sup> <https://www.scientificamerican.com/article/co2-emissions-reached-an-all-time-high-in-2018/> & <https://www.theguardian.com/environment/2018/dec/05/brutal-news-global-carbon-emissions-jump-to-all-time-high-in-2018>

El valor de los costos vinculados a daños sociales evitados gracias a la implementación de una estrategia 4‰ se estima en 600 mil millones de USD por año. A modo de comparación, se ha estimado que los desastres naturales en 2017 causaron pérdidas económicas totales de 340 mil millones de USD<sup>22</sup>.

Este resultado todavía debe ser afinado, especialmente porque almacenar más C en el suelo requiere otros elementos, especialmente N. Una modelización más detallada consideraría la necesidad de un mayor uso de fertilizantes nitrogenados y sus implicaciones para un aumento de las emisiones de N<sub>2</sub>O. Además, el modelo debería analizar la reversibilidad del almacenamiento del COS después de eventos como las sequías o después de cambios en el uso de las tierras.

#### 4.1.2 Agua: mayor almacenamiento de agua en el suelo y menor demanda de riego

Como se indica en el Capítulo 2, la extracción mundial de agua dulce se está acercando al límite planetario y muestra grandes disparidades regionales, ya que algunos países ya padecen un estrés hídrico (Figura 16)<sup>23</sup>. La mayoría de las extracciones de agua son para riego. El uso eficiente del agua es especialmente importante en áreas secas.



Steffen et al. (2015)

**Figura 16** Uso de agua dulce y límites planetarios: en verde, uso dentro del límite planetario (seguro); en amarillo, países que se encuentran en la “zona de incertidumbre” (riesgo creciente); y en rojo, países en los que el uso del agua excede el límite (riesgo alto)

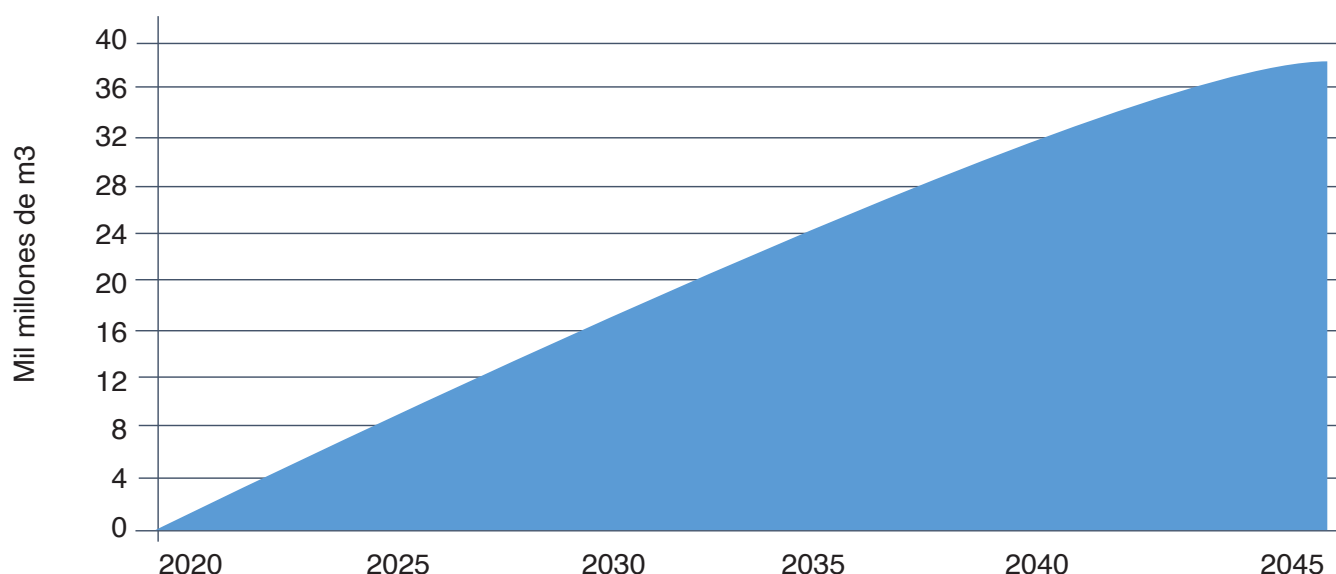
<sup>22</sup> <https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/topics-geo-2017.html>

<sup>23</sup> [www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries-data.html](http://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries-data.html)



La modelización de la estrategia 4‰ muestra que la captación de C calculada de hasta 1 Gt por año podría mejorar la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos en hasta 1.250 millones de m<sup>3</sup> por año (Figura 16). Esto permitiría una disminución gradual de las extracciones mundiales para riego de 907 mil millones de m<sup>3</sup> en 2020 a 870 mil millones de m<sup>3</sup> para 2050, suponiendo que todos los demás parámetros, como la superficie irrigada, la eficiencia del riego o los efectos del cambio climático, se mantengan constantes. Esto

corresponde a una reducción anual del 4%. De esta manera, un mejor almacenamiento de agua en unos suelos más ricos en COS podría aliviar la creciente presión sobre los recursos hídricos para el riego. Esto es particularmente relevante para las regiones que ya se enfrentan a una escasez de agua, o donde se prevé que la escasez de agua aumente debido al cambio climático y otros factores.

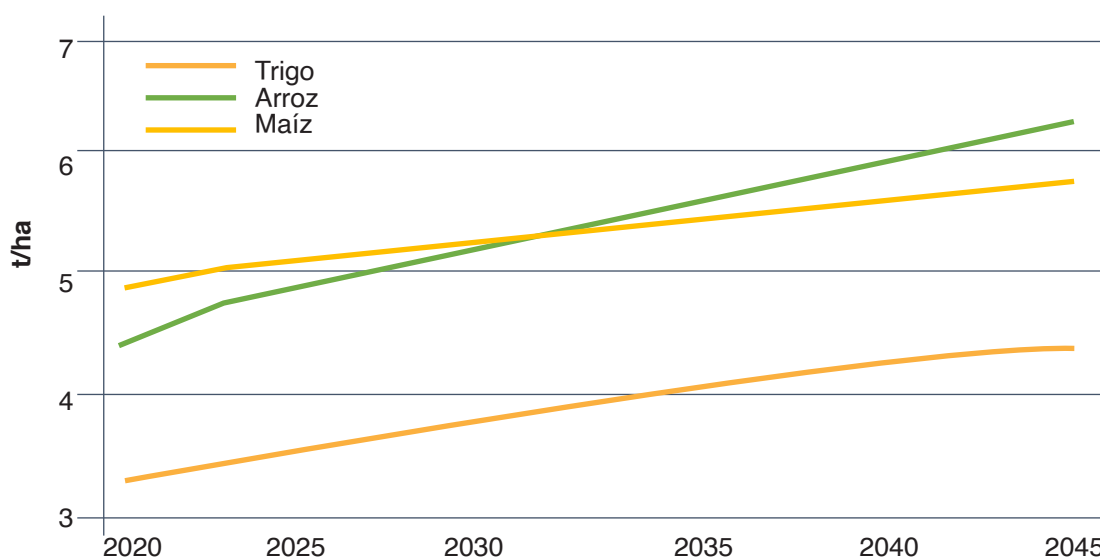


**Figura 17** Ahorro acumulado en extracciones para riego como resultado de la adopción de la estrategia 4‰ (todos los demás factores permanecen constantes)

Es probable que el ahorro de agua indicado en la Figura 15 constituya el lindar superior del ahorro potencial, dado que otros factores, como la pérdida de humedad por evapotranspiración, no se han tenido en cuenta. Además, algunos cultivos extraen agua de debajo de la capa superior del suelo, donde se almacena la mayor parte del COS y, por lo tanto, la mayor parte del agua. Por otro lado, el riego también se asocia con pérdidas de agua, entre el momento en que se extrae el agua y el momento en que llega a las raíces de las plantas. Por lo tanto, sería lógico evaluar el aumento de la retención de agua con una necesidad potencialmente reducida de agua de riego de magnitud equivalente. Sin embargo, en tal escenario, el riego podría reducirse, aunque es probable que aumente en África en las próximas décadas.

#### 4.1.3 Alimentos: beneficios de rendimiento global para los cultivos básicos

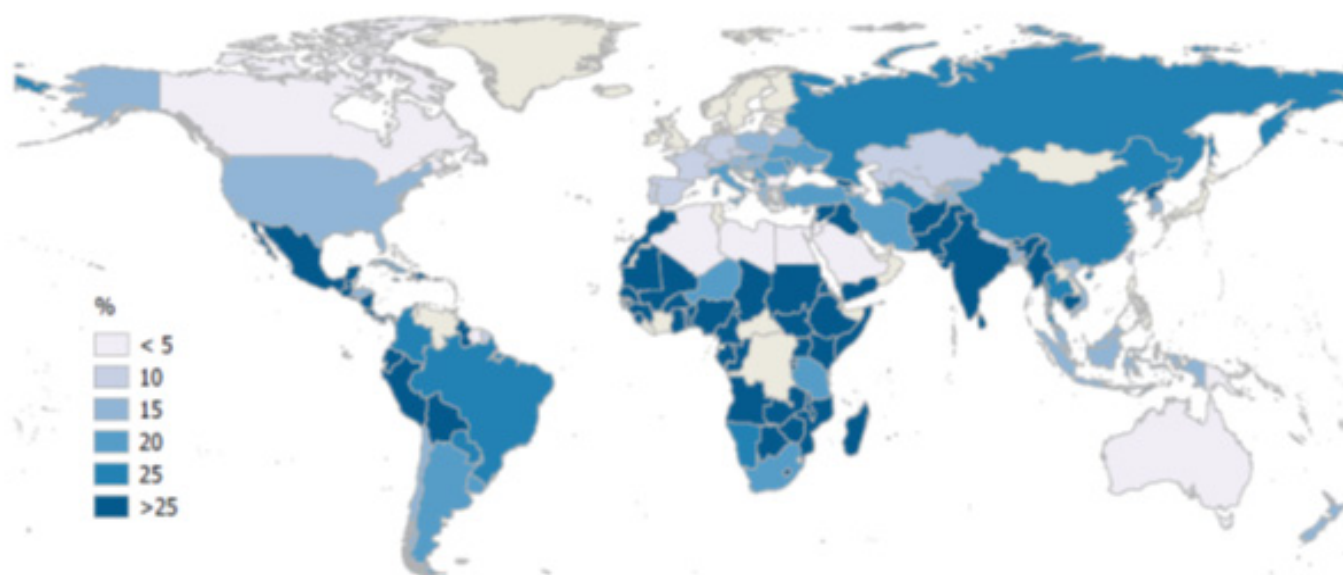
Los rendimientos globales de arroz, maíz y trigo se beneficiarían de una estrategia 4% que secuestre hasta 1 Gt C por año (Figura 16). Los rendimientos medios del arroz podrían aumentar en más del 40%, de aproximadamente 4,3 t/ha en 2020 a 6,1 t/ha en 2050 (omitiendo los efectos de cambios en las técnicas de producción o del clima). Al mismo tiempo, se estima que los rendimientos medios del maíz aumentarían en un 23%, de 4,7 t/ha a 5,8 t/ha. Para el trigo, el aumento del rendimiento también se estima en 23%, aumentando de 3,5 t/ha a 4,3 t/ha.



**Figura 18** Mejoras mundiales de rendimiento con un COS más elevado gracias a la estrategia 4%.

En cuanto a distribución espacial de los beneficios de rendimiento, la Figura 17 muestra las mejoras para el maíz entre los años 2020 y 2050. Para la mayoría de los países desarrollados, el aumento esperado se sitúa en el rango de 5% a 25%. Para los países africanos, la absorción adicional de C tras una estrategia de 4 por

1000 tiene un impacto sustancial en los rendimientos proyectados del maíz, a menudo por encima del 25%. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los rendimientos actuales en estos países son más bajos que en los países desarrollados.



**Figura 19** Aumentos porcentuales estimados en el rendimiento del maíz entre 2020 y 2050 gracias a la estrategia 4%.

Basándose en la modelización del aumento del COS tras una estrategia 4%, el aumento asociado de la producción de alimentos podría ser considerable. Por ejemplo, para Bangladesh, se estima que los rendimientos del arroz aumentarían en aproximadamente un 43%. Esto equivale a 1,3 millones de toneladas de arroz cada año entre 2020 y 2050, o el 2,5% de la producción total de arroz del país en 2017. Otro ejemplo es el de los Estados Unidos, donde los rendimientos del maíz podrían aumentar en un 14% y los rendimientos del trigo en un 20%.

## 4.2 Conclusión del capítulo 4

Los resultados presentados en esta sección son estimaciones preliminares destinadas a ilustrar los posibles cambios asociados con la iniciativa 4%. El modelo no tiene en cuenta los efectos del cambio climático en el potencial de secuestro de C, ni el impacto que el cambio climático puede tener en los rendimientos de los cultivos. Almacenar más C en el suelo requiere otros elementos, especialmente N. Una modelización más detallada consideraría la necesidad de un mayor uso de fertilizantes nitrogenados y sus implicaciones para un aumento de las emisiones de  $N_2O$ . Además, el modelo debería analizar la reversibilidad del almacenamiento del COS después de

eventos como las sequías o después de cambios en el uso de las tierras.

Un análisis más completo también modelizaría las posibles implicaciones para la biodiversidad, evaluando los compromisos posibles entre secuestro de COS y protección de la biodiversidad. Esto incluiría estimar el impacto de un aumento del uso de herbicidas en sistemas sin labranza sobre los polinizadores. Otras complejidades surgen en la modelización del impacto de la re-diversificación de los cultivos y la re-complejización de los paisajes.

El capítulo proporciona una primera estimación de los valores globales que podría generar la restauración de la salud de las tierras a través del aumento de la concentración del COS, analizando los beneficios de alcanzar los objetivos de 4% en tres ámbitos: el cambio climático, la producción de alimentos y las reservas de agua verde. Estos resultados requieren un análisis más detallado, especialmente para integrar mejor los impactos climáticos y analizar las implicaciones para la biodiversidad. Sin embargo, estos resultados ya resaltan la multiplicidad de valores y la escala de beneficios asociados con la salud de los suelos. Abogan por la adopción urgente de más prácticas de GST a escala mundial.





# Capítulo 5

Agricultura sostenible para la gestión de la salud de las tierras



Los beneficios estimados de aumentar el COS en las tierras agrícolas en un 0,4% por año proporcionan un argumento convincente para la adopción generalizada de prácticas agrícolas adecuadas. Se ha documentado una amplia variedad de sistemas y prácticas agrícolas que podrían contribuir a aumentar el COS, algunos de los cuales ya se utilizan ampliamente. Estas prácticas pueden ir por varios nombres y es tan importante acordar los principios fundamentales de la sostenibilidad como promover soluciones o conceptos específicos. Ponerse de acuerdo sobre métricas y normas específicas para la sostenibilidad agrícola, como el contenido del COS, puede ser un paso importante en el camino hacia el establecimiento de incentivos que alienten a los agricultores y otros actores a adoptar prácticas más apropiadas según sus circunstancias.

El término “agricultura sostenible” se presenta en la siguiente sección como un objetivo general. La agricultura sostenible puede verse como un subconjunto de la GST, definido como: “el uso de los recursos de la tierra, incluidos el suelo, el agua, los animales y las plantas, para la producción de bienes para satisfacer las cambiantes necesidades humanas, al tiempo que garantiza el potencial productivo a largo plazo de estos recursos y el mantenimiento de sus funciones ambientales” (UNCCD, 2016). La GST es un enfoque intersectorial genérico que puede contribuir (pero no se limita) a la agricultura sostenible. Se han documentado cientos de prácticas de GST, por ejemplo en la Visión General Mundial de Enfoques y Tecnologías de Conservación<sup>24</sup>, muchas de ellas prácticas agrícolas tradicionales que han perdurado durante siglos, aunque en algunos casos han necesitado revivir y adaptarse a entornos socioeconómicos, climáticos e institucionales cambiantes (Liniger & Critchley, 2007). Las prácticas de GST bien conocidas incluyen la agrosilvicultura, la Agricultura Sostenible y de Bajos Insumos (LEISA), los barbechos de verano, el pastoreo móvil, los pastos temporales y una amplia gama de métodos destinados a fomentar el COS y la humedad a escala local (Schwilch et al, 2012).

Diferentes actores utilizan las terminologías presentadas en las siguientes secciones de manera inconsistente. Para minimizar la confusión, este capítulo analiza algunos de los conceptos, enfoques, sistemas y prácticas agrícolas más utilizados que pueden contribuir a una agricultura sostenible.

## 5.1 Agricultura sostenible: un objetivo aspiracional

El desarrollo sostenible se define comúnmente en términos publicados por primera vez en el informe “Nuestro futuro común” (también conocido como Informe Brundtland) como: “un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Commission on Environment, 1987).

En consonancia con esta definición del desarrollo sostenible, la FAO define el desarrollo de la agricultura sostenible como “la gestión y conservación de la base de recursos naturales, y la orientación del cambio tecnológico e institucional de tal manera que garantice el logro y la satisfacción continua de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Tal desarrollo ... que conserva la tierra, el agua, los recursos vegetales y los recursos genéticos animales, es ambientalmente no dañino, técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (FAO, 1988).

La FAO propone cinco principios de alimentación y agricultura sostenibles que equilibran las dimensiones sociales, económicas y ambientales de la sostenibilidad (FAO, 2014a):

1. Mejorar la eficiencia en el uso de los recursos;
2. Conservar, proteger y mejorar los ecosistemas naturales;
3. Proteger y mejorar los medios de vida rurales y el bienestar social;
4. Mejorar la resiliencia de las personas, las comunidades y los ecosistemas; y
5. Promover una buena gobernanza de los sistemas naturales y humanos.

---

<sup>24</sup> <https://www.wocat.net/en/>

En la práctica, existen numerosas definiciones e interpretaciones de la agricultura sostenible, y el concepto sigue siendo algo ambiguo. La Royal Society argumenta que la sostenibilidad agrícola debe determinarse sobre la base de cuatro principios (The Royal Society, 2009):

1. Persistencia: la capacidad de seguir entregando los resultados deseados durante largos períodos de tiempo (generaciones humanas), lo que confiere previsibilidad;
2. Resiliencia: la capacidad de absorber, utilizar o incluso beneficiarse de perturbaciones (golpes y tensiones), y por lo tanto persistir sin cambios cualitativos en la estructura;
3. Autarquía: la capacidad de entregar los resultados deseados a partir de insumos y recursos (factores de producción) adquiridos dentro de los límites clave del sistema; y
4. Benevolencia: la capacidad de producir los productos deseados (alimentos, fibras, combustible, aceite) manteniendo al mismo tiempo el funcionamiento de los servicios ecosistémicos y sin causar el agotamiento del agua limpia.

De acuerdo con estos principios, cualquier sistema será insostenible si depende de insumos no renovables, no puede obtener de manera consistente y predecible los resultados deseados, sólo puede hacerlo requiriendo el cultivo de más tierras y/o causa impactos ambientales adversos e irreversibles (The Royal Society, 2009).

A veces, se considera que la sostenibilidad de la agricultura se sitúa en un continuo de creciente complejidad, desde la mejora de la eficiencia del sistema y la reducción de los insumos (nivel I), hasta sistemas que se rediseñan de acuerdo con los principios ecológicos (nivel III) y, en última instancia, hasta el nivel más elevado en el que el sistema está plenamente integrado en los pilares sociales y económicos de la sostenibilidad (nivel V) (Gliessman & Engles, 2014). Muchas veces, se ha planteado la preocupación de que la agricultura sostenible se centre demasiado en los niveles más bajos de este continuo, descuidando los niveles más altos (Cook et al., 2015).

Incorporar la agricultura en los pilares sociales y económicos de la sostenibilidad plantea cuestiones particulares en torno a los objetivos de la agricultura y del desarrollo económico, incluida la manera de conciliar crecimiento y consolidación de las empresas agrícolas con una reducción de la pobreza rural y la creación de empleo. Las dimensiones sociales de la sostenibilidad en la agricultura requieren una mayor atención para identificar objetivos e indicadores adecuados, así como para identificar una gama más amplia de soluciones potenciales. Por ejemplo, cerrar la brecha de género en la agricultura podría generar ganancias en la productividad, y se ha estimado que, con un acceso igualitario a los recursos productivos, las mujeres podrían aumentar los rendimientos de sus explotaciones en un 20-30%. Esto podría aumentar la producción agrícola total en los países en desarrollo en un 2,5-4%, y reducir el número de personas padeciendo hambre en el mundo en un 12-17% estimado (FAO, 2011).

Si se puede llegar a un acuerdo sobre los objetivos de la agricultura sostenible, entonces es posible acordar metas e indicadores de progreso. Una vez acordados, resulta factible que los agricultores y otros actores evalúen diferentes enfoques, actividades y prácticas en cuanto a su contribución al logro de estos objetivos (para un análisis más detallado de los enfoques de agricultura sostenible, véase Oberc & Arroyo Schnell, 2020).

## 5.2 Agricultura sostenible: una variedad de perspectivas

Existen muchas maneras diferentes de cultivar de forma más sostenible, que ya se están utilizando en todo el mundo, y muchas terminologías diferentes se utilizan para describirlas, creando una fuente de confusión y desacuerdo inútil. Algunos de los términos generalizados se describen brevemente a continuación para ilustrar la diversidad de perspectivas. Como mencionado anteriormente, las definiciones de la sostenibilidad difieren y, por lo tanto, la sostenibilidad relativa de los diferentes enfoques, según diferentes criterios, puede llegar a cuestionarse.

### 5.2.1 Intensificación sostenible

La intensificación sostenible se refiere a la intensificación de la agricultura sin impactos ambientales adversos. El mantenimiento de la viabilidad futura de la agricultura requiere un cambio de paradigma para reposicionar la agricultura como un contribuyente clave a la transición mundial hacia un mundo sostenible. La intensificación sostenible de la agricultura debe “integrar los objetivos duales e interdependientes de utilizar prácticas sostenibles para satisfacer las crecientes necesidades humanas, al tiempo que contribuye a la resiliencia y la sostenibilidad de los paisajes, la biosfera y el sistema terrestre” (Rockström et al., 2017).

El objetivo de la intensificación sostenible es aumentar la productividad, en lugar de aumentar la producción, al tiempo que se reducen los impactos ambientales. La productividad se define habitualmente como una relación entre volúmenes de producción y de insumos. En otras palabras, mide la eficiencia con la que los insumos de producción, como la mano de obra y el capital, se utilizan en una economía para alcanzar un determinado nivel de producción (OECD, 2001). La intensificación sostenible puede interpretarse como el aumento de los rendimientos por unidad de insumos (incluidos los nutrientes, el agua, la energía, el capital y la tierra), así como por unidad de productos “indeseables” (como las emisiones de gases de efecto invernadero o la contaminación del agua) (Garnett & Godfray, 2012).

El concepto de intensificación sostenible ha recibido críticas, debido a las formas divergentes en que se usa el término y a los diferentes objetivos que fomenta (Tittonell, 2014). Por ejemplo, el énfasis en el aumento de la productividad se ha utilizado para apoyar el esfuerzo en curso en el sector agrícola por obtener variedades de mayor rendimiento, incluidos los organismos genéticamente modificados, muchos de los cuales requieren mayores niveles de insumos externos para alcanzar su potencial (Cook et al., 2015). Parte del desafío con este término son las diferentes interpretaciones de “intensificación”, así como las diferentes opiniones sobre si esto implica un aumento de la producción. Otra parte del desafío radica en definir

la “sostenibilidad”, el equilibrio esperado entre los tres pilares de la sostenibilidad y la escala a la que se mide la sostenibilidad.

### 5.2.2 Intensificación ecológica de la agricultura

El término intensificación ecológica se ha popularizado para enfatizar las prácticas que hacen un “uso intensivo e inteligente de las funcionalidades naturales del ecosistema (apoyo, regulación) para producir alimentos, fibras, energía y servicios ecológicos de manera sostenible” (Tittonell, 2014). Se ha expresado preocupación por la falta de comprensión detallada sobre las interacciones ecológicas dentro de los sistemas y paisajes agrícolas y el valor económico de los servicios ecosistémicos asociados a la agricultura (Robertson and Swinton, 2005). La intensificación ecológica enfatiza los procesos ecológicos que operan más allá de los límites de la explotación, como el suministro de agua y la regulación climática, que requieren una mayor escala de análisis. La intensificación ecológica aborda la complejidad del agro-ecosistema más amplio, o paisaje agrícola, y por lo tanto es consistente con los enfoques actuales de gestión de los paisajes y los ecosistemas (Tittonell, 2014).

La intensificación ecológica implica “la sustitución respetuosa con el medio ambiente de los insumos antropogénicos y/o la mejora de la productividad de los cultivos, incluyendo la regulación y el apoyo a la gestión de los servicios ecosistémicos en las prácticas agrícolas” (Bommarco, Kleijn and Potts, 2013). Su objetivo es igualar o aumentar los rendimientos, al tiempo que minimiza los impactos negativos sobre el medio ambiente y la productividad agrícola, integrando la gestión de los servicios ecosistémicos prestados por la biodiversidad en los sistemas de producción. “Una intensificación ecológica efectiva requiere una comprensión de las relaciones entre el uso de la tierra a diferentes escalas y la composición comunitaria de los organismos que proporcionan servicios ecosistémicos por encima y por debajo del suelo, así como del flujo, la estabilidad, la contribución al rendimiento y los costos de gestión de los múltiples servicios prestados por estos organismos” (Bommarco et al., 2013).

### 5.2.3 Agroecología

La agroecología es uno de los enfoques de agricultura sostenible documentados más antiguos, definido por primera vez en 1928. Otros enfoques o conceptos para la agricultura sostenible han evolucionado o se basan en la agroecología. La agroecología es un término amplio que se ha aplicado a una disciplina científica, un conjunto de prácticas y un movimiento social (Wezel et al., 2009; Silici, 2014). La ciencia de la agroecología estudia cómo interactúan los componentes del agro-ecosistema, mientras que la práctica de la agroecología apunta a sistemas agrícolas sostenibles que optimicen y estabilicen los rendimientos. El movimiento social de agroecología aboga por los roles multifuncionales de la agricultura, al tiempo que promueve la justicia social, fomenta la identidad y la cultura, y fortalece la viabilidad económica de las zonas rurales. En muchas interpretaciones de la agroecología, los agricultores familiares son los que poseen los conocimientos, y son actores clave para producir alimentos de manera agroecológica (Wezel et al., 2009).

La agroecología tiene como objetivo aumentar la cantidad de producción agrícola y mejorar su calidad, gestionar las poblaciones de plagas de manera más eficiente y eficaz, y reducir la dependencia de los insumos, mediante 1) un aumento de la diversidad biológica en los agro-ecosistemas y 2) la optimización de las interacciones biológicas en esos agro-ecosistemas. La agroecología se aplica comúnmente a nivel de parcelas, explotaciones y paisajes (Malézieux, 2012).

La FAO describe la agroecología como “basada en la aplicación de conceptos y principios ecológicos para optimizar las interacciones entre plantas, animales, humanos y el medio ambiente. Al crear sinergias, la agroecología puede apoyar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria y la nutrición, al tiempo que restaura los servicios ecosistémicos y la biodiversidad esenciales para una agricultura sostenible. La agroecología puede desempeñar un papel importante en el fomento de la resiliencia y la adaptación al cambio climático”<sup>25</sup>.

La FAO identifica los siguientes elementos la agroecología:

- Diversidad; sinergias; eficiencia; resiliencia; reciclaje; co-creación e intercambio de conocimientos (describiendo características comunes, prácticas fundamentales y enfoques de innovación de los sistemas agroecológicos)
- Valores humanos y sociales; cultura y tradiciones alimentarias (características del contexto)
- Gobernanza responsable; economía circular y solidaria (entorno propicio)

### 5.2.4 Agricultura orgánica

La agricultura orgánica y la agricultura biodinámica son enfoques relacionados que tienen diferentes definiciones en diferentes países, a pesar de tener orígenes comunes (Vogt, 2007) [https://www.researchgate.net/profile/Susanne\\_Padel/publication/37147380\\_The\\_development\\_of\\_governmental\\_support\\_for\\_organic\\_farming\\_in\\_Europe/links/5458c16c0cf2cf516483a128.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Susanne_Padel/publication/37147380_The_development_of_governmental_support_for_organic_farming_in_Europe/links/5458c16c0cf2cf516483a128.pdf) - page=22. En términos genéricos, describen una agricultura que evita el uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas. La agricultura orgánica es definida por la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica como: “un sistema de producción que fomenta la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa en procesos ecológicos, biodiversidad y ciclos adaptados a las condiciones locales, en lugar del uso de insumos con efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición, innovación y ciencia para beneficiar al entorno compartido y promover relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los involucrados”<sup>26</sup>. La federación identifica los siguientes cuatro principios de la agricultura orgánica:

1. Salud: suelos, plantas, animales y seres humanos sanos
2. Ecología: emular y mantener los sistemas naturales
3. Equidad: equidad, respeto y justicia para todos los seres vivos
4. Cuidado: cuidado para las generaciones venideras

<sup>25</sup>[www.fao.org/agroecology/home/en](http://www.fao.org/agroecology/home/en) (consulté en juillet 2019)

<sup>26</sup>[www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture](http://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture) (consulté en juillet 2019)



Algunos estudios han demostrado que, en comparación con la agricultura convencional, la agricultura orgánica tiende a estimular la biodiversidad por encima y por debajo del suelo. También destacan tres prácticas generales de gestión, en gran medida intrínsecas aunque no exclusivas de la agricultura orgánica, y particularmente beneficiosas para la fauna agrícola: la prohibición o la reducción del uso de pesticidas químicos y fertilizantes inorgánicos; la gestión simpática de los hábitats no cultivados; y la preservación de una agricultura mixta (Hole et al., 2005). Sin embargo, un meta-análisis reciente mostró que la agricultura orgánica presentaba una estabilidad de rendimiento temporal significativamente menor (-15%) (la variabilidad y fiabilidad de la producción a lo largo de los años) en comparación con la agricultura convencional (Knapp & van der Heijden, 2018). El estudio también indica que el uso de abono verde y una fertilización mejorada pueden reducir esta brecha en la estabilidad del rendimiento.

### 5.2.5 Agricultura regenerativa

Lanzada a principios de la década de los 1980 por Robert Rodale (Gold & Gates, 2007), y originaria de los Estados Unidos, la agricultura regenerativa busca mejorar y mantener la salud del suelo restaurando su materia orgánica, aumentando su fertilidad y productividad, y reduciendo pero no necesariamente eliminando los pesticidas y fertilizantes sintéticos. Su enfoque principal es la salud del suelo, con el objetivo de aumentar los rendimientos agrícolas y la adaptación al cambio climático.

Un estudio reciente de múltiples fuentes define la agricultura regenerativa como “un sistema de principios y prácticas que genera productos agrícolas, secuestra el carbono y mejora la biodiversidad a escala agrícola” (Burgess, 2019). El informe identifica cinco prácticas principales, ampliamente asociadas con la agricultura regenerativa:

- Abandono de la labranza;
- Eliminación de los suelos desnudos;
- Fomento de la diversidad vegetal;
- Fomento de la percolación de agua en el suelo;
- Integración de las explotaciones de ganado y cultivos.

Las prácticas más frecuentemente asociadas son la labranza nula o reducida, la cobertura permanente del suelo y la diversidad en las rotaciones de los cultivos, el uso de compost y estiércol animal, la diversificación biológica (por ejemplo, a través de cultivos intercalados, agrosilvicultura, silvopastoralismo) y el pastoreo sostenible (como el pastoreo rotacional y el cultivo de pastos).

Por lo tanto, la agricultura regenerativa se centra en la salud del suelo, pero su alcance es más amplio que la agricultura de conservación (descrita más adelante), ya que también considera la ganadería, e implica la mezcla de cultivos y ganado, para impulsar aún más la calidad del suelo y la fertilidad en la explotación. Si bien la mayoría de los ejemplos de implementación de agricultura regenerativa se encuentran en los Estados Unidos, el enfoque está ganando reconocimiento e interés en Europa, con el apoyo del sector privado y de grupos internacionales como la Coalición para la Alimentación y el Uso de la Tierra (FOLU).

### 5.2.6 Agricultura mixta

La agricultura, en muchos países, ha implicado tradicionalmente una combinación de cultivos y ganado, que son interdependientes. El ganado puede proporcionar un flujo de ingresos importante, o una valiosa fuente de proteínas, al tiempo que produce estiércol que mantiene la fertilidad del suelo, junto con numerosos otros servicios ecológicos y económicos. Los residuos de cosecha, subproductos y cultivos forrajeros se utilizan a su vez para sustentar el ganado (Thiessen Martens & Entz, 2011). La producción de ganado y cultivos en una misma explotación se conoce como agricultura mixta, y sigue siendo el sistema agrícola más común en los países en desarrollo, y anteriormente también era la norma en los países desarrollados, antes de la aparición de las explotaciones especializadas.

Hoy en día, los sistemas de agricultura mixta están ganando una vez más popularidad por su capacidad para reacomodar cultivos y producción ganadera, y contribuir al cierre de los ciclos de C, N y P. Se consideran una opción para reducir las pérdidas en el medio ambiente y limitar los impactos perjudiciales, al

tiempo que aumentan la resiliencia mediante la diversificación de las fuentes de ingresos. Con el fin de construir sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles, los investigadores y responsables políticos consideran la agricultura mixta como una posible alternativa a la especialización. Utiliza los principios de la economía circular, reciclando nutrientes de manera más eficiente que los sistemas especializados, utilizando cultivos y pastizales para la alimentación de los animales y, a cambio, estiércol orgánico para la fertilización o el biogás. En muchos países, estos sistemas también hacen un mejor uso de la energía animal (por ejemplo, para el arado o el transporte) cuando la mecanización no es asequible, lo que reduce el uso de combustibles fósiles.

La fertilización con compost o estiércol fresco en sistemas cultivados puede ayudar a mantener cierta producción entre las principales temporadas de crecimiento, al tiempo que limita la cantidad de insumos externos requeridos. Por lo tanto, la calidad del estiércol es una consideración importante para la agricultura sostenible, porque tiene una influencia directa en las propiedades biológicas del suelo, incluida su estructura y contenido en materia orgánica, y mejora la fijación de N y el control de malezas, lo que afecta a la productividad de la tierra (Thiessen Martens & Entz, 2011; Erisman et al., 2017).

### 5.2.7 Gestión del pastoreo y pastoreo sostenible

Las tierras de pastoreo representan aproximadamente 3.600 millones de hectáreas en todo el mundo y fomentan una serie de funciones esenciales de los ecosistemas, incluida la producción de alimentos, forraje y agua (Xu, Jagadamma & Rowntree, 2018). La productividad de las tierras puede mejorarse a través de buenas prácticas de pastoreo, que tienen un impacto positivo en algunos aspectos de la salud de las tierras, incluida la retención e infiltración de agua, la producción de forraje, el ciclo de nutrientes, la acumulación de C, los procesos radiculares y la sostenibilidad del ecosistema (Thornton & Herrero, 2010; Xu, Jagadamma & Rowntree, 2018).

El objetivo de la gestión de los pastos y el pastoreo sostenible es mejorar la productividad de la tierra mediante la gestión de los herbívoros como herramientas en un sistema de gestión de pastoreo predeterminado. Esto puede implicar pastoreo continuo o rotacional, y puede establecerse más fácilmente en terrenos de propiedad privada, con pocos tomadores de decisiones (Briske et al., 2008; Nordborg & Roos, 2016). Sin embargo, en los sistemas de recursos de acceso abierto, que incluyen los pastizales mundiales de África subsahariana y América Central y del Sur, la gestión de los recursos de la tierra sigue siendo un desafío complejo. La GST en este contexto radica en reconocer la importancia de las interacciones ecológicas, sociales y económicas, y sus impactos en la salud de las tierras (Gray et al., 2016).

Por lo tanto, una buena gestión del pastoreo depende del conocimiento de la complejidad ecológica de las tierras de pastoreo, así como de los procesos ecológicos y las respuestas que emanan de las decisiones de gestión. Esto suele ser específico del contexto, pero se basa en los principios generales de tiempo, intensidad y frecuencia del pastoreo (Davies et al., 2015). Las tasas de población de herbívoros se convierten entonces en la herramienta variable en el sistema para alcanzar los objetivos de gestión de la tierra previstos a corto y largo plazo.

En muchos países, el sistema predominante de gestión de pastos y pastoreo sostenible es el pastoreo (incluidos el agropastoralismo, el silvopastoralismo y otros sistemas derivados o afines).

El pastoreo, definido como la producción ganadera extensiva en pastizales (Davies et al., 2010), se basa principalmente en pastos naturales y matorrales como fuente de forraje para el ganado, y es visto por muchos como un sistema de producción de alimentos ambientalmente sostenible, que contribuye a la conservación de la biodiversidad. Se practica en entre una cuarta parte y un tercio de la superficie terrestre mundial (McGahey et al., 2014). El pastoreo a menudo depende de movimientos organizados del ganado para hacer un uso estacional de diferentes recursos naturales, y la movilidad de los rebaños a menudo es esencial para mantener la salud de las tierras.

A veces se clasifica en tres sistemas generales: asentado, nómada y trashumante (Weber & Horst, 2011).

El pastoreo es un sistema tradicional de uso de la tierra que se ha modernizado en diferentes grados en todo el mundo. En algunos países, los pastizales todavía proporcionan la mayoría de forraje, mientras que en otros, se complementan con alimentos cultivados. El uso de insumos externos varía según el grado de comercialización de los productos ganaderos. Los impactos ambientales positivos y negativos del pastoreo varían significativamente en función del sistema de gestión, del movimiento efectivo de los rebaños y de la presión general sobre los recursos naturales (Scoones, 1995, Davies et al., 2010, McGahey et al., 2014).

### 5.2.8 Agricultura de conservación

La agricultura de conservación se refiere generalmente a un enfoque agrícola basado en tres principios principales<sup>27</sup> :

1. Perturbación mecánica mínima del suelo (sin labranza) a través de la siembra directa y/o del uso de fertilizantes;
2. Cobertura orgánica permanente del suelo (de al menos 30%) con residuos de cosecha y/o cultivos de cobertura;
3. Diversificación de especies a través de secuencias variadas de cultivos y asociaciones que involucran al menos tres cultivos diferentes.

Se ha encontrado que la agricultura de conservación mejora la biodiversidad y los procesos biológicos naturales por encima y por debajo del suelo, lo que contribuye a mejorar la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes, y a mejorar la producción de los cultivos (Shah and Wu, 2019). La Federación Europea de Agricultura de Conservación describe la agricultura de conservación como: “un sistema de producción agrícola sostenible que agrupa un conjunto de prácticas agrícolas adaptadas a los requisitos de los cultivos y las condiciones locales de cada región, cuyas técnicas agrícolas y de gestión del suelo protegen el

suelo de la erosión y la degradación, mejoran su calidad y biodiversidad, y contribuyen a la preservación de los recursos naturales, el agua y el aire, al tiempo que optimizan los rendimientos”<sup>28</sup> .

Es importante señalar que, si bien la agricultura de conservación genera una serie de beneficios, en la mayoría de los casos, hace uso de herbicidas para controlar las malas hierbas, lo que tiene efectos perjudiciales sobre la biodiversidad del suelo, la calidad del agua y la salud de los agricultores (Lammoglia et al., 2017). Además, su contribución a mitigar el cambio climático, a través de la acumulación de C orgánico en el suelo, a veces ha sido exagerada. Un meta-análisis de trabajos sobre agricultura de baja labranza encontró que el aumento del COS era relativamente limitado. Se pueden encontrar mayores concentraciones cerca de la superficie, lo que constituye algunos de los beneficios para la agricultura, pero este C se puede perder en los casos en que el suelo se cultiva periódicamente. Sin embargo, al proteger el suelo, la agricultura de conservación contribuye a hacer que los sistemas agrícolas sean más resistentes al clima y la variabilidad climática, contribuyendo a la adaptación al cambio climático (Powlson et al., 2014).

### 5.2.9 Agrosilvicultura

World Agroforestry (ICRAF) describe la agrosilvicultura como una “agricultura con árboles”, y más ampliamente como “la interacción de la agricultura y los árboles, incluido el uso agrícola de los árboles”<sup>29</sup> . Las interacciones entre los árboles y otros componentes de la agricultura pueden ser importantes a una variedad de escalas: en los campos (donde los árboles y los cultivos se siembran juntos), en las explotaciones (donde los árboles pueden proporcionar forraje para el ganado, combustible, alimentos, refugio o ingresos de productos como la madera) y los paisajes (donde los usos del suelo agrícolas y forestales se combinan para determinar la provisión de servicios ecosistémicos).

La integración de árboles en los paisajes agrícolas tiene el potencial de generar una serie de mejoras para los organismos del suelo y para el crecimiento de los

<sup>27</sup> <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

<sup>28</sup> <http://www.ecaf.org/ca-in-europe/what-is-ca>

<sup>29</sup> <http://www.worldagroforestry.org/about/agroforestry>

cultivos (Barrios et al., 2013). En los sistemas agrosilvícolas existen interacciones ecológicas y económicas entre los diferentes componentes. La agrosilvicultura es descrita por la FAO como “un sistema dinámico, basado en la ecología, de gestión de recursos naturales que, a través de la integración de árboles en las explotaciones y los paisajes agrícolas, diversifica y fomenta la producción para aumentar los beneficios sociales, económicos y ambientales para los usuarios de la tierra a todos los niveles”<sup>30</sup>. Los sistemas agrosilvícolas son sistemas multifuncionales que pueden proporcionar una amplia gama de beneficios económicos, socioculturales y ambientales. Se han descrito tres tipos de sistemas principales:

1. Sistemas agrícolas con una combinación de cultivos y árboles, por ejemplo cultivos en hileras, setos vivos y cortavientos o en jardines domésticos;
2. Sistemas silvopastorales que combinan silvicultura y pastoreo de animales domesticados en pastos o pastizales;
3. Sistemas agrosilvopastorales en los que se integran los tres elementos (árboles, animales y cultivos), por ejemplo dentro de jardines domésticos o con árboles dispersos en tierras de cultivo que proporcionan forraje (o alimentos después de la cosecha).

La agrosilvicultura tiene el potencial de aumentar los ingresos, mejorar la seguridad alimentaria y conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, contribuyendo así a una mejor adaptación al cambio climático, así como a su mitigación a través de un mayor secuestro de C (Hillbrand et al., 2017). La agrosilvicultura se ha utilizado para mejorar la calidad, reducir la erosión o la salinidad del suelo y para mejorar la calidad del agua. Los sistemas agrosilvícolas aumentan la cobertura y la materia orgánica del suelo, reduciendo así la escorrentía y la evaporación, y aumentando las tasas de infiltración y la capacidad de retención de agua, haciendo que más agua esté disponible para la producción de plantas en todas las capas del suelo. La Regeneración Natural Gestionada por Agricultores (RNGA) es un movimiento agrosilvícola que ha tenido mucho éxito en la

restauración de bosques y pastizales, y está mejorando los medios de vida en las ecozonas Sudano-Sahelianas de África (Binam et al., 2015).

La agrosilvicultura puede, hasta cierto punto, considerarse una medida eficaz para contrarrestar la deforestación y la consiguiente pérdida de biodiversidad por encima del suelo, que también afecta negativamente a la biodiversidad por debajo del suelo (Barrios et al., 2013), aunque no se sustituya a los bosques primarios. La integración de árboles promueve la biota del suelo de muchas maneras, incluyendo mediante un aumento de la entrada de materia orgánica y nutrientes en los suelos (Barrios et al., 2013). La poda y el mulching (cultivo bajo cubierta) crean una capa superior orgánica de suelo que ayuda a minimizar la erosión y promover la humedad, apoyando la actividad de los organismos del suelo, al tiempo que proporciona C y nutrientes que fomentan los rendimientos de los cultivos (Castro et al., 2009; Barrios et al., 2013). Los árboles en sistemas agrosilvícolas también proporcionan sombra, que puede disminuir la temperatura del suelo, lo que resulta en una reducción de las pérdidas de agua y el mantenimiento de una humedad adecuada del suelo para el crecimiento de los cultivos (Lin, 2010; Barrios et al., 2013).

### 5.2.10 Otros sistemas y prácticas agrícolas sostenibles

Los sistemas y prácticas agrícolas presentados anteriormente no cubren todas las opciones disponibles, pero dan una indicación de cómo la agricultura sostenible logra sus objetivos al proteger la biodiversidad del suelo y las funciones ecosistémicas. Se podrían incluir muchos otros enfoques, como la protección de pastizales naturales y pastizales permanentes, el uso de cultivos de cobertura para promover la retención del suelo y de nutrientes entre los ciclos de cultivo, o la incorporación de residuos de cosecha para mantener la materia orgánica del suelo, contribuyendo así a la retención de agua y al suministro de nutrientes a los cultivos (Power, 2010).

La diversificación de las tierras de cultivo es otra práctica que permite aumentar la complejidad de las

<sup>30</sup><http://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/>



especies de cultivo (Gan et al., 2015). Los policultivos diversifican la agricultura y mejoran la productividad general y los servicios ecosistémicos mediante la mezcla de diferentes cultivos (sistema de intercalación de hileras, cultivo de retransmisión), la combinación de cultivos con plantas vecinas beneficiosas para el control de plagas o la polinización, y la rotación de policultivos de cobertura y comerciales (Finney & Kaye, 2017). Las prácticas agrícolas anteriores a menudo comparten una comprensión similar de los problemas y un conjunto de soluciones en gran medida superpuestas. Desarrolladas principalmente a nivel de especies o explotaciones, contribuyen a la salud de las tierras en las explotaciones y los paisajes agrícolas.

## 5.3 Gestión de la salud de las tierras en explotaciones y paisajes agrícolas

La agro-biodiversidad se puede analizar a tres niveles distintos: paisajes, explotaciones y especies (el nivel genético). A partir de la escala macro, esta sección analiza el papel de una gestión sostenible de los paisajes agrícolas en el mantenimiento de las funciones ecosistémicas críticas, incluidas las que apoyan la agricultura y las que se disfrutan fuera del paisaje agrícola. A nivel de las explotaciones analizamos cómo las prácticas agrícolas influyen en la biodiversidad que impacta directamente en la productividad, incluidas las funciones de los ecosistemas del suelo. A nivel genético, la biodiversidad incluye las especies agrícolas y ganaderas que son criadas y conservadas por los agricultores, pero también la biodiversidad del suelo y otras especies que contribuyen a la productividad y resiliencia de las explotaciones agrícolas. Sin embargo, como ya ha demostrado el Capítulo 3, existen importantes lagunas de conocimiento en este ámbito.

### 5.3.1 Conservación de la biodiversidad en paisajes agrícolas

Los paisajes agrícolas son muy diversos, desde paisajes estructuralmente simples dominados por uno o dos cultivos, hasta mosaicos complejos de diversos

cultivos integrados en hábitats naturales y seminaturales. Los paisajes agrícolas pueden incluir áreas de bosques, pastos o humedales que a menudo son parte integral de las economías agrícolas y también representan importantes reservas de biodiversidad. En la agricultura templada, los paisajes incluyen límites y márgenes de campos, que pueden haber sido desarrollados originalmente para funciones agrícolas, pero que a menudo, actualmente, se protegen como hábitats críticos para la biodiversidad. La biodiversidad en paisajes agrícolas puede incluir especies plagas, pero también depredadores de plagas y otras especies beneficiosas, como los polinizadores de cultivos. Las prácticas agrícolas pueden eliminar gran parte de esta biodiversidad, tanto beneficiosa como dañina, y tener consecuencias para las especies de niveles tróficos más altos, especialmente las aves agrícolas (Marshall, 2004).

Sobre la base de la definición de la degradación de las tierras, los paisajes agrícolas sostenibles deben mantener o fortalecer la productividad biológica y económica y la complejidad del paisaje, que pueden medirse a través de servicios y funciones de los ecosistemas. A escala paisajística, también es necesario considerar los compromisos entre diferentes usos de la tierra, para mantener el equilibrio deseado en la funcionalidad del ecosistema.

La intensificación agrícola conduce a la pérdida de heterogeneidad ecológica y a una simplificación de la estructura del paisaje (Benton et al, 2003). Varios estudios han mostrado que la intensificación ha aumentado la proporción de tierras cultivables, disminuido los pastos permanentes o los hábitats seminaturales, aumentado el tamaño de los campos y el uso de fertilizantes y pesticidas inorgánicos, además de muchos otros efectos que conducen a la simplificación de los paisajes y a una pérdida de biodiversidad (Persson et al., 2010). Se ha expresado preocupación por la falta de comprensión detallada sobre las interacciones ecológicas dentro de los sistemas y paisajes agrícolas y el valor económico de los servicios ecosistémicos asociados a la agricultura (Robertson & Swinton, 2005). Un meta-análisis reciente, utilizando una base de datos mundial de 89 estudios en 1.475 lugares, analizó la

importancia relativa de la riqueza, la abundancia y el dominio específicos para la polinización, el control biológico de plagas y los rendimientos finales. Hasta el 50% de los efectos negativos de una simplificación del paisaje en los servicios ecosistémicos se debieron a las pérdidas de riqueza de los organismos proveedores de servicios, con consecuencias negativas para los rendimientos de los cultivos (Dainese et al., 2019).

Existe una tendencia a pensar en la biodiversidad de los paisajes agrícolas con pocos matices, y a centrarse en restaurar distintos parches de hábitats dentro del paisaje (Billeter et al., 2007). Sin embargo, esto pasa por alto la considerable divergencia en los sistemas agrícolas y el grado en que los diferentes sistemas de gestión conservan la biodiversidad en las tierras productivas. Por ejemplo, la integración de árboles en los sistemas de producción (ver la descripción de la agrosilvicultura más arriba), la gestión de pastizales o la protección de los límites de campos contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad dentro del paisaje (Schweiger et al., 2005). Para garantizar un uso óptimo de las tierras agrícolas, es necesario comprender mejor los paisajes agrícolas y la biodiversidad relativa conservada en los diferentes sistemas de producción (Norris, 2008).

La biodiversidad se puede aumentar en los paisajes agrícolas mediante la conversión de las tierras productivas en hábitats más naturales, ya sea mediante el cese de la producción o mediante la reducción de la intensidad de la producción, o por medio de una complejización de los patrones paisajísticos. Los diversos aspectos de la heterogeneidad de las tierras parecen ser cruciales para la biodiversidad. Un estudio realizado en ocho regiones diferentes de Europa y América del Norte, en 435 paisajes, midió el efecto de las diferentes intervenciones en la diversidad multitrófica a nivel de los paisajes. El aumento de la heterogeneidad de los cultivos, la disminución del tamaño medio de los campos y el aumento de la cobertura seminatural tuvieron un fuerte efecto positivo (Sirami et al., 2019). Según un meta-análisis realizado en Europa, la densidad de los setos también parecía ser crítica como refugio para los artrópodos, con impactos directos en el control de plagas, la polinización

y los rendimientos (Volf et al., 2019). Sin embargo, existe incertidumbre sobre las implicaciones para la producción agrícola a gran escala y, por lo tanto, sobre los posibles costos y compromisos para los agricultores y la sociedad (Fahrig et al., 2011). Al mismo tiempo, no se dispone de suficiente estudios para demostrar el costo de la pérdida de biodiversidad en los paisajes agrícolas. La reducción de la biodiversidad en el paisaje reduce la productividad agrícola, así como el suministro de otros servicios ecosistémicos que apoyan, por ejemplo, el suministro de agua, los hábitats y la salud (Perrings et al., 2006).

La sociedad necesita tomar decisiones mejor informadas sobre la combinación de genes, especies y ecosistemas necesarios en los paisajes agrícolas para mantener el flujo de servicios ecosistémicos y equilibrar los compromisos entre producción de alimentos, conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y bienestar humano. No reconocer el pleno papel de la biodiversidad en los paisajes agrícolas conduce a una falta de atención a los riesgos asociados con la pérdida de servicios ecosistémicos. El mantenimiento de la biodiversidad en los paisajes agrícolas mejora la capacidad de la biota del planeta para responder al clima y otros riesgos ambientales (Perrings et al., 2006).

La gestión sostenible de los paisajes agrícolas es consistente con el enfoque de la UICN para la restauración de los paisajes forestales, que se define como “el proceso continuo de recuperar la funcionalidad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes forestales deforestados o degradados”<sup>31</sup>. Los paisajes agrícolas son ecosistemas transformados, que contienen niveles variables de biodiversidad en función de una variedad de factores, incluyendo su gestión. Los ecosistemas transformados pueden ser degradados con respecto a sus objetivos de gestión, y de manera similar pueden ser “rehabilitados hacia un estado menos degradado, con respecto a la expectativa de un paisaje deliberadamente modificado” (IPBES, 2018). La rehabilitación hacia un estado menos degradado es coherente con los objetivos de Neutralidad de Degradación de las Tierras (una meta del ODS 15) si la biodiversidad, las funciones y los servicios de los

<sup>31</sup><https://www.iucn.org/theme/forests/our-work/forest-landscape-restoration>

ecosistemas son estables o aumentan en cada uno de los ecosistemas focales durante un período de tiempo determinado (Cowie et al., 2018).

### 5.3.2 Prácticas agrícolas que ayudan a conservar la biodiversidad a nivel de las explotaciones

La gran diversidad de organismos por debajo del suelo está íntimamente vinculada a la biodiversidad por encima del suelo y a los productores primarios que realizan la fotosíntesis (De Deyn and Van Der Putten, 2005). A cambio, la biodiversidad por encima del suelo depende de la actividad de grupos funcionales clave por debajo del suelo, cada uno de ellos desempeñando un papel particular en su contribución a los servicios esenciales de los ecosistemas y, por lo tanto, al mantenimiento de la productividad agrícola (Barrios, 2007; Xavier et al., 2010). En este sentido, las prácticas agrícolas afectan tanto a la producción de biomasa primaria y a los grupos funcionales clave como a las características físico-químicas del suelo (como su estructura, materia orgánica, humedad, temperatura y contenido químico).

La biodiversidad se puede conservar a nivel de las explotaciones a través de prácticas que promueven explícitamente la biodiversidad o minimizan los impactos negativos de la agricultura. Por ejemplo, una serie de prácticas promueven la materia orgánica del suelo, entre ellas: maximizar los residuos orgánicos como suministro continuo de alimentos para los microorganismos del suelo (por ejemplo, utilizando estiércol verde y animal, mantillo y residuos de cosecha); optimizar las condiciones para la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes (por ejemplo, humedad y ratio C:N); reducir o optimizar las perturbaciones (por ejemplo a través de una labranza nula o reducida y una compactación mínima); o influir en el estado químico de los suelos (mediante el uso de fertilizantes o de cal) (Bot & Benites, 2005). La arquitectura del sistema radicular de los cultivos es otro factor que puede utilizarse para mejorar el almacenamiento de MOS/COS (Kell, 2011). El aumento de la diversidad de plantas

también mejorará el almacenamiento de C en los suelos.

Una labranza reducida o nula, un componente clave de la agricultura de conservación descrita anteriormente, se utiliza en varios países como una alternativa al arado. Una labranza reducida ayuda a crear un ambiente de suelo adecuado para el cultivo y para la conservación del suelo, el agua y los recursos energéticos, tanto por la reducción de la intensidad de la labranza como por la retención de residuos vegetales. Los beneficios de una labranza reducida pueden incluir (Palm et al., 2014):

- Un aumento de la materia orgánica en la capa superior del suelo;
- Una reducción de la erosión y la escorrentía;
- Una mejora de la calidad del agua;
- Una mayor retención de humedad en el suelo, lo que resulta en rendimientos más altos y más estables durante las estaciones secas;
- Un aumento de la biodiversidad del suelo.

El consenso sobre los beneficios de una labranza reducida para el secuestro de carbono y las emisiones de GEI no es tan extenso (Palm et al., 2014). En consecuencia, la siembra directa podría verse mejor como un método para reducir la erosión del suelo, adaptarse al cambio climático y garantizar la seguridad alimentaria, mientras que el co-beneficio de mitigación para la sociedad es más incierto (Ogle et al., 2019).

La adopción de una labranza reducida o nula ha sido posible gracias a herbicidas de amplio espectro para controlar las malezas, aunque se ha señalado una mayor resistencia a estos herbicidas (Triplett and Dick, 2008). Si bien la reducción de la labranza puede ser beneficiosa para la biodiversidad del suelo, la aplicación de herbicidas puede ser perjudicial. Aunque algunos estudios encuentren que los efectos nocivos de los herbicidas en la función del suelo son menores y temporales, otros han observado cambios en la función del suelo y la biodiversidad, incluidos cambios en la ecología de las lombrices de tierra, una inhibición del ciclo del N en el suelo y aumentos específicos de enfermedades en algunos sitios (Rose et al., 2016). Los fertilizantes tienen una influencia muy clara en los

suelos. Mientras que los fertilizantes orgánicos incluyen una gran cantidad de material orgánico, junto con nutrientes que alimentan a los organismos del suelo y aumentan la materia orgánica del suelo, los fertilizantes sintéticos se centran sólo en alimentar a las plantas. Los nutrientes, a saber el N, no son automáticamente disponibles para las plantas cuando se encuentran en el suelo, debido a diferentes estados químicos influenciados por muchas condiciones y funciones del suelo (Institute of Medicine & National Research Council, 2015). Los abonos orgánicos genéricos tienen una baja concentración de nutrientes y, dependiendo de la relación C:N, pueden incluso reducir la bio-actividad del suelo. Los fertilizantes concentrados pueden tener efectos negativos directos, como quemar las plantas y reducir su resistencia a las enfermedades. Los fertilizantes sintéticos pueden disminuir la fertilidad del suelo al aumentar su salinidad y acidez. La aplicación excesiva de fertilizantes puede provocar una importante contaminación atmosférica, emisiones de gases de efecto invernadero (por ejemplo,  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ), una eutrofización del agua y riesgos para la salud humana (Galloway et al., 2008).

Una gestión equilibrada del C, N y fósforo es fundamental, ya que esos elementos están estrechamente conectados. Aumentar el COS requiere suficiente N y fósforo. Su reducción conduce a una capacidad reducida de los ciclos del N, fósforo y otros nutrientes (FAO & ITPS, 2015). Un desequilibrio de nutrientes en el suelo también puede alterar las plantas y reducir su resistencia a las enfermedades y su calidad nutricional.

Los pesticidas pueden causar daños a los cultivos, la biodiversidad y los humanos, con diferentes impactos en organismos no meta como las lombrices de tierra, los depredadores naturales y los polinizadores, así como en la micro-flora del suelo. Los pesticidas pueden acumularse en el suelo y dañar la biodiversidad del suelo, afectando el funcionamiento general del ecosistema y sus servicios ecosistémicos. Esto se suma a los posibles riesgos directos para la salud que los pesticidas pueden presentar para los seres humanos, por ejemplo a través de la contaminación de los alimentos (Yadav & Devi, 2017).

El riego y el drenaje son otra área donde las prácticas agrícolas convencionales pueden ser insostenibles, y donde se pueden encontrar enfoques alternativos (cultivos adaptados, mejora de la materia orgánica del suelo, agrosilvicultura, ...). El riego y el drenaje pueden beneficiar al crecimiento de las plantas, pero también alterar los flujos de agua en cantidad y calidad. Esto puede tener efectos negativos en la disponibilidad general de agua y en la ocurrencia de sequías e inundaciones extremas, afectando particularmente a los ecosistemas y el uso humano río abajo (FAO & ITPS, 2015). Un riego y drenaje ineficientes pueden dañar la estabilidad de la estructura del suelo y provocar erosión y la contaminación del agua. Unas pérdidas de agua pueden ocurrir entre la extracción de agua y su absorción por las plantas, por ejemplo, por culpa de una distribución ineficiente de agua a los campos y en los campos, o en pérdidas debidas a la evaporación. El riego y el drenaje pueden dar lugar a importantes emisiones de  $\text{CO}_2$ , resultantes de la mineralización del COS, especialmente en las turberas.

Por último, la diversificación de las tierras de cultivo es una práctica que aumenta la complejidad de las especies de cultivo (Gan et al., 2015). Los policultivos diversifican la agricultura y mejoran la productividad general y los servicios ecosistémicos mediante la mezcla de diferentes cultivos (sistema de intercalación de hileras, cultivo de retransmisión), la combinación de cultivos con plantas vecinas beneficiosas para el control de plagas o la polinización, y la rotación de policultivos de cobertura y comerciales (Finney & Kaye, 2017).

Las prácticas descritas anteriormente son sólo algunas de las opciones disponibles para hacer que las explotaciones sean más sostenibles al proteger la biodiversidad del suelo y la función del ecosistema. Se podrían incluir muchas otras prácticas, como el uso de cultivos de cobertura para promover la retención del suelo y de los nutrientes entre los ciclos de cultivo, o la incorporación de residuos de cosecha para mantener la materia orgánica del suelo, contribuyendo así a la retención de agua y al suministro de nutrientes a los cultivos (Power, 2010).



### 5.3.3 Conservación de la diversidad genética agrícola

La FAO define la agro-biodiversidad como “la variedad y variabilidad de animales, plantas y microorganismos que se utilizan directa o indirectamente para la alimentación y la agricultura, incluidos los cultivos, la ganadería, la silvicultura y la pesca. Incluye la diversidad de recursos genéticos (variedades, razas) y especies utilizadas para alimentos, forrajes, fibras, combustibles y productos farmacéuticos. También incluye la diversidad de especies no cosechadas que sustentan la producción (microorganismos del suelo, depredadores, polinizadores) y aquellas en el medio ambiente más amplio que sustentan los agro-ecosistemas (agrícolas, pastorales, forestales y acuáticos), así como la diversidad de los agro-ecosistemas” (FAO, 2004). Esta amplia definición abarca todos los aspectos de la biodiversidad relevantes para este informe, y particularmente la biodiversidad del suelo que sustenta la producción y mantiene la funcionalidad del agro-ecosistema.

Si bien se han cultivado más de 6.000 especies de plantas como alimento, menos de 200 hacen contribuciones sustanciales a la producción alimentaria mundial, y nueve representaban dos tercios de la producción total de cultivos en 2014. Mientras tanto, la producción ganadera se basa en alrededor de 40 especies animales, y la diversidad genética dentro de las especies de ganado es menor que para los cultivos (FAO, 2019d). Aunque estas especies representen una pequeña proporción de la biodiversidad agrícola en términos de riqueza y abundancia específicas, como muestra el Capítulo 3, han sido un foco importante de investigación. Si la agricultura cambia hacia una mayor sostenibilidad, es probable que los objetivos de reproducción cambien, y especies y razas menos extendidas puedan poseer rasgos deseables.

Aunque esto pueda parecer un campo de investigación prometedor, sólo un número limitado de estudios han analizado los vínculos entre diversidad de especies en los sistemas de cultivo, valor nutricional de las especies consumidas y seguridad alimentaria y estado nutricional en la población humana. Los datos disponibles tienden a demostrar que la reducción de la diversidad específica puede tener impactos importantes en la diversidad nutricional y la nutrición humana, especialmente cuando se considera a escala de pueblos o comunidades (Remans et al., 2011).

Se reconoce cada vez más que el suelo y la biodiversidad por encima del suelo proporcionan beneficios a la salud humana, porque contribuyen a eliminar los organismos del suelo que causan enfermedades y proporcionan aire, agua y alimentos limpios, si se gestionan de manera sostenible. La promoción de la complejidad ecológica y la robustez de la biodiversidad de los agro-ecosistemas gracias a mejores prácticas de gestión representa un recurso infrautilizado, susceptible de mejorar la salud humana (Wall, Nielsen and Six, 2015). Sin embargo, es difícil sacar conclusiones generales, ya que se han publicado pocos estudios científicos sobre los impactos de los sistemas agrícolas en la biodiversidad, y todavía existe una heterogeneidad significativa de prácticas en la llamada “agricultura sostenible”. Existen pocas publicaciones científicas disponibles sobre el impacto de la biodiversidad en los rendimientos, la calidad de la producción y el bienestar humano.

## 5.4 Conclusión del capítulo 5

Este capítulo destaca la diversidad de enfoques y prácticas agrícolas sostenibles y muestra que, a pesar de los conflictos entre enfoques, ya existen, a escala mundial, conocimientos que sustentan la adopción de prácticas de gestión de las tierras más sostenibles, adaptadas a nivel local. También muestra la importancia de las interacciones ecológicas entre los sistemas agrícolas, los suelos y la salud de los paisajes, y en particular los vínculos positivos y negativos entre biodiversidad, productividad del paisaje y prestación de servicios ecosistémicos. Estas interacciones tienen

consecuencias directas para todos los agricultores, y particularmente para los más vulnerables, que necesitan desarrollar prácticas que puedan sostener su capital de suelo y sus medios de vida, al tiempo que contribuyen a aumentar su resiliencia para afrontar los impactos adversos del cambio climático. Tienen implicaciones para los responsables políticos, que deben ofrecer los incentivos y reglamentos más adecuados, y para los actores intermedios que tendrán que ajustar sus propias estrategias y asegurar su actividad con el fin de preservar la seguridad alimentaria y satisfacer a los consumidores y las expectativas emergentes de la sociedad.





# Capítulo 6

Ampliación de la salud de las tierras mediante la transformación del sistema alimentario





El conocimiento acumulado sobre agricultura sostenible sólo ha encontrado una tracción limitada entre los principales actores del sistema alimentario: agricultores, empresas, gobiernos y consumidores. Los capítulos anteriores han demostrado que la gestión de los paisajes agrícolas para un beneficio óptimo de la sociedad implica una gestión de las tierras para algo más que alimentos, y la adopción de una gerencia ambiental. De hecho, existen muchos precedentes de gerencia ambiental en el sector agrícola, como las prácticas para mitigar los riesgos de inundaciones en las cuencas de captación o para proteger los hábitats en los límites de campos.

Si bien las soluciones para una agricultura sostenible están disponibles, a menudo se requiere más información a nivel local para ayudar a los agricultores a encontrar las opciones adecuadas para su contexto. La realización de los beneficios de gestionar la tierra de manera sostenible, tanto a nivel de los agro-ecosistemas como a nivel de las explotaciones, implica restaurar y proteger la biodiversidad del suelo en los campos, mantener la biodiversidad en las explotaciones en su conjunto y proteger la biodiversidad en los paisajes agrícolas más amplios. Esto, a su vez, requiere una combinación de prácticas agrícolas apropiadas, como las clasificadas como enfoques agroecológicos, y prácticas de gestión del paisaje, como la protección de bosques, pastos y humedales.

Restaurar y proteger la diversidad biológica en estos diferentes niveles tiene implicaciones para diferentes actores y requiere nuevos arreglos institucionales para regir esas funciones. Mientras que los agricultores cosechan algunos de los beneficios de la agricultura sostenible, otros beneficios son disfrutados por los consumidores aguas abajo, creando oportunidades para una responsabilidad compartida y unos incentivos. Además, la acción a nivel de los paisajes puede depender de una acción colectiva, así como de que el sector público asuma algunas responsabilidades, lo que plantea nuevos desafíos para la implementación.

Aunque, en todo el mundo, el cambio pueda estar ocurriendo solamente de forma esporádica, esto muestra que el impulso está creciendo. La demanda de

alimentos orgánicos, por ejemplo, ha más que cuadruplicado el área de tierras de cultivo bajo agricultura orgánica entre 1999 y 2015. Sin embargo, incluso a ese ritmo de crecimiento, la agricultura orgánica sólo representaba el 1,4% de las tierras agrícolas mundiales en 2017 (Willer and Lernoud, 2018). Este capítulo analiza algunos de los factores que pueden estar dificultando la adopción de prácticas sostenibles por diferentes actores del sector agrícola. Se basa en algunos ejemplos de innovación en la ampliación, de los cuales se pueden extraer lecciones para informar una práctica más amplia.

## 6.1 Obstáculos para la adopción e implementación

Actitudes y conocimientos, políticas y incentivos perversos, y paradigmas y modelos empresariales arraigados aún limitan la adopción de prácticas sostenibles. El informe del GANE sobre “Enfoques agroecológicos y otros enfoques innovadores para una agricultura y unos sistemas alimentarios sostenibles que mejoren la seguridad alimentaria y la nutrición” (HLPE, 2017) clasificó estos obstáculos en cinco áreas principales:

1. Factores de gobernanza, incluidos los sistemas políticos a corto plazo y compartimentados, las políticas comerciales, los marcos jurídicos y los incentivos que refuerzan la agricultura insostenible;
2. Factores económicos, incluidas las dependencias de factores limitantes, una mayor consolidación corporativa, la disminución del empleo rural, el aumento de las desigualdades, unas opciones limitadas de mercado para productos alimenticios sostenibles, y los altos costos e incertidumbre o riesgos percibidos asociados con la innovación para transiciones sostenibles;
3. Factores de recursos, tales como la baja fertilidad del suelo, las brechas tecnológicas y de productividad, la falta de mano de obra, y un acceso inadecuado a la tierra, el agua, las semillas, los recursos genéticos, el crédito y la información;



4. Factores sociales y culturales, incluidos los cambios en la dieta, las expectativas de los productores y consumidores, los discursos dominantes, el capital social, las normas y prácticas socioculturales, y las preferencias alimentarias; y
5. Factores de conocimiento, tales como métricas de investigación que no abordan externalidades ambientales o sociales, inversiones públicas sesgadas en investigación y desarrollo, falta de conocimiento o capacidad en innovaciones que apoyen la salud de las tierras, y falta de información sobre tecnologías existentes o nuevas.

Los factores de conocimiento son críticos, ya que todavía existe una brecha significativa de conocimientos relacionada con la biodiversidad del suelo y la salud de las tierras. Muchos actores ignoran este fundamento de la agricultura sostenible simplemente porque no lo conocen. A menudo, la biodiversidad se menciona en términos de especies en peligro de extinción, como las aves o los polinizadores, o en términos de razas agrícolas y ganaderas que los agricultores han abandonado conscientemente por diferentes razones. La actitud predominante hacia las tierras agrícolas es tratar el suelo como un sustrato inerte en el que se requieren insumos externos para nutrir los cultivos. Se necesita urgentemente una comprensión más profunda y más amplia del suelo como sistema ecológico, y más ampliamente de cómo los vínculos entre biodiversidad y productividad y resiliencia del paisaje pueden proporcionar una corriente de beneficios conjuntos para la sociedad.

La transformación a gran escala de la agricultura debe incluir formas de incentivar a los pequeños agricultores y a los grandes productores. Contrariamente a la creencia generalizada, los pequeños agricultores no producen la mayoría de los alimentos del mundo, pero sí constituyen la mayoría de los agricultores del mundo. A nivel mundial, alrededor del 84% de las explotaciones son inferiores a 2 hectáreas y utilizan aproximadamente el 12% de las tierras agrícolas mundiales (Lowder et al., 2016). La contribución de estas explotaciones a la producción mundial de calorías alimentarias se ha estimado entre el 18% y el 34%, aunque las estimaciones son muy

sensibles a las definiciones de escala y lagunas de datos (Herrero et al., 2017, Ricciardi et al., 2018).

Si bien se observa una tendencia a hacer una distinción entre agricultura a pequeña escala (“las víctimas”) y agricultura industrial (“los villanos”), esto pasa por alto el papel dominante en la agricultura de las explotaciones familiares, que pueden pertenecer a ambas categorías. Una explotación familiar es propiedad y está operada por una familia y depende principalmente de la mano de obra familiar. Estas granjas pueden ser de cualquier tamaño, y dominan la superficie de tierras agrícolas. A partir de los datos presentados anteriormente, si los agricultores familiares (que incluyen a los pequeños agricultores) representan más del 90% de las explotaciones del mundo y operan en aproximadamente el 75% de las tierras agrícolas del mundo, se deduce que el 6% de las explotaciones del mundo son granjas familiares que administran el 63% de las tierras agrícolas mundiales. Este conjunto representa un grupo meta importante para los programas destinados a ampliar la agricultura sostenible. El 10% restante de las operaciones agrícolas gestiona el 25% restante de las tierras agrícolas del mundo, y es presumiblemente una combinación de explotaciones estatales y empresas privadas. Es vital desarrollar mejores datos sobre el perfil y el alcance de estos diferentes grupos agrícolas para comprender las oportunidades de ampliar la agricultura sostenible.

Uno de los desafíos clave para ampliar la adopción de la agricultura sostenible es traducir los principios agroecológicos en estrategias prácticas y sostenibles para la gestión del suelo, el agua y la biodiversidad, para mejorar la productividad de la tierra y mejorar la resiliencia (Nicholls and Altieri, 2018). El éxito de la ampliación de las diferentes tecnologías, enfoques y prácticas de agricultura sostenible dependerá de una cuidadosa consideración de cómo pueden adaptarse localmente al contexto social, económico y ecológico existente en el que se van a aplicar (Coe, Sinclair and Barrios, 2014). Esto incluye la promoción del co-aprendizaje y el aprovechamiento del conocimiento y la innovación locales para guiar la aplicación de estas tecnologías, enfoques y prácticas (Pretty et al., 2011). Si bien el conocimiento de los agricultores es vital para la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, los

agro-negocios también ejercen una poderosa influencia. La globalización y el comercio internacional se han expandido rápidamente, y han vinculado a muchos agricultores con los mercados de exportación e importación, principalmente gracias a inversiones de empresas transnacionales de alimentos. Esta globalización del sistema alimentario ha hecho que un pequeño número de empresas altamente influyentes desempeñen un papel vital en la integración vertical de los mercados agroalimentarios, así como en el control de las principales cadenas de suministro (Gliessman and Tiftonell, 2015). Por lo tanto, la transformación de los sistemas agrícolas y alimentarios mediante enfoques agroecológicos debería tener debidamente en cuenta a estas entidades transnacionales, en función de su capacidad para dar forma a las prácticas en torno a la alimentación y la agricultura.

Las condiciones sociales, políticas y económicas que rodean a los agricultores influyen inevitablemente en sus decisiones sobre prácticas agrícolas. Las estrategias eficaces para ampliar la innovación en la agricultura incluyen la reactivación de sistemas agrícolas tradicionales, como en el caso de la agrosilvicultura en el Sahel, y la creación de sitios centinela, o pilotos, a partir de los cuales las experiencias se pueden difundir a las áreas circundantes. Para que sean plenamente eficaces, estos enfoques deben complementarse con políticas de apoyo, y mediante acuerdos que mejoren la participación en el mercado y la viabilidad económica (Nicholls y Altieri, 2018).

Las siguientes secciones de este capítulo se centran en las oportunidades para abordar los obstáculos mencionados para ampliar la agricultura sostenible, y en tres áreas en las que se pueden lograr progresos:

1. Una mejor comprensión y habilitación de los valores de las tierras y los paisajes agrícolas;
2. Unos incentivos para una acción transformadora, tanto positiva como negativa, económica y regulatoria; y
3. Una reducción de los riesgos asociados a la transición hacia una agricultura y una producción de alimentos que conserven la salud de las tierras.

## 6.2 Mejorar la comprensión y habilitar los valores de los paisajes agrícolas

Los Capítulos 3 y 4 demostraron cómo los procesos ecológicos relacionados con la biodiversidad y la salud de las tierras contribuyen a la provisión de una gama de servicios ecosistémicos utilizados como insumos agrícolas. Tradicionalmente, los inversores y responsables políticos han considerado los insumos en la agricultura en términos de tierra, mano de obra, capital financiero y gestión (“factores de la producción”), y el valor de la producción agrícola en términos de costo de estos insumos. Por lo general, los servicios ecosistémicos utilizados como insumos en la producción no han sido considerados en términos económicos, o han sido tratados como bienes públicos, que no tienen costo alguno para el productor. Como tal, estos servicios no tienen un precio de mercado consistente y acordado para regular su consumo o indicar su valor económico. Una consecuencia bien conocida de esta falta de precio de mercado es que el consumo de servicios ecosistémicos supera a su oferta, ya que los ecosistemas de los cuales se derivan disminuyen en calidad y extensión, a consecuencia de un uso excesivo y de una falta de reinversión.

Algunos actores de los sistemas alimentarios reconocen la contribución esencial de los servicios ecosistémicos a la producción agrícola. Sin embargo, como se señaló anteriormente, estos servicios no relacionados con el mercado no tienen precio de mercado, y no pueden valorarse fácilmente en términos monetarios o incorporarse en el presupuesto agrícola y las decisiones de asignación de recursos, de la misma manera que otros factores de producción. Por ejemplo, se sabe que la materia orgánica del suelo mejora la humedad del suelo y el almacenamiento de nutrientes, lo que garantiza rendimientos mayores y más resistentes, pero el beneficio no es fácilmente cuantificable (Oldfield et al., 2019), y generalmente no se tiene en cuenta en la definición de los precios de las tierras agrícolas. Por lo tanto, el valor económico de los insumos esenciales de los servicios ecosistémicos no se tiene en cuenta en la toma de decisiones.

Se requiere un cambio de paradigma, en el cual se reconoce el valor de los servicios ecosistémicos para la salud de las tierras (especialmente los relacionados con los procesos del suelo), y en el cual los ecosistemas de los que se derivan estos servicios se consideran como activos. Este paradigma significa que los activos del ecosistema, al igual que los activos financieros y de otro tipo, necesitan una reinversión periódica para mantener las reservas y el flujo de reservas como servicios a los usuarios. En el caso de los activos de los ecosistemas, la “reinversión” puede implicar la conservación y protección de los ecosistemas, la restauración y rehabilitación de las tierras y una gestión ecológica continua.

Tal cambio de paradigma se ha producido en los Estados Unidos, donde los rendimientos agrícolas continúan aumentando con un fuerte apoyo político para la salud de los suelos. Este cambio tiene sus raíces en la Ley de Conservación de los Suelos aprobada en 1935, en respuesta al período de sequías de Dust Bowl y la severa erosión de los suelos en la década de los 1930. Para 1938, un esfuerzo masivo de conservación había reducido la erosión de los suelos en un 65%, y desde entonces, la salud de las tierras ha seguido siendo un valor importante para los agricultores, terratenientes e inversores estadounidenses (véase Recuadro 2). Dado que, hoy, el cambio climático está impulsando cambios en las prácticas agrícolas y comerciales, las inversiones, las políticas y los hábitos de consumo, se requiere un cambio de cultura similar con respecto a la salud de las tierras, pero esta vez a escala mundial.

**RECUADRO 2 INTEGRAR EL VALOR DE LA SALUD DE LOS SUELOS EN LAS POLÍTICAS ESTADOUNIDENSES**

Los propietarios no explotadores controlan el 41% de las tierras de cultivo en los Estados Unidos, incluido el 62% en el Medio Oeste. Los arrendamientos de tierras pueden proporcionar incentivos y barreras para mejorar la salud de las tierras. Los contratos de arrendamiento de tierras varían según los Estados, dentro de los Estados Unidos, y muchos pueden incluir disposiciones relacionadas con la salud de las tierras<sup>32</sup>. Por ejemplo, muchos contratos de arrendamientos en el Medio Oeste contienen disposiciones para mantener los niveles de fertilidad de la tierra arrendada, y acuerdos entre el propietario y el inquilino para la aplicación y eliminación de nutrientes. Este concepto puede extenderse a otros elementos de la salud de las tierras, como la salud más amplia del suelo, la biodiversidad, la calidad y la cantidad de agua. Varios Estados están evaluando estructuras legales de arrendamiento que aborden la salud del suelo y otros servicios vinculados con la salud de las tierras. Estas estructuras de arrendamiento dependen de la evolución de la ciencia sobre la cuantificación de la salud del suelo, el potencial del hábitat, las mejoras en la cantidad de agua y otros factores<sup>33</sup>.

Numerosas iniciativas públicas y privadas se han centrado en evaluar los beneficios económicos de las prácticas que mejoran la salud del suelo para los agricultores, las cadenas de suministro agrícolas y la sociedad en su conjunto. Muy pocos programas han recopilado datos a una escala lo suficientemente fina como para comprender todos los beneficios de la salud de las tierras en la mejora de la producción agrícola.

El programa de Gestión de Conservación de Precisión<sup>34</sup> es un esfuerzo dirigido por los agricultores para desarrollar planes de mejora continua a nivel de los campos, mediante el uso de métricas de sostenibilidad, modelos económicos, datos de gestión agronómica y consultoría individual. Las métricas permiten a los agricultores internalizar mejor las prácticas vinculadas con la salud de las tierras en los presupuestos de gastos operativos y los modelos de planificación financiera.

El programa de Investigación y Educación en Agricultura Sostenible (SARE) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha estado analizando la economía del cultivo de cobertura y la salud de las tierras. Un reciente boletín técnico<sup>35</sup> del SARE resume los aumentos de la superficie cultivada en los Estados Unidos entre 2012 y 2017 (un aumento del 50%) y los factores económicos relacionados con el impacto de los cultivos de cobertura en la salud de las tierras agrícolas.

<sup>32</sup> <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/html/c2-01.html>

<sup>33</sup> <https://farmdoc.illinois.edu/management#handbook-farmland-leasing>

<sup>34</sup> <https://www.precisionconservation.org/>

<sup>35</sup> <https://www.sare.org/Learning-Center/Topic-Rooms/Cover-Crops/Cover-Crops-Economics>



### 6.2.1 Barreras a la valoración y conservación de la salud de las tierras

Unas lagunas en los conocimientos sobre beneficios, oportunidades y prácticas de agricultura sostenible a menudo dificultan su adopción. La agricultura sostenible es un proceso intensivo en conocimientos, e invertir en la salud del suelo requerirá un aumento significativo de la inversión en ciencia.

Como se señaló anteriormente, la toma de decisiones en materia de gestión agrícola se basa generalmente en una relación entre la tierra, la mano de obra, el capital, los costos de gestión y el precio de mercado de la producción. Es probable que este enfoque constituya un poderoso incentivo perverso contra la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. El Producto Nacional Bruto Agrícola y los precios de los productos básicos agrícolas son indicadores comunes en las estadísticas agrícolas nacionales, utilizados por los organismos de las Naciones Unidas y los bancos de desarrollo. En comparación, existe una falta de estadísticas sobre los cambios en el alcance y las condiciones de los ecosistemas que sustentan los servicios utilizados como insumos agrícolas. Sin embargo, los recientes avances en contabilidad ambiental-económica y contabilidad ecosistémica por parte de las Naciones Unidas y varias agencias nacionales de estadística están comenzando a corregir esta situación, a medida que los métodos de contabilidad ambiental y ecosistémica se vuelven disponibles para los responsables y planificadores de políticas agrícolas. Además, ha habido una tendencia a que los gobiernos transfieran la responsabilidad de los servicios de extensión y el desarrollo de capacidades de los agricultores a los minoristas de insumos agrícolas (semillas, fertilizantes y agroquímicos), que probablemente tienen un interés personal en proteger sus mercados<sup>36</sup> en vez de promover las actividades sostenibles descritas en este informe.

La complejidad de los sistemas agroalimentarios añade nuevos desafíos a la promoción de los valores de la salud de las tierras (HLPE, 2017). Además, los desafíos varían considerablemente de un país a otro. Como se discutió en el Capítulo 2, algunos países se están

luchando con una crisis de obesidad creciente, mientras que otros todavía se enfrentan a altos niveles de desnutrición y deficiencias de micronutrientes. Los países que hacen de la producción de alimentos una prioridad de desarrollo podrían desconfiar de los riesgos percibidos asociados con la agricultura sostenible, y ser escépticos en cuanto a su potencial como alternativa creíble a las prácticas convencionales probadas. Aunque la ciencia existente demuestra de forma convincente los beneficios de la agricultura sostenible, esta ciencia todavía no ha influido plenamente en la política agrícola convencional de muchos países.

Retratar las prácticas agrícolas sostenibles como opciones futuras basadas en la ciencia y progresistas, en lugar de prácticas arcaicas, puede ayudar a superar parte de la resistencia al cambio. En los países desarrollados, los sistemas agroecológicos podrían reemplazar los enfoques de gestión que dependan, en gran medida, de combustibles fósiles e insumos químicos con una gestión intensiva en conocimientos. La agricultura intensiva en conocimientos puede reducir la huella ambiental de la agricultura, al tiempo que proporciona empleo en las zonas rurales. Esto también debería ser un argumento convincente para los países en desarrollo con una fuerza de trabajo rural abundante y relativa escasez de combustibles fósiles e insumos químicos. Sin embargo, la promoción de enfoques agroecológicos depende de un gran impulso educativo, combinado con el establecimiento de instituciones que empoderen a los agricultores para que se conviertan en agentes activos (Carlisle et al., 2019).

### 6.2.2 Soluciones para promover eficazmente la agricultura sostenible a gran escala

La adopción generalizada de la agricultura sostenible depende de la innovación en todo el sistema de alimentos y agricultura. Sin embargo, la innovación se refiere a algo más que tecnología, y la innovación agrícola combina un cambio tecnológico, social, económico e institucional. La innovación agrícola requiere el desarrollo y el intercambio de conocimientos, así como abordar cuestiones de políticas, legislación, infraestructura, financiación y

<sup>36</sup> <https://ag4impact.org/sid/socio-economic-intensification/building-human-capital/agricultural-extension/>

desarrollo del mercado. La innovación agrícola a menudo depende de las interacciones entre redes de partes interesadas, que permiten a los actores desarrollar una visión compartida, crear vínculos comerciales y flujos de información, mejorar la cooperación, desarrollar mercados, establecer entornos legislativos y políticos y desarrollar un capital humano (Klerkx et al., 2012). Las redes de actores agrícolas, incluidas las redes sociales informales, desempeñan un papel importante en la mediación de las relaciones sociales y el fomento de la confianza y el conocimiento. Estas redes han demostrado ser influyentes para promover el cambio social y la comprensión de los agricultores, y permitir la adopción de prácticas agrícolas sostenibles (Carolan, 2006).

La adopción de la agricultura de conservación proporciona información sobre cómo el conocimiento y las actitudes de los agricultores influyen en la innovación. La agricultura de conservación se ha expandido de 45 millones de hectáreas en 2004 a más de 125 millones de hectáreas en 2012, y ocupa ahora aproximadamente el 10% de la superficie mundial de tierras cultivables (Kassam et al., 2019). La mayor parte de esta expansión ha tenido lugar en América del Norte y del Sur, Oceanía y África. La superficie total

bajo agricultura de conservación en Europa se estima en 22,7 millones de hectáreas, o aproximadamente el 25,8% de las tierras cultivables de la región (Kertész & Madarász, 2014). La adopción de la agricultura de conservación en Europa se ha visto impulsada, en gran medida, por la oportunidad de mejorar los rendimientos netos, a través de menores costos de operación, mano de obra e insumos. Las preocupaciones relativas a la conservación del suelo y el agua no parecen haber sido entre los principales impulsores de las decisiones de los agricultores europeos para cambiar o no a la agricultura de conservación (Lahmar, 2010).

La adopción de la agricultura de conservación en Europa, por ejemplo en Noruega y Alemania, se está logrando paso a paso, los agricultores a gran escala siendo los primeros en adoptarla. Se prevé que esta tendencia continúe, dada la creciente presión para mejorar la competitividad de las explotaciones agrícolas y el aumento constante de los costos de combustible (Lahmar, 2010). Si bien la evidencia de los valores ambientales de la agricultura de conservación puede parecer persuasiva para los científicos, la evidencia de ahorros vinculados a la reducción de los costos de insumos puede ser más decisiva para los agricultores.

### ECUADRO 3 DESARROLLAR LAS CAPACIDADES Y PROBAR EL VALOR DE LA SALUD DEL SUELO<sup>37</sup>

Los agricultores se enfrentan a numerosos riesgos si quieren cambiar su sistema de producción, incluidas una reducción potencial del rendimiento, el ensayo-error en la implementación de nuevas prácticas e inversiones en equipos. Estos riesgos y barreras disuaden fuertemente a los agricultores de adoptar prácticas agrícolas sostenibles. Paralelamente, las empresas no son capaces de definir o medir el rendimiento de la agricultura de conservación, ya que no existen indicadores acordados que puedan incluirse en las políticas de abastecimiento responsable.

La iniciativa Living Soils (Suelos Vivos) de la Fundación Earthworm tiene como objetivo superar estas barreras mediante:

1. La creación de soluciones piloto que reduzcan el riesgo e incentiven aún más la transición hacia la agricultura de conservación, por ejemplo, remunerando a los agricultores por conservar los activos ecosistémicos de los que se derivan los servicios, incluido el secuestro y almacenamiento de C en el suelo.
2. La definición de los Criterios de Suelos Vivos para proporcionar a las empresas un mecanismo para evaluar la producción en sus cadenas de suministro basado en una "Puntuación de Suelos Vivos".

La fundación trabaja con agricultores, empresas, inversores, instituciones de investigación y gobiernos en la co-creación e implementación de estas soluciones. Proporciona apoyo científico y capacitación sobre el terreno, y fortalece las redes de agricultores para compartir información y conocimientos. Se está probando en un paisaje piloto en el norte de Francia (Picardía), donde se cultivan variedades herbáceas, que abastecen a Nestlé, Cerelia, Lidl y otras empresas que se han unido a la iniciativa.

La adopción de la agricultura de conservación en África se ha visto influenciada por otros factores, como el suministro de capacitación, la pertenencia a organizaciones de agricultores, la propiedad del equipo necesario para practicar una labranza cero y el uso de herbicidas (Nyanga, 2012). La adopción también se ha visto influenciada por el tamaño de las explotaciones, lo que confirma la experiencia en Europa de que los agricultores más grandes son más propensos a ser los primeros usuarios. Esto puede estar correlacionado con su calidad de propietario o con su acceso al equipo necesario y otros recursos, incluidos los recursos humanos. La adopción también estuvo influenciada por la relación y la confianza entre agricultores y agentes de extensión, la reciprocidad y el altruismo, lo que confirma

los resultados anteriores sobre las redes de innovación. La estrategia de ampliación fue influyente, incluso en cuanto a su supervisión y evaluación, y calidad y alcance de los conocimientos técnicos. Además, se encontró que el liderazgo tradicional mejoraba la adopción de la agricultura de conservación en la mayoría de los casos. En particular, las palancas para la adopción diferían entre hombres y mujeres, lo que refleja la diferenciación de género en las funciones y aspiraciones de los agricultores.

<sup>37</sup> <https://www.earthworm.org/our-work/projects/living-soils-in-rosi%C3%A8res-en-sant%C3%A9re-france>

#### RECUADRO 4 REVERDECER EL SAHEL: MÚLTIPLES INCENTIVOS PARA LA TRANSFORMACIÓN A GRAN ESCALA EN NÍGER (GRAY ET AL., 2016)

Siete millones de hectáreas de tierra en el Sahel han logrado una mayor cobertura vegetal en los últimos 25 años, después de las extensas sequías que asolaron la región en los años setenta y ochenta. Los impulsores de esta revegetación todavía se están debatiendo entre los científicos, pero se cree que unos cambios en la tenencia de los árboles han jugado un papel importante. Los avances también pueden haber sido impulsados por el movimiento de base que propició la adopción de una gestión sostenible innovadora en las explotaciones, conocida como regeneración natural gestionada por los agricultores (RNGA), un ejemplo de práctica agroforestal. La RNGA se define como un proceso mediante el cual los agricultores protegen y gestionan los árboles que se regeneran naturalmente en sus tierras, en lugar de talarlos. La RNGA ha resultado en múltiples beneficios a nivel del paisaje, incluyendo el aumento de los rendimientos de los cultivos, la rehabilitación de tierras degradadas, la expansión de los jardines de regadío de la estación seca, la diversificación de los ingresos de los hogares, la reducción de la inseguridad alimentaria y una mayor resiliencia (Gray et al., 2016).

Los propios agricultores desempeñaron un papel central en la adopción y difusión de la RNGA. Los primeros usuarios hicieron una demostración de cómo revivir estos enfoques tradicionales de la agricultura condujo a beneficios directos, incluida la mejora de la productividad en sus tierras de cultivo. La adopción acelerada de las prácticas dependía, entonces, de la simplicidad de la innovación y de la disponibilidad de información proporcionada a través de los intensos esfuerzos de ONG y agentes de extensión.

El fortalecimiento de las instituciones mejoró la implicación local y la participación de las comunidades en la toma de decisiones, ayudando a las comunidades a gestionar los compromisos tanto a nivel doméstico como comunitario. Las comunidades obtuvieron beneficios directos del uso de los árboles, como leña, forraje y alimento. Los métodos utilizados fueron fácilmente demostrables y replicables, y compartidos a través de demostraciones en las explotaciones. Aunque los objetivos de regeneración a escala paisajística no estaban claramente formulados o acordados, existía un entendimiento común de la acción colectiva necesaria para abordar las preocupaciones transversales sobre deforestación, degradación de las tierras, disminución de la fertilidad del suelo, escasez de agua y vulnerabilidad al cambio climático.

Las políticas que regían la propiedad y el uso de los árboles fueron un desafío para la adopción de esta innovación. En Níger, los árboles son activos nacionales y su uso está sujeto al control gubernamental. La prohibición del uso de algunas especies de árboles había provocado un fuerte desincentivo para su protección o su gestión en las explotaciones agrícolas. La posterior descentralización permitió a las instituciones a nivel comunitario decidir del uso de los recursos de árboles y arbustos, creando un incentivo para que los agricultores inviertan en la protección y regeneración de los árboles. Se garantizó a los agricultores de Níger su derecho a administrar los árboles en sus explotaciones, y se les liberó de la preocupación de que el gobierno les multara por la tala no autorizada de especies protegidas, o los gravara por transporte o comercio de productos forestales.

Los impresionantes resultados a largo plazo en Níger se basaron en varios factores:

- Utilizar un enfoque ascendente;
- Demostrar una innovación de bajo costo y sostenible para la mayor parte de la comunidad;
- Proporcionar beneficios a diferentes escalas;
- Capacitar a las comunidades e instituciones locales para apropiarse y tomar decisiones sobre los recursos naturales;
- Utilizar agentes de extensión y organizaciones de la sociedad civil como catalizadores para impulsar la adopción;
- Utilizar un enfoque integrado de gestión del paisaje.



Alimentar el valor a largo plazo es un enfoque que se originó en el sector energético, donde algunos inversores comenzaron a considerar las inversiones en energía no renovable como “activos bloqueados”, que podrían poner en peligro la sostenibilidad a largo plazo de estas empresas. En este contexto, un activo bloqueado se ha definido como “aquellas inversiones que ya se han realizado pero que, en algún momento antes del final de su vida económica ... ya no dan un rendimiento económico” (Caldecott, 2017).

El mismo concepto se ha aplicado recientemente a la sostenibilidad agrícola (véase, por ejemplo, (TEEB, 2018)). De hecho, retrasar la transición a la agricultura sostenible conlleva un riesgo similar para los posibles inversores en la agricultura, y plantea la cuestión de si considerar únicamente el valor de la producción o el de la salud de las tierras de manera más amplia. Este tipo de pensamiento está ganando fuerza entre las empresas y sus consejos de administración, incluso en el sector agroalimentario, que progresivamente están redefiniendo el valor<sup>38</sup> y reconociendo que “el valor de los accionistas ya no lo es todo”, como en la declaración firmada recientemente por 181 jefes de empresas en los Estados Unidos<sup>39</sup>. Incluir el verdadero valor de los alimentos<sup>40</sup>, por ejemplo, teniendo en cuenta la salud del suelo, como un elemento clave de la sostenibilidad financiera y ambiental de las empresas, es un enfoque prometedor para nutrir el valor a largo plazo de la salud de las tierras.

## 6.3 Incentivos para una acción transformadora

Abordar los incentivos para una acción transformadora requiere distinguir entre estímulos negativos y positivos: entre incentivos y desincentivos. En particular, los subsidios, normas y estándares pueden bloquear o fomentar la transformación deseada. La concentración de la industria o las estrategias comerciales pueden ser incompatibles con la necesaria re-diversificación de las rotaciones de cultivos y los paisajes agrícolas. Los acuerdos de cadena de suministro a menudo conducen a la concentración de la captura de valor y del poder de toma de decisiones en la parte superior de la cadena de suministro, lo que impide que los agricultores realicen la transición hacia prácticas más sostenibles.

Se puede concebir una variedad de incentivos para promover la agricultura sostenible, incluidos mecanismos públicos de compensación e inversiones privadas para los administradores de tierras. Los mecanismos públicos incluyen subvenciones, pero también pueden tomar la forma de mecanismos de participación en los beneficios (Andina, 2014), incluidos, entre otros, pagos por servicios ecosistémicos y compensación a los agricultores por los servicios prestados a la sociedad (véase el Recuadro 5 para otros ejemplos).

---

<sup>38</sup><https://www.wbcsd.org/Programs/Redefining-Value>

<sup>39</sup><https://opportunity.businessroundtable.org/ourcommitment/>

<sup>40</sup><https://www.wbcsd.org/mtxtv>

**RECUADRO 5 PROGRAMAS PÚBLICOS DE MEJORAS AMBIENTALES EN LA AGRICULTURA ESTADOUNIDENSE**

Los municipios locales, los gobiernos estatales y el gobierno federal de los Estados Unidos han iniciado programas para el comercio de créditos de calidad del agua, la incentivación de prácticas favorables a la salud de las tierras y sistemas de límites y comercio de emisiones de C. El estado de Wisconsin ha iniciado un programa público de comercio de créditos de calidad del agua<sup>41</sup> en el que las partes pueden compensar sus cargas de contaminantes trabajando con agricultores u otras partes, a nivel del estado. Las ciudades de Milwaukee y Grafton han utilizado el programa en proyectos piloto con agricultores para reducir la carga de P y N en las fuentes de agua de la ciudad. Del mismo modo, la ciudad de Cedar Rapids y varias organizaciones académicas, de conservación, industriales, productoras y públicas han creado el Proyecto Middle Cedar Partnership para trabajar con los agricultores para implementar medidas destinadas a mejorar la salud de las tierras, la calidad y la cantidad de agua (incluida la reducción de inundaciones) y la salud de los suelos.

La agricultura sostenible se puede incentivar mediante una serie de medidas económicas, como la certificación, las reglamentaciones técnicas, la eliminación gradual de los subsidios perjudiciales y la promoción de la inversión en tecnología ecológica. Las normas técnicas pueden incluir normas sobre calidad y etiquetado comerciales, normas de seguridad alimentaria (por ejemplo, para residuos de plaguicidas) y medidas sanitarias y fitosanitarias. La certificación cubre las regulaciones que rigen los productos derivados de sistemas de producción específicos. La agricultura sostenible se puede promover mediante una inversión en los mercados para obtener productos derivados de sistemas de producción sostenibles, así como mercados de importación o de producción (por ejemplo, insumos) adaptados a la producción sostenible (UNEP, 2013).

Los sistemas de certificación voluntarios son un mecanismo de gobernanza que puede abordar los desafíos ambientales asociados con la agricultura (Recuadro 6). Se ha establecido una certificación voluntaria para una serie de productos básicos, incluyendo carne, café, aceite de palma y soja, principalmente en países tropicales. Los mecanismos de gobernanza adecuados para las diferentes cadenas de productos básicos están influenciados por varios factores, incluidas las geografías ambientales, de mercado y sociales. Por ejemplo, en Brasil la idoneidad de los diferentes mecanismos estaba determinada, entre otras cosas, por las prioridades de sostenibilidad, la orientación al mercado, la trazabilidad de la cadena de suministro y las redes sociales (Hajjar et al., 2019).

<sup>41</sup><https://dnr.wi.gov/topic/SurfaceWater/WaterQualityTrading.html>

#### RECUADRO 6 ETIQUETADO DE PUNTOS DE BIODIVERSIDAD PARA LOS CONSUMIDORES<sup>42</sup>

Otro posible incentivo basado en el mercado es el etiquetado de los productos, que puede influir en las decisiones de consumo al mejorar el acceso a la información. Un ejemplo es el proyecto suizo “Scoring High with Diversity” destinado a desarrollar opciones de gestión para una agricultura “amigable con la vida silvestre”. El proyecto, que se desarrolló de 2008 a 2016, utilizó un sistema de puntos de crédito para evaluar la biodiversidad en las explotaciones agrícolas. Los agricultores también recibieron directrices sobre cómo conservar y promover la biodiversidad en sus tierras. Se desarrolló un sencillo sistema de etiquetado para comunicar el mejor rendimiento de biodiversidad a los consumidores.

El proyecto contó con el apoyo de dos organizaciones suizas de agricultores interesadas en promover la biodiversidad en sus aproximadamente 26.000 explotaciones agrícolas. Un importante minorista suizo comercializó productos de granjas participantes con la etiqueta de sostenibilidad “IP-Suisse” (donde IP significa “producción integrada”).

Las inversiones en innovación ecológica pueden mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas de producción agrícola. Algunos gobiernos han puesto en marcha marcos de políticas nacionales para articular una variedad de incentivos para apoyar el cambio hacia prácticas agrícolas más sostenibles (Recuadro 7). Si bien se conocen muchas soluciones para la agricultura sostenible, las prácticas específicas deben seleccionarse y adaptarse localmente. La innovación no tiene por qué significar un replanteamiento radical de las prácticas agrícolas, sino que puede relacionarse con

nuevas formas de conciliar prácticas sostenibles con el conocimiento y los contextos sociales y ecológicos locales. Varios organismos internacionales de desarrollo han encontrado que “la intensificación de la producción sostenible requiere un cambio importante de un modelo de innovación impulsado por la oferta a sistemas agrícolas específicos del conocimiento y, a menudo, de la ubicación, que conserven y mejoren los recursos naturales” (UN-HLTF on Global Food Security, 2012).

---

<sup>42</sup><https://www.fibl.org/en/projectdatabase/projectitem/project/285.html>

# **RECUADRO 7 LA INICIATIVA “4%” Y EL PROYECTO AGROECOLÓGICO FRANCÉS: UN SÓLIDO SISTEMA VOLUNTARIO ASCENDENTE<sup>43</sup>**

El Gobierno francés está implementando un «proyecto agroecológico» que integra medidas y estrategias dedicadas a la ampliación de los enfoques agroecológicos, cumpliendo así con su compromiso con la iniciativa 4% (véase el Capítulo 4). En 2014, Francia se comprometió firmemente a una transición hacia una agricultura más sostenible. El objetivo es garantizar que la producción agrícola y ganadera sea eficiente desde un punto de vista ambiental, económico y social, sin dejar de ser segura. Para ayudar a alcanzar este objetivo, la agroecología ha sido reconocida en la ley<sup>44</sup>.

Las acciones relacionadas con el proyecto agroecológico incluyen, entre otras, el “Plan de Acción Agroforestal”, el “Plan Proteínas Vegetales” para fomentar el desarrollo de variedades de granos y leguminosas forrajeras, el “Plan de Autonomía de Energía de Metano y Nitrógeno” que fomenta el retorno de materia orgánica al suelo, y el plan de agricultura orgánica “Ambition Bio”.

El proyecto también incluye una dimensión local y social, con el desarrollo de más de 500 grupos de agricultores, de los cuales el 38% tiene como objetivo principal la restauración de la salud de los suelos. La experiencia adquirida se difunde ampliamente a través de videos. El proyecto también tiene un importante componente educativo, que ha cambiado los programas educativos para incluir la agroecología y hacer hincapié en la gestión de la salud de los suelos.

El Instituto Nacional francés de Investigación Agrícola y Ambiental ha publicado recientemente un estudio sobre el potencial de secuestro de C en los suelos del país, que tiene como objetivo evaluar el potencial y el costo de su implementación por subregión en referencia al objetivo de 4%<sup>45</sup>.

Los gobiernos pueden tomar medidas para promover la agricultura sostenible reformando los subsidios que actualmente apoyan prácticas insostenibles. Como se informó en el Capítulo 2, el apoyo anual neto a la agricultura entre 2017 y 2019 superó los 619 mil millones de USD en todo el mundo, y representó aproximadamente el 17% de los ingresos brutos de las explotaciones agrícolas en los países de la OCDE (OECD, 2020). Si bien algunos países han reformado las políticas para desacoplar las transferencias de ingresos a los agricultores, en general, el apoyo a los precios sigue siendo la forma

más importante de apoyo en muchas economías emergentes y países de la OCDE. El apoyo a los precios se proporciona a través de aranceles y otras medidas aduaneras, así como mediante intervenciones gubernamentales en el mercado interno. Un entorno propicio para la agricultura ecológica incluye la reforma de las subvenciones agrícolas, que pueden ser un desincentivo importante para la innovación cuando introducen distorsiones en el mercado, como la reducción de costes de los insumos (UNEP, 2013).

<sup>43</sup> Para más información: [https://www.moag.gov.il/yhidotmisrad/research\\_economy\\_strategy/publication/2018/Documents/3\\_Schwartz\\_20170620\\_projet\\_agro\\_%C3%A9cologique\\_Isra%C3%ABlv3.pdf](https://www.moag.gov.il/yhidotmisrad/research_economy_strategy/publication/2018/Documents/3_Schwartz_20170620_projet_agro_%C3%A9cologique_Isra%C3%ABlv3.pdf)

<sup>44</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029573022&categorieLien=id>

<sup>45</sup> <http://institut.inra.fr/en/Objectives/Informing-public-policy/Advanced-Studies/All-the-news/Storing-4-per-1000-carbon-in-soils-the-potential-in-France>



Recientemente, la Alianza Mundial para la Mejora de la Nutrición (GAIN) propuso subsidios innovadores, que piden a los gobiernos que proporcionen incentivos para que las empresas reparen el sistema alimentario mundial (Haddad, 2018). Aunque el llamado de GAIN se centraba en alimentos saludables y nutritivos, los mismos principios se aplican a la producción de alimentos que impactan positivamente la salud de las tierras. Sin embargo, unos mecanismos pueden ser

necesarios para garantizar que los incentivos para las empresas realmente “lleguen” hasta los agricultores, que están a la vanguardia en la restauración y conservación de la salud de los suelos. Algunas empresas agroindustriales están aumentando sus inversiones en países en desarrollo para asegurar sus cadenas de suministro, mejorar los medios de subsistencia de los agricultores e incentivar prácticas más sostenibles (Recuadro 8).

#### RECUADRO 8 MEJORAR LOS MEDIOS DE VIDA Y LAS EMPRESAS SOSTENIBLES<sup>46</sup>

La producción agrícola y el abastecimiento son operaciones centrales para Olam, una empresa con sede en Singapur que maneja 45 productos agrícolas. El objetivo de Olam de invertir en la calidad de los suelos es clave para mejorar simultáneamente la eficiencia del uso del agua, mejorar la productividad de los cultivos, los ingresos de los agricultores, los medios de subsistencia, el volumen comercial y la calidad. Un ejemplo es el Programa de Caña de Azúcar Sostenible de Olam en Madhya Pradesh y Maharashtra, India, que se está implementando desde 2013 con el apoyo de IFC, la Fundación Unilever Hindustan, Solidaridad y New Holland. En su primera fase (2013-2016), el programa llegó a 21.500 pequeños agricultores, que cultivaban 20.500 hectáreas de caña de azúcar. La segunda fase (2017-2020) está llegando a 26.500 cultivadores que gestionan 27.000 ha. Los agricultores reciben formación sobre prácticas para mejorar la salud de los suelos, incluido el uso de insumos orgánicos y fertilizantes. Mientras que la salud del suelo se considera fundamental para mejorar la productividad, también se forman los agricultores a variedades de cultivos adaptadas, nuevos espaciamientos entre hileras de cultivo, tecnologías de cultivo complementarias y tecnologías mejoradas de riego y conservación del agua (como el mulching de los cultivos). Gracias al programa, el uso de insumos orgánicos se duplicó con creces, y los rendimientos de los cultivos aumentaron en más de un tercio. El volumen total de caña de azúcar triturada aumentó un 25% durante los primeros tres años.

Olam adopta cada vez más herramientas digitales para rastrear y adaptar las prácticas y el progreso de los agricultores en numerosos cultivos. Los datos generados revelan que el primer 50% de la comunidad de agricultores suministra menos del 15-20% del volumen comercial, principalmente debido al tamaño de las explotaciones.

Desafortunadamente, muchos agricultores de este primer grupo tienen recursos o tiempo muy limitados para invertir en la salud de los suelos. Sus pequeñas parcelas y bajos rendimientos hacen que los créditos en efectivo sean arriesgados. Las herramientas de apoyo a las explotaciones de Olam se centran en mejoras escalonadas, dentro de las limitaciones de los agricultores, pero a menudo se requieren asociaciones (públicas) para apoyar este segmento inferior para generar ingresos adicionales fuera de las explotaciones, apoyando el desarrollo de actividades económicas no agrícolas.

<sup>46</sup> <https://www.olamgroup.com/sustainability/olam-livelihood-charter.html>

Los sistemas bilaterales de «pagos por resultados» son acuerdos de financiación en forma de subvenciones entre países, en los que un país donante paga a otro país por un resultado ambiental específico, como la reducción de la deforestación en comparación con una línea de base histórica (Wong et al., 2016). Por ejemplo, en 2008, Noruega acordó pagar hasta mil millones de USD durante un período de cinco años a Brasil a cambio de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero por deforestación por debajo de un nivel acordado (Birdsall et al., 2014). Esos planes también podrían utilizarse para generar ingresos en apoyo de mejoras en otros aspectos de la gestión de las tierras, incluidos los esfuerzos para mejorar la salud de los suelos.

### 6.3.1 Evaluación del rendimiento de los sistemas de uso sostenible de las tierras

#### 6.3.1.1 Métricas

Los objetivos basados en la ciencia y las métricas de rendimiento asociadas también pueden actuar como incentivos, especialmente para aquellos actores del sistema alimentario que pueden lograr un impacto a gran escala, como las empresas, los inversores y los gobiernos. Diversas iniciativas podrían contribuir a desarrollar esos parámetros, incluido el programa de Neutralidad de Degradación de las Tierras (NDT) establecido por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, 2015). El programa ha desarrollado tres sub-indicadores utilizados para evaluar la degradación y la restauración de las tierras: 1) tendencias en la cobertura de la tierra; 2) tendencias en la productividad o el funcionamiento de la tierra; y 3) tendencias en las reservas de C por encima y por debajo del suelo. Otra base para el desarrollo de indicadores podría ser el marco de las “3C” (Locke et al., 2019). El marco propone líneas de base para una serie de variables de biodiversidad y sostenibilidad, incluidas las reservas de carbono por encima y por debajo del suelo en tres “condiciones” de uso de la tierra (ciudades y granjas, tierras compartidas, grandes áreas silvestres), para guiar la definición de respuestas de conservación y prácticas de producción. Otros enfoques que podrían sustentar el desarrollo de

métricas relevantes incluyen la estrategia “Half-Earth” (Media Tierra) adoptada por el Informe EAT-Lancet (Willett et al., 2019), según la cual el 50% de todas las ecorregiones del mundo deberían gestionarse de manera a apoyar la conservación de la biodiversidad para 2050. Las métricas también podrían aprovechar herramientas establecidas como la Lista Roja de Ecosistemas de la UICN (Alaniz et al., 2019, Bland et al., 2019).

#### 6.3.1.2 Recomendaciones y directrices voluntarias

En los últimos años se han publicado varias recomendaciones internacionales y directrices voluntarias relacionadas con la GST. Proporcionan referencias y normas que garantizan el respeto de los derechos socioeconómicos (como las directrices voluntarias del CSA sobre el derecho a la alimentación, sobre gobernanza responsable de la tenencia de la tierra y sobre inversiones responsables) y refuerzan el valor de la salud de los suelos (por ejemplo, el informe sobre la Situación de los Recursos Mundiales del Suelo, las Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de los Suelos, el Código Internacional de Conducta para el Uso y la Gestión Sostenibles de Fertilizantes, y las directrices para la re-carbonización de los suelos mundiales) (FAO, 2017, 2019b, 2019a).

#### 6.3.1.3 Proyecciones y trayectorias

El Consorcio FABLE, una red de conocimiento compuesta por equipos de investigación de 18 países, que opera como parte de FOLU, ha propuesto “vías nacionales integradas hacia el uso sostenible de la tierra y los sistemas alimentarios que sean consistentes con los objetivos globales” para 18 países y siete regiones adicionales (FABLE, 2019). El informe está alineado con otras metas establecidas, como la Estrategia Media Tierra y la Vía de de-carbonización rápida resultante del Acuerdo de París de 2015 (Rockström, Gaffney, et al., 2017), así como con las metas de Aichi para la biodiversidad. Propone una serie de metas a cumplir para 2050, susceptibles de fomentar un cambio hacia la restauración de la salud de las

tierras. Estas incluyen hacer que las emisiones de GEI de los cultivos y el ganado, junto con el abandono de tierras, los cambios en el uso de las tierras y la silvicultura, sean compatibles con el objetivo de mantener el aumento de las temperaturas mundiales promedias muy por debajo de 1,5°C. Las propuestas también incluyen garantizar que una parte mínima de las tierras del planeta sustenta la biodiversidad y se incluya en áreas protegidas.

La iniciativa FABLE es una ilustración del enfoque de vías a largo plazo que será necesario para las políticas de transición a escala nacional. Desafortunadamente, estos enfoques a menudo no incluyen evaluaciones de la biodiversidad y las prácticas agrícolas, que son clave para abordar el desafío de la salud de los suelos y la preservación de la biodiversidad en los paisajes agrícolas.

## 6.4 Reducir el riesgo vinculado con la transición

Los agricultores se enfrentan a una amplia gama de riesgos, y toman decisiones cotidianas con poca certeza sobre su resultado. El cambio de prácticas establecidas en la agricultura convencional a prácticas agrícolas alternativas sostenibles puede aumentar la incertidumbre y la exposición a nuevos riesgos. Los agricultores interesados en realizar la transición pueden ser reacios a exponerse a tales riesgos. Mejorar la comprensión de los riesgos involucrados, distinguir los riesgos reales y percibidos, y establecer mecanismos para absorberlos o compensarlos pueden ser formas útiles de catalizar la adopción de prácticas sostenibles. Una forma tradicional de eliminar el riesgo es tan antigua como la agricultura misma, se refleja en el proverbio “poner todos sus huevos en una sola canasta”, y consiste en diversificar la producción de una explotación, incluidos los cultivos, los animales y los productos no alimentarios. La biodiversidad agrícola es ampliamente considerada como la columna vertebral de una intensificación agrícola sostenible, un recurso rico para dietas saludables y diversas durante todo el año al proporcionar especies y variedades ricas en nutrientes.

Esto hace que los hogares que tienden a un conjunto diverso de cultivos y animales sean menos propensos a la pobreza que los hogares especializados en cuanto a su producción de cultivos (Bioversity International, 2017).

Las políticas agrícolas también están proporcionando cada vez más herramientas de eliminación de riesgos para ayudar a los agricultores a adoptar prácticas respetuosas con el medio ambiente. Por ejemplo, las medidas agroambientales son un elemento clave que integra las preocupaciones medioambientales en la política agrícola común (PAC) de la UE. Están diseñadas para alentar a los agricultores a proteger y mejorar el medio ambiente en sus tierras agrícolas, pagándoles por su prestación de servicios ambientales. Los agricultores se comprometen, durante un período mínimo de al menos cinco años, a adoptar técnicas agrícolas respetuosas con el medio ambiente que vayan más allá de sus obligaciones legales. A cambio, los agricultores reciben pagos que compensan los costes adicionales y los ingresos perdidos resultantes de la aplicación de esas prácticas agrícolas de acuerdo con las estipulaciones de los contratos agroambientales.

Los seguros son otro medio poderoso para eliminar el riesgo de cualquier transición. Los seguros para agricultores pueden reforzar la resiliencia de los pequeños agricultores. No sólo proporcionan un pago en los años malos para ayudar a los agricultores a sobrevivir y proteger sus activos, sino que también ayudan a desbloquear oportunidades que aumenten la productividad en los años no pagados, lo que puede permitirles evitar o escapar de las trampas de la pobreza (Greatrex et al., 2015).

Los mecanismos de seguro, ya sean de gestión privada o pública (como las redes de seguridad que existen en Etiopía), son una forma establecida y cada vez más popular de eliminar los riesgos vinculados a las actividades de los agricultores y a la transición hacia prácticas más resilientes y sostenibles. La mayoría de las veces, se combinan con innovación tecnológica,

como alertar a los agricultores de eventos meteorológicos y de las tendencias del mercado a través de teléfonos móviles. Esto ha sido ampliamente documentado por el Programa Desafío del CGIAR sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria<sup>47</sup>, sin limitarse a los cultivos. También se han desarrollado mecanismos de seguro de ganado basados en índices, especialmente en África<sup>48</sup>.

El seguro climático es ampliamente utilizado en algunos países industrializados, pero menos extendido en los países en desarrollo, a menudo debido a su costo. Unos seguros basados en índices han sido probados, en los que la aseguradora paga al asegurado cuando factores externos superan ciertos umbrales, como lluvias inusualmente bajas o altas temperaturas. Los seguros basados en índices pueden proporcionar una opción de seguro de menor costo para los pequeños agricultores.

#### RECUADRO 9 SEGURO FEDERAL DE COSECHA EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Los programas federales de seguros de cosecha en los Estados Unidos son asociaciones público-privadas entre el gobierno federal y unas compañías privadas de reaseguros, y son administrados por la Agencia de Gestión de Riesgos del USDA. Muchos programas de seguro de cosecha se basan en un historial de producción y la protección de ingresos para los agricultores. Recientemente, los programas de seguro de cosecha han eliminado los obstáculos a la siembra de cultivos de cobertura, incluso en situaciones de “plantación impedida” (cuando los agricultores no pueden plantar un cultivo asegurado en una fecha estipulada)<sup>49</sup>. Se están realizando nuevos esfuerzos para incluir e incentivar prácticas adicionales de mejora de la salud de las tierras en los programas de seguros, como la siembra directa, la aplicación de estiércol de precisión, los cultivos de cobertura, la genética avanzada de cultivos, entre otros. La Coalición de Riesgos Económicos y Ambientales AGree aboga por programas federales de gestión de riesgos que alienten a los agricultores a implementar prácticas que reduzcan su riesgo a largo plazo mientras mejoran la salud de los suelos y la calidad del agua<sup>50</sup>. A nivel estatal, el Departamento de Agricultura y Administración de Tierras de Iowa inició un “Proyecto de demostración de seguro de cultivos de cobertura”<sup>51</sup> de tres años en 2019. El proyecto ofrece una reducción de las primas de seguro para los agricultores que plantan un cultivo de cobertura en invierno, en complemento de un cultivo comercial de primavera.

<sup>47</sup> <https://ccafs.cgiar.org/publications/10-best-bet-innovations-adaptation-agriculture-supplement-unfccc-nap-technical>

<sup>48</sup> <https://ibli.ilri.org/>

<sup>49</sup> [https://www.hpi.com/crops/using-cover-crops-for-prevented-planting/article\\_20eac51b-e961-58b9-812f-8bac0fa4a5d1.html](https://www.hpi.com/crops/using-cover-crops-for-prevented-planting/article_20eac51b-e961-58b9-812f-8bac0fa4a5d1.html)

<sup>50</sup> <https://foodandagpolicy.org/>

<sup>51</sup> <https://static1.squarespace.com/static/586bfd13be65947270902ac5/t/5b97d07f4d7a9ca99dcdca50/1536675980924/Cover+Crop+Demo+Brochure+2018.pdf>

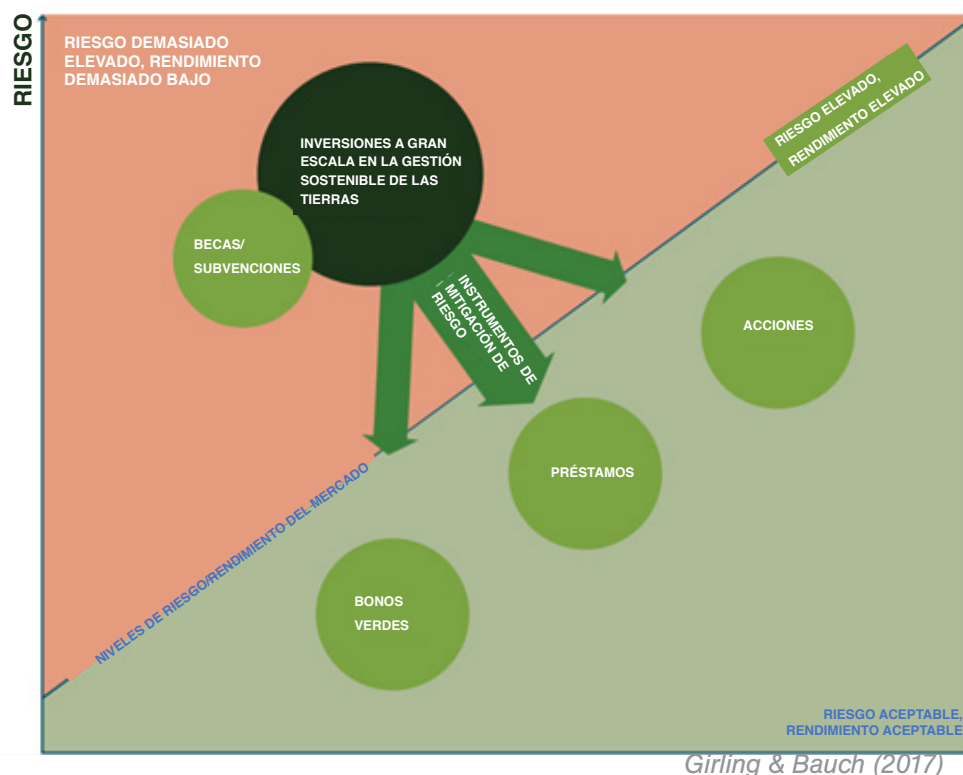


Se ha desarrollado una gran variedad de otros instrumentos financieros para compensar el riesgo, y algunos de ellos se están adaptando para ser usados en el sector agrícola, específicamente para promover la agricultura sostenible. Se pueden combinar varios instrumentos financieros para lograr el perfil de rentabilidad/riesgo necesario para atraer inversores privados. Los ejemplos incluyen (Girling & Bauch, 2017):

- Ajustar las condiciones de los préstamos para crear incentivos para que los agricultores cambien a métodos más sostenibles;
- Instrumentos que fomentan las inversiones en nuevas áreas modificando el perfil de riesgo, como los instrumentos de primera pérdida y las garantías crediticias;
- Acuerdos iniciales u otros mecanismos que puedan permitir a los comerciantes de productos básicos garantizar una producción más sostenible;
- Utilizar el financiamiento de subvenciones para establecer las condiciones para futuras inversiones;

- Inversión de capital para ayudar a los esquemas agrícolas sostenibles a despegar;
- “Bonos verdes” para liberar grandes cantidades de dinero para un uso sostenible de las tierras.

Muchos de estos instrumentos ya se utilizan en la agricultura convencional, aunque su aplicación a la agricultura sostenible esté menos extendida. Existen costes y riesgos reales y percibidos asociados a la agricultura sostenible, que pueden hacerla menos atractiva que los enfoques convencionales. Además, los mercados de capitales están subdesarrollados en muchos de los países con gran potencial para adoptar una agricultura sostenible. Por lo tanto, el dinero público, incluida la asistencia al desarrollo, y los instrumentos de mitigación de riesgos pueden ser cruciales para catalizar la inversión, al sufragar algunos de los costos o riesgos (Figura 18).



**Figura 20** Uso de instrumentos de mitigación de riesgos para liberar más inversiones de capital

Los instrumentos de mitigación de riesgos pueden incluir garantías de crédito o seguros, como se discutió anteriormente, o acuerdos de retiro que brindan a los agricultores más seguridad para acceder al crédito. Otros instrumentos pueden incluir acuerdos de préstamo adaptados o simplemente ampliar el acceso al crédito a poblaciones remotas: sólo el 4,7% de los adultos de las zonas rurales de los países en desarrollo tienen un préstamo con una institución financiera formal. Los préstamos pueden ser subvencionados y unas garantías de crédito parciales pueden reducir el riesgo para los inversores. Algunos inversores de impacto, que tienen como objetivo generar beneficios

sociales o ambientales junto con un rendimiento financiero, así como los bancos de desarrollo y los gobiernos, pueden aceptar rendimientos inferiores a la tasa de mercado para apoyar resultados ambientales o sociales. Estos inversores pueden asumir el riesgo de “primera pérdida”, cambiando el perfil de riesgo-rendimiento para otros inversores (Girling and Bauch, 2017). Los inversores también pueden asumir riesgos a través de proyectos con múltiples objetivos económicos, sociales y ambientales (véase el Recuadro 10).

#### RECUADRO 10 FONDOS MEDIOS DE SUBSISTENCIA EN KENIA<sup>52</sup>

Los Fondos Medios de Subsistencia son fondos de inversión de impacto respaldados por importantes empresas privadas, como Danone y Mars, que buscan transformar sus cadenas de suministro y compensar sus emisiones de carbono apoyando prácticas agrícolas sostenibles y restaurando los ecosistemas. En la región del Monte Elgon de Kenia, uno de los fondos ha invertido en un proyecto de 10 años beneficiando a 30.000 pequeñas explotaciones. Este Fondo Medios de Subsistencia, operado por una empresa social con sede en París, se ha asociado con Vi Agroforestry, una ONG con un historial de implementación de prácticas agroforestales en África oriental, y Brookside, una empresa líder en productos lácteos de Kenia

El objetivo principal del proyecto es ayudar a los agricultores a aumentar sus ingresos y productividad a través de la restauración de los suelos, una mejora de la biodiversidad, la gestión de los recursos hídricos y una combinación de alimentos y cultivos comerciales. Un objetivo clave es aumentar 30 veces la producción de leche en la zona, en asociación con 15 cooperativas locales. El proyecto también tiene un enfoque en el empoderamiento de género.

El Fondo asume un riesgo al proporcionar subvenciones iniciales a la ONG que administra la implementación. El Fondo genera créditos de carbono a partir del C secuestrado en los suelos y los árboles, así como de las emisiones de metano evitadas de las vacas, a consecuencia de la mejora de las prácticas agrícolas. Brookside se beneficia del aumento de los volúmenes de leche, de la reducción de la estacionalidad del suministro (gracias a una mejor gestión del agua) y de unos costos de recolección más bajos. La empresa se ha comprometido a comprar leche a los agricultores participantes y apoya a las cooperativas. Contribuye financieramente a través de pagos basados en resultados para el Fondo. Vi Agroforestry ha implementado un sistema de monitoreo para seguir los resultados del proyecto.

<sup>52</sup><http://www.livelihoods.eu/projects/mount-elgon-kenya/>

## 6.5 Conclusión del capítulo 6

Una transición exitosa hacia una agricultura sostenible, productiva y resiliente es uno de los principales desafíos de nuestro tiempo. El concepto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) abre la puerta a un nuevo enfoque para equilibrar los objetivos de desarrollo ambiental y agrícola. Aprovechar las SbN puede ayudarnos a alcanzar múltiples objetivos mundiales, incluidos los relacionados con la seguridad alimentaria, el cambio climático y la biodiversidad, y merece ser considerado como una de las principales prioridades políticas en la agenda internacional.

En la última década, muchas iniciativas se han puesto en marcha e implementado con éxito, utilizando una variedad de incentivos públicos y privados y herramientas de eliminación de riesgos. Estas iniciativas muestran que las prácticas agrícolas sostenibles y los enfoques de gestión de los paisajes pueden adoptarse a gran escala, si existe una voluntad política y una financiación adecuada. También muestran el enorme potencial para redirigir los subsidios internacionales y las inversiones privadas de la agricultura convencional a una agricultura más sostenible. La creciente demanda social y de los consumidores para sistemas alimentarios saludables y sostenibles, y el desarrollo de los mercados locales y regionales acelerarán cada vez más este cambio.





# Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones



Este informe muestra que la restauración y protección de la biodiversidad de los suelos y los paisajes constituye un interés común entre los sectores de la conservación y la agricultura. Demuestra por qué la búsqueda de un sistema de agricultura-alimentación más sostenible debería dar mayor prioridad a la salud de las tierras. Los principales responsables de la toma de decisiones y actores económicos ignoran en gran medida la naturaleza ecológica y viva de los suelos, desperdiciando muchos de los valores y beneficios asociados para la sociedad. Los agricultores, en particular, necesitan restaurar y proteger este capital vital para obtener una rentabilidad a largo plazo, así como para el beneficio más amplio de la sociedad.

El sector agrícola debería tener un impacto neto positivo en los indicadores clave de biodiversidad para 2030, incluyendo la estabilización de la superficie total de tierras agrícolas, el aumento de la biodiversidad en los paisajes agrícolas y la reducción de la contaminación y las emisiones de GEI. Para lograr este objetivo, es necesario evitar la degradación y promover la salud de las tierras, lo que a su vez puede ser un catalizador eficaz para unos avances más generalizados hacia la sostenibilidad.

De acuerdo con la meta y los indicadores de NDT, un primer paso hacia la reconstrucción y restauración del capital del suelo es detener la degradación de las tierras. Existe una gran cantidad de opciones disponibles para los administradores de tierras en la búsqueda de este objetivo, pero no siempre se conocen las soluciones apropiadas a cada contexto y muchos obstáculos aún impiden el progreso. La salud de las tierras debe ser reconocida como una condición previa para una producción agrícola resiliente, e incentivada para desencadenar el cambio y el impacto deseados a gran escala.

Lograr la sostenibilidad en el sistema agroalimentario mundial es una tarea desalentadora, pero que recibe un apoyo popular cada vez más importante. El historial de logros del sector agrícola en sus objetivos es impresionante, y el sector tiene los recursos para

realizar los ambiciosos cambios requeridos. Lo que se requiere urgentemente es un cambio, o una expansión, de los objetivos fundamentales del sector. Mientras la agricultura dependa de la tierra, debe tratarla como un recurso finito y no renovable, acabando con la sobreexplotación y protegiendo los procesos ecológicos que sustentan la producción.

El desafío para el sector agroalimentario es lograr la sostenibilidad ante el rápido crecimiento de la demanda y los crecientes riesgos asociados con el cambio climático. Estos desafíos no deben utilizarse como excusa para mantener el statu quo, sino que deben entenderse como una justificación adicional para proteger, restaurar y mejorar el capital natural de la agricultura. Cuando los agricultores mejoran la salud de la tierra, contribuyen a prestar servicios a la sociedad y, al mismo tiempo, fortalecen la resiliencia general de la producción de alimentos y las economías rurales. Esto debe mantenerse y fomentarse con marcos de políticas, sistemas de gobernanza e incentivos económicos adecuados.

Restaurar la salud de las tierras es un elemento de los cambios más generales necesarios en el sistema alimentario. También son esenciales los esfuerzos para mejorar el acceso equitativo a los recursos naturales (especialmente la tierra y el agua) y a los alimentos, reducir las dietas poco saludables y mitigar la pérdida y el desperdicio de alimentos. Esto requerirá una coordinación sin precedentes entre muchos actores diferentes en las cadenas de suministro de alimentos y más allá, guiada por un liderazgo político audaz.

El aumento de la producción agrícola sigue teniendo prioridad, especialmente en países que aun se enfrentan a la desnutrición o cuyas economías dependen en gran medida del sector agrícola. Sin embargo, también existe una creciente demanda mundial para sistemas de producción más sostenibles y dietas saludables. A medida que esta visión gana fuerza, crea nuevas vías para avanzar hacia un sistema agrícola futuro basado en la gestión sostenible de las tierras y otros recursos.

La magnitud del desafío es enorme, pero el costo de la gestión sostenible de los paisajes agrícolas puede ser compensado. La CLD estima que para revertir la degradación de las tierras a nivel mundial se requiere una inversión de al menos 2 mil millones de USD anuales. Esta cifra es trivial en comparación con los más de 619 mil millones de USD de subsidios públicos y billones de dólares de inversiones privadas que fluyen hacia la agricultura anualmente, y existe un gran margen de maniobra para reorientar los flujos financieros hacia los resultados de sostenibilidad deseados.

Esta reorientación supone que los países puedan anticipar y supervisar la variedad de impactos socioeconómicos y ambientales de ese cambio. Los ingresos y el empleo, la seguridad alimentaria e hídrica, y las cuestiones de equidad, acceso y control requieren especial atención. Los países también deben conciliar los usos competitivos de la tierra en la agricultura, incluida la producción de biocombustibles y biomateriales, así como la competencia de otros sectores, incluidos los asentamientos humanos, las infraestructuras y la industria.

Las pruebas presentadas en este informe respaldan las siguientes recomendaciones generales. Estas prioridades de acción urgente ya están generando apoyo de los gobiernos, así como de actores privados del sector agrícola, entre ellos los agricultores. Ya existen muchos factores críticos para apoyar el cambio en la escala necesaria para alcanzar los objetivos de 2030. La próxima década ofrece una oportunidad única para orientar la agricultura hacia un conjunto de objetivos más ambiciosos, que equilibren las necesidades de la sociedad en materia de alimentación y naturaleza.

## 7.1 La agricultura como una solución basada en la naturaleza

### Priorizar la biodiversidad de los suelos y los paisajes para la alimentación y la naturaleza

Mejorar, proteger y restaurar la biodiversidad es fundamental para la salud de las tierras y, por lo tanto, debe ser un objetivo clave para el sector agrícola en su

búsqueda para contribuir a acabar con el hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición, y promover la sostenibilidad (en consonancia con el [ODS 2](#)) sin expandir la superficie total de tierras agrícolas. Para lograrlo, los gobiernos deben promover la salud de las tierras como un enfoque explícito de las políticas agrícolas y monitorear la biodiversidad de los suelos y los paisajes como indicadores de la salud de las tierras. Las políticas públicas deben orientar las inversiones públicas y privadas hacia SbN a los desafíos de seguridad alimentaria, cambio climático y biodiversidad. Esto requerirá el establecimiento de sistemas de seguimiento y notificación para evaluar la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos en los paisajes agrícolas, y de instituciones públicas nuevas o adaptadas para garantizar el cumplimiento e incentivar la acción.

Un mayor conocimiento de la agro-biodiversidad de los suelos y los paisajes, sus valores y su restauración y conservación apoyará el objetivo político de promover la salud de las tierras. Una frontera importante para la ciencia es el papel de la biodiversidad, a nivel de los ecosistemas, las especies y a nivel genético, en la prestación de servicios ecosistémicos. Este conocimiento guiará el desarrollo de métricas para servicios ecosistémicos clave, y buenas prácticas para la gestión agrícola y de los paisajes. Se necesitan mayores esfuerzos para combinar los resultados económicos y medioambientales, salvaguardando al mismo tiempo la salud y el bienestar humanos y animales. Estas prácticas de gestión agrícola y paisajística deberían ayudar a restaurar la salud de las tierras en sistemas altamente productivos y aumentar de manera sostenible la productividad en sistemas de baja productividad, de una manera que promueva una mayor resiliencia a las crisis climáticas, económicas y sanitarias.

## 7.2 Agricultura sostenible

### Principales enfoques agroecológicos para la gestión sostenible de los paisajes agrícolas

Los enfoques agroecológicos deben incorporarse en todas las políticas, instrumentos e instituciones pertinentes para desarrollar conocimientos, capacidades y servicios, y movilizar a las comunidades y organizaciones de agricultores. Se debe hacer hincapié en la creación de condiciones que permitan a los agricultores lograr la sostenibilidad, tanto a nivel de las explotaciones como de los paisajes, incluidas medidas que reduzcan los riesgos de transición.

Se necesita un conocimiento más profundo sobre los obstáculos conductuales, organizativos, sociales, políticos, financieros y económicos a la adopción. Los esfuerzos deben basarse en conocimientos científicos y autóctonos para ayudar a identificar innovaciones que faciliten la adopción. Los escenarios a largo plazo de adopción de enfoques agroecológicos y prestación de servicios ecosistémicos ayudarán a evaluar los beneficios y los posibles compromisos para la sociedad, y proporcionarán vías deseables para los responsables políticos. Los actores de la agricultura y la conservación deberían buscar un consenso sobre indicadores de sostenibilidad, y los agricultores deberían recibir apoyo para mejorar su desempeño frente a esos indicadores, desarrollando enfoques agroecológicos científicamente establecidos.

## 7.3 Evaluación y seguimiento de la sostenibilidad

### Establecer metas e indicadores a nivel nacional y mundial para la agricultura sostenible

Se puede fomentar la adopción de prácticas, inversiones y políticas agrícolas sostenibles estableciendo y acordando metas claras para métricas específicas de sostenibilidad. El establecimiento de metas mejoradas permitirá monitorear los progresos en la lucha contra la degradación de las tierras, el cambio climático y la pérdida de biodiversidad, al tiempo que salvaguarda los ingresos, el empleo, la reducción de la

pobreza y la resiliencia de los medios de subsistencia, especialmente para los más necesitados, en particular los jóvenes y las mujeres.

El sector agrícola debería tener un impacto neto positivo en los indicadores clave de biodiversidad para 2030, en particular en relación con la estabilización de la superficie total de tierras agrícolas, el aumento de la biodiversidad en los paisajes agrícolas y la reducción de la contaminación y las emisiones de gases de efecto invernadero. Este impacto neto positivo contribuirá a la rehabilitación de las tierras, a una mejor mitigación y adaptación al cambio climático, y a la restauración de la biodiversidad. Los gobiernos deben promover la salud de las tierras como una forma de alcanzar este objetivo y lograr la sostenibilidad en el sistema alimentario en general.

## 7.4 Servicios de los agroecosistemas

### Recompensar los servicios ecosistémicos para incentivar la agricultura sostenible

La transición mundial hacia una agricultura sostenible requiere dejar de pensar en la agricultura en términos de “alimentos, fibras y combustible” (y otros productos), para pensar en términos de “producción, agua, clima y naturaleza” (y otros servicios). Los co-beneficios de la agricultura sostenible tienen un valor considerable, y las políticas deben alinearse para recompensar este valor, para reequilibrar la producción agrícola con la oferta de otros servicios. Los responsables políticos deben movilizar toda la gama de reglamentos, incentivos y herramientas de eliminación de riesgos que puedan facilitar la adopción generalizada y sostenida de enfoques agroecológicos a nivel agrícola y paisajístico.

Se necesitan esfuerzos urgentes para fomentar la concienciación y las capacidades en materia de servicios ecosistémicos y capital natural entre los agricultores y los actores económicos, y para aumentar el conocimiento de los sistemas de medición y recompensa, comenzando con una evaluación más profunda de los éxitos y fracasos actuales. Es necesario diseñar y probar incentivos y medidas de eliminación de riesgos innovadores, lo que requiere

marcos políticos coherentes e innovadores. El aumento de la participación del sector privado puede contribuir a mejorar la innovación y desarrollar oportunidades, incluso mediante asociaciones público-privadas y financiación combinada.

## 7.5 Sistemas alimentarios sostenibles

### **Promover el cambio en todo el sistema alimentario mundial para mejorar la sostenibilidad**

Lograr sistemas alimentarios sostenibles requiere un esfuerzo de todos los actores para alinear los objetivos de biodiversidad, alimentación, degradación de las tierras y cambio climático. La salud de los suelos y las tierras, aunque no responda a todos los desafíos relacionados con la biodiversidad y la agricultura, desempeña un papel fundamental en la transición y debe ser una prioridad principal para los agricultores y otros actores del sistema alimentario. Los países pueden establecer una gobernanza de múltiples actores a todas las escalas, y garantizar que las inversiones públicas y privadas cumplan con las directrices voluntarias internacionales existentes. También pueden ampliar las salvaguardias ambientales y sociales. Las subvenciones y los flujos financieros privados deberían reorientarse de la agricultura convencional a una agricultura más sostenible, prestando mayor atención a alentar a los actores del paisaje y de la cadena de suministro a proteger los suelos saludables y recompensar las prácticas agrícolas sostenibles, al tiempo que eliminan los factores que bloquean la transición (como subsidios a insumos, especialización de los sistemas, cadenas de suministro estandarizadas y asimetrías de poder). Debería prestarse mayor atención a la convergencia de las

políticas y a la promoción de políticas internacionales y nacionales que vinculen la salud de las tierras con dietas sostenibles y saludables, incluso a nivel de foros internacionales que trabajan en temas de biodiversidad, degradación de las tierras, cambio climático y seguridad alimentaria.

Los flujos financieros mundiales deben redirigirse hacia cadenas de valor sostenibles y paisajes saludables. La ciencia puede ayudar a desarrollar indicadores y estándares que puedan guiar esas inversiones hacia prácticas, productos y procesos más sostenibles a lo largo de la cadena de suministro de alimentos. Los incentivos públicos y privados pueden permitir la adopción de prácticas agrícolas y de gestión de los paisajes sostenibles a gran escala, y ayudar a los agricultores a superar los obstáculos al cambio. Los sectores público y privado deben adaptar los sistemas, el asesoramiento y los servicios de extensión, incluidos los servicios financieros, para proporcionar a los agricultores el apoyo técnico y los conocimientos necesarios. Las empresas privadas pueden adaptar el desarrollo de nuevos productos y mercados de alimentos y biomasa para fomentar prácticas agrícolas sostenibles. En los países en desarrollo, donde los gobiernos y el sector privado a veces no proporcionan el apoyo necesario, se debe prestar atención a garantizar la tenencia y el acceso a los recursos naturales, la creación de mercados funcionales y la micro-financiación para los pequeños agricultores.



## 7.6 Punto de encuentro

### **Encontrar un consenso sobre la gerencia ambiental en el sector agrícola**

El sector agrícola debería tener un impacto neto positivo en los indicadores clave de biodiversidad para 2030, incluyendo la estabilización de la superficie total de tierras agrícolas, el aumento de la biodiversidad en los paisajes agrícolas y la reducción de la contaminación y las emisiones de GEI. Los gobiernos deben promover la salud de las tierras como una forma de alcanzar este objetivo y lograr la sostenibilidad en el sistema alimentario en general. Los actores de la conservación deben promover la gestión sostenible de las explotaciones agrícolas y de los paisajes como contribuciones a las OECM y, por lo tanto, a un importante aumento de la cobertura mundial de áreas protegidas. Debe reconocerse el papel de los paisajes culturales y productivos en las CDN, las EPANB y las metas de NDT.

Estos objetivos políticos se beneficiarán de una mejor demostración de los impactos micro y macroeconómicos de la adopción de enfoques agroecológicos en el desarrollo rural, incluidos los ingresos y la creación de empleo. Los actores económicos deben desarrollar una mejor comprensión de la naturaleza ecológica y viva de los suelos. Los suelos deben considerarse un capital natural crítico, que requiere la protección de los actores económicos, que necesitan invertir en la rentabilidad a largo plazo de su propia actividad, y que deben integrar este conocimiento en sus estrategias de negocio. En consecuencia, es necesario reforzar el diálogo y la coordinación, a todas las escalas, entre los actores de la agricultura y la conservación, y desarrollar instituciones nuevas o adaptadas para mejorar la coordinación intersectorial y la acción colectiva.

# Referencias

- Aislabie, J. & Lloyd-Jones, G. (1995) A review of bacterial degradation of pesticides. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 925–942. <https://doi.org/10.1071/SR9950925>
- Aizen, M.A., Aguiar, S., Biesmeijer, J.C., Garibaldi, L.A., Inouye, D.W., Jung, C., Martins, D.J., Medel, R., Morales, C.L., Ngo, H., Pauw, A., Paxton, R.J., Sáez, A. & Seymour, C.L. (2019) Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biology*, 25, 3516–3527. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14736>
- Aktar, W., Sengupta, D. & Chowdhury, A. (2009) Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Alaniz, A.J., Pérez-Quezada, J.F., Galleguillos, M., Vásquez, A.E. & Keith, D.A. (2019). Operationalizing the IUCN Red List of Écosystèmes in public policy. *Conservation Letters*, 12(5). <https://doi.org/10.1111/conl.12665>
- Alexandratos, N. & Bruinsma, J. (2012) *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf> [Accessed March 28, 2019].
- Allison, S.D. & Martiny, J.B.H. (2008) 'Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities'. In: National Academy of Sciences (ed), *Light of Evolution: Volume II: Biodiversity and Extinction*. Washington, DC: The National Academies <https://doi.org/10.17226/12501>
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. (2003) Soil fertility management and insect pests: Harmonizing soil and plant health in agroécosystèmes. *Soil and Tillage Research*, 72, 203–211. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00089-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00089-8)
- Ausubel, J.H., Wernick, I.K. & Waggoner, P.E. (2013) Peak Farmland and the Prospect for Land Sparing. *Population and Development Review*, 38, 221–242. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2013.00561.x>
- Bai, Z.G., Dent, D.L., Olsson, L. & Schaepman, M.E. (2008) Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, 24, 223–234. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x>
- Baker, N.J., Bancroft, B.A. & Garcia, T.S. (2013) A meta-analysis of the effects of pesticides and fertilizers on survival and growth of amphibians. *Science of The Total Environment*, 449, 150–156. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713001113>
- Bale, J.S., Van Lenteren, J.C. & Bigler, F. (2008) Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 1492. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. & Schmid, B. (2006) Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9, 1146–1156. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x>
- Bardon, C., Piola, F., Bellvert, F., Haichar, F. el Z., Comte, G., Meiffren, G., Pommier, T., Puijalon, S., Tsafack, N. & Poly, F. (2014) Evidence for biological denitrification inhibition (BDI) by plant secondary metabolites. *New Phytologist*, 204, 620–630. <https://doi.org/10.1111/nph.12944>
- Bardon, C., Piola, F., Haichar, F.Z., Meiffren, G., Comte, G., Missery, B., Balby, M. & Poly, F. (2016) Identification of B-type procyanidins in Fallopia spp. involved in biological denitrification inhibition. *Environmental Microbiology*, 18, 644–655. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13062>
- Barrios, E. (2007) Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64, 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Barrios, E., Kwesiga, F., Buresh, R. J., Coe, R., & Sprent, J. I. (1998). Relating Preseason Soil Nitrogen to Maize Yield in Tree Legume-Maize Rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 62(6), 1604–1609. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200060018x>
- Barrios, E., Sileshi, G.W., Shepherd, K. & Sinclair, F. (2013) Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. In Wall DH Bardgett RD Behan-Pelletier V Herrick JE Jones TH Ritz K Six J Strong DR & van der Putten WH (eds), *Soil Ecology and Ecosystem Services*, Oxford University Press.

- Begg, G.S., Cook, S.M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., Lövei, G.L., Mansion-Vaquie, A., Pell, J.K., Petit, S., Quesada, N., Ricci, B., Wratten, S.D. & Birch, A.N.E. (2017) A functional overview of conservation biological control. *Crop Protection*, 97, 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.008>
- Bell, T., Newman, J.A., Silverman, B.W., Turner, S.L. & Lilley, A.K. (2005) The contribution of species richness and composition to bacterial services. *Nature* 436, 1157–1160. <https://doi.org/10.1038/nature03891>
- Belnap, J. & Lange, O. (2003) Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. *Ecological Studies*, 150. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8>
- Benton, T.G., Vickery, J.A. & Wilson, J.D. (2003) Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J. & Kunin, W.E. (2006) Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313, 351–354. DOI: 10.1126/science.1127863
- Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry, J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., De Blust, G., De Cock, R., Diekötter, T., Dietz, H., Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., F. Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., Le Coeur, D., Maelfait, J. P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M. J. M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., Van Wingerden, W.K.R.E., Zobel, M., & Edwards, P.J. (2007) Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology*, 45, 141–150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01393.x>
- Binam, J.N., Place, F., Kalinganire, A., Hamade, S., Boureima, M., Tougiani, A., Dakouo, J., Mounkoro, B., Diaminatou, S., Badji, M., Diop, M., Babou, A.B. & Haglund, E. (2015) Effects of farmer managed natural regeneration on livelihoods in semi-arid West Africa. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17, 543–575. <https://doi.org/10.1007/s10018-015-0107-4>
- Bioversity International (2016) *Mainstreaming Agrobiodiversity in Sustainable Food Systems: Scientific Foundations for an Agrobiodiversity Index - Summary*. Rome, Italy: Bioversity International. ISBN: 978-92-9255-059-2
- Birdsall, N., Savedoff, W., & Seymour, F. (2014). *The Brazil-Norway Agreement with Performance-Based Payments for Forest Conservation: Successes, Challenges, and Lessons*. In CGD Climate and Forest Paper Series #4. Centre for Global Development. <https://www.cgdev.org/publication/ft/brazil-norway-agreement-performance-based-payments-forest-conservation-successes>
- Birkhofer, K., Bylund, H., Dalin, P., Ferlian, O., Gagic, V., Hambäck, P.A., Klapwijk, M., Mestre, L., Roubinet, E., Schroeder, M., Stenberg, J.A., Porcel, M., Björkman, C. & Jonsson, M. (2017) Methods to identify the prey of invertebrate predators in terrestrial field studies. *Ecology and Evolution*, 7, 1942–1953. <https://doi.org/10.1002/ece3.2791>
- Blanco, G., Gerlagh, R., Suh, S., Barrett, J., Coninck, H.C. de, Morejon, C.F.D., Nakicenovic, R.M.N., Ahenkora, A.O., Pan, J., Pathak, H., Rice, J., Richels, R., Smith, S.J., Stern, D.I., Toth, F.L. & Zhou, P. (2014) Drivers, Trends and Mitigation. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp.351–412. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow TZ and JCM (ed) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Bland, L.M., Nicholson, E., Miller, R.M., Andrade, A., Carré, A., Etter, A., Ferrer-Paris, J.R., Herrera, B., Kontula, T., Lindgaard, A., Pliscoff, P., Skowno, A., Valderrábano, M., Zager, I. & Keith, D.A. (2019) Impacts of the IUCN Red List of Écosystèmes on conservation policy and practice. *Conservation Letters*, 12. <https://doi.org/10.1111/conl.12666>
- Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S.G. (2013) Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 230–238 <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2012.10.012>
- Bonkowski, M., & Clarholm, M. (2012). Stimulation of plant growth through interactions of bacteria and protozoa: Testing the auxiliary microbial loop hypothesis. *Acta Protozoologica*, 51(3). <https://doi.org/10.4467/16890027AP.12.019.0765>

- Bonkowski, M., Villenave, C., & Griffiths, B. (2009). Rhizosphere fauna: The functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant and Soil*, 321(1–2), 213–233. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0013-2>
- Borelli, S., Simelton, E., Aggarwal, S., Olivier, A., Conigliaro, M., Hillbrand, A., Garant, D. & Desmyttere, H. (2019) *Agroforestry and tenure*. (No. 8; Forestry Working Paper) Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/CA4662en/CA4662en.pdf>
- Bot, A. & Benites, J. (2005) *The importance of soil organic matter Key to drought-resistant soil and sustained food production*. Rome: FAO Available at: <http://www.fao.org/3/a0100e/a0100e00.htm#Contents>
- Brady, M. V., Hedlund, K., Cong, R.-G., Hemerik, L., Hotes, S., Machado, S., Mattsson, L., Schulz, E. & Thomsen, I.K. (2015) Valuing Supporting Soil Ecosystem Services in Agriculture: A Natural Capital Approach. *Agronomy Journal*, 107, 1809–1821. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj14.0597>
- Brauman, K.A., Siebert, S. & Foley, J.A. (2013) Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security - A global analysis. *Environmental Research Letters*, 8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024030>
- Bravo, A., Soberón, M., & Gill, S. S. (2005). *Bacillus thuringiensis*: Mechanisms and Use BT - Comprehensive Molecular Insect Science. In L. I. Gilbert & S. S. Gill (Eds.), *Comprehensive Molecular Insect Science* (pp. 247–278). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b0-44-451924-6/00081-8>
- Briones, M. J. I. (2014). Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 22. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Briones, M. J. I., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 23(10), 4396–4419. <https://doi.org/10.1111/gcb.13744>
- Briske, D.D., Derner, J.D., Brown, J.R., Fuhlendorf, S.D., Teague, W.R., Havstad, K.M., Gillen, R.L., Ash, A.J. & Willms, W.D. (2008) Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology and Management*, 61, 3–17. <https://doi.org/10.2111/06-159R.1>
- Brito, I., Goss, M.J., de Carvalho, M., Chatagnier, O. & van Tuinen, D. (2012) Impact of tillage system on arbuscular mycorrhiza fungal communities in the soil under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 121, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.012>
- Brondizio, E.S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H.T. & (editors) (2019) IPBES. 2019 Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Brussaard, L. (1997) Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio*, 26, 563–570.
- Brussaard, L., de Ruiter, P.C. & Brown, G.G. (2007) Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 121, 233–244. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880906004476>
- Burgess, P.J. Harris, J. Graves, A.R. Deeks, L.K. (2019) Regenerative Agriculture: Identifying the Impact; Enabling the Potential. Cranfield, UK Available at: <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/Regenerative-Agriculture-final.pdf>.
- Burri, K., Gromke, C., & Graf, F. (2013). Mycorrhizal fungi protect the soil from wind erosion: A wind tunnel study. *Land Degradation & Development*, 24(4), 385–392. <https://doi.org/10.1002/ldr.1136>
- Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- Caldecott, B. (2017) Introduction to special issue: stranded assets and the environment. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.1080/20430795.2016.1266748>
- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A. & Shindell, D. (2017) Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22, art8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>



- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M. I., & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in écosystèmes. *American Journal of Botany*, 98(3), 572–592. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000364>
- Carlesso, L., Beadle, A., Cook, S. M., Evans, J., Hartwell, G., Ritz, K., Sparkes, D., Wu, L., & Murray, P. J. (2019). Soil compaction effects on litter decomposition in an arable field: Implications for management of crop residues and headlands. *Applied Soil Ecology*, 134, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.004>
- Carlisle, L., Montenegro de Wit, M., DeLonge, M.S., Iles, A., Calo, A., Getz, C., Ory, J., Munden-Dixon, K., Galt, R., Melone, B., Knox, R. & Press, D. (2019) Transitioning to Sustainable Agriculture Requires Growing and Sustaining an Ecologically Skilled Workforce. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00096>
- Carolan, M.S. (2006) Social change and the adoption and adaptation of knowledge claims: Whose truth do you trust in regard to sustainable agriculture? *Agriculture and Human Values*, 23, 325–339. <https://doi.org/10.1007/s10460-006-9006-4>
- Castro, A., Rivera, M., Ferreira, O., Pavon, J., García, E., Amezcuita, E., Ayarza, M., Barrios, E., Rondon, M., Pauli, N., Baltodano, M.E., Mendoza, B., Welchez, L.A., Simon, S., Rubiano, J., Johnson, N. & Rao, I. (2009) Is the Quesungual system an option for smallholders in dry hillside agroécosystèmes. In *Proceedings of the CGIAR Challenge Program on Water and Food 2nd International Forum on Water and Food, Addis Ababa, Ethiopia, November 10–14, 2008*.
- Chabbi, A., Lehmann, J., Ciais, P., Loescher, H.W., Cotrufo, M.F., Don, A., SanClements, M., Schipper, L., Six, J., Smith, P. & Rumpel, C. (2017) Aligning agriculture and climate policy. *Nature Climate Change*, 7, 307–309 <https://doi.org/10.1038/nclimate3286>
- Chagnon, M., Kreutzweiser, D., Mitchell, E.A.D., Morrissey, C.A., Noome, D.A. & Van Der Sluijs, J.P. (2015) Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 119–134. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3277-x>
- Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1573), 1987–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390>
- Checcucci, A., DiCenzo, G. C., Bazzicalupo, M., & Mengoni, A. (2017). Trade, diplomacy, and warfare: The Quest for elite rhizobia inoculant strains. *Frontiers in Microbiology*, 09. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02207>
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi – from ecology to application. *Frontiers in Plant Science*, 04. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01270>
- Coe, R., Sinclair, F. & Barrios, E. (2014) Scaling up agroforestry requires research ‘in’ rather than ‘for’ development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.013>
- CBD (Convention on Biological Diversity). (2010a) In-depth review of the implementation of the programme of work on protected areas. Addendum. In *Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice. 14th meeting. Nairobi, Kenya, 10-21 May 2010*.
- CBD (Convention on Biological Diversity). (2010b) *Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020*. Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its tenth meeting., Pub. L. No. COP 10 Decision X/2, 13 (2010). <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>
- Cook, S., Silici, L., Adolph, B. & Walker, S. (2015) *Sustainable Intensification Revisited*. London: International Institute for Environment and Development Available at: <https://pubs.iied.org/pdfs/14651IIED.pdf>.
- Cortet, J., Ronce, D., Poinot-Balaguer, N., Beaufreton, C., Chabert, A., Viaux, P., & Cancela De Fonseca, J. P. (2002). Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *European Journal of Soil Biology*, 38(3–4), 239–244. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01152-4](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01152-4)
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S. & Turner, R.K. (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378014000685> [Accessed March 19, 2019]. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2014.04.002>

- Cotula, L., Dyer, N. & Vermeulen, S.J. (2008) Fuelling exclusion? The biofuels boom and poor people's access to land. London: International Institute for Environment and Development. Available at: <http://pubs.iied.org/pdfs/12551IIED.pdf>.
- Cowie, A.L., Orr, B.J., Castillo Sanchez, V.M., Chasek, P., Crossman, N.D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G.I., Minelli, S., Tengberg, A.E., Walter, S. & Welton, S. (2018) Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Dégradation Neutrality. *Environmental Science and Policy*, 79, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- Crouzet, O., Consentino, L., Pétraud, J.-P., Marraud, C., Aguer, J.-P., Bureau, S., Le Bourvellec, C., Touloumet, L. & Bérard, A. (2019) Soil Photosynthetic Microbial Communities Mediate Aggregate Stability: Influence of Cropping Systems and Herbicide Use in an Agricultural Soil. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1319. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01319>
- Crowther, T.W., Boddy, L. & Hefin Jones, T. (2012) Functional and ecological consequences of saprotrophic fungus-grazer interactions. *ISME Journal*, 6,. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.53>
- Culliney, T. (2013) Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. *Agriculture*, 3, 629–659. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., Carnevali, L.G., Chaplin-Kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L.A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D.S., Kennedy, C.M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D.A., Letourneau, D.K., Marini, L., et al (2019) A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
- Davies, J., Niamir-Fuller, M., Kerven, C. & Bauer, K. (2010) Extensive livestock production in transition: the future of sustainable pastoralism. *Livestock in a changing landscape: drivers, consequences and responses*, 1, 285–308.
- Davies, J., Ogali, C., Laban, P. & Metternicht, G. (2015) Homing in on the Range: Enabling Investments for Sustainable Land Management. Nairobi: IUCN and CEM. Available at: [http://cmsdata.iucn.org/downloads/technical\\_brief\\_\\_\\_investing\\_in\\_slm\\_2.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/technical_brief___investing_in_slm_2.pdf).
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., MacKinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W.D., Dudley, N., Smith, J., Gudka, M. & International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2012) Conserving dryland biodiversity. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Available at: <https://portals.iucn.org/library/node/10210> [Accessed June 25, 2019].
- De Deyn, G. B., & Van Der Putten, W. H. (2005). Linking aboveground and belowground diversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(11), 625–633. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.009>
- de Graaff, M. A., Hornslein, N., Throop, H. L., Kardol, P., & van Diepen, L. T. A. (2019). Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. *Advances in Agronomy*, 155, 1–44. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.001>
- De Vries, F. T., van Groenigen, J. W., Hoffland, E., & Bloem, J. (2011). Nitrogen losses from two grassland soils with different fungal biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(5), 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.016>
- Delgado-Baquerizo, M., Giaramida, L., Reich, P. B., Khachane, A. N., Hamonts, K., Edwards, C., Lawton, L. A., & Singh, B. K. (2016). Lack of functional redundancy in the relationship between microbial diversity and ecosystem functioning. *Journal of Ecology*, 104(4), 936–946. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12585>
- Douds, D.D., Galvez, L., Janke, R.R. & Wagoner, P. (1995) Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 52, 111–118. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)00550-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00550-X)
- Downing, A. L., & Leibold, M. A. (2002). Ecosystem consequences of species richness and composition in pond food webs. *Nature*, 416(6883), 837–841. <https://doi.org/10.1038/416837a>
- Dudley, N. & Alexander, S. (2017) Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity*, 18, 45–49. <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1351892>
- Ebi, K.L. & Loladze, I. (2019) Elevated atmospheric CO2 concentrations and climate change will affect our food's quality and quantity. *The Lancet Planetary Health*, 3, 7. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30108-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30108-1)
- Eisenhauer, N., Hines, J., Isbell, F., van der Plas, F., Hobbie, S. E., Kazanski, C. E., Lehmann, A., Liu, M., Lochner, A., Rillig, M. C., Vogel, A., Worm, K., & Reich, P. B. (2018). Plant diversity maintains multiple soil functions in future environments. *ELife*, 7(e4122). <https://doi.org/10.7554/eLife.41228>

- ELD Initiative (2015) Report for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management. Bonn: Economics of Land Degradation Initiative.  
[https://www.eld-initiative.org/fileadmin/pdf/ELD-pm-report\\_05\\_web\\_300dpi.pdf](https://www.eld-initiative.org/fileadmin/pdf/ELD-pm-report_05_web_300dpi.pdf)
- Erisman, J.W., Eekeren, N. Van, Doorn, A. Van, Geertsema, W. & Polman, N. (2017) Measures for Nature-based agriculture. December Issue. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/448933>.
- Erisman, J.W., van Eekeren, N., de Wit, J., Koopmans, C., Cuijpers, W., Oerlemans, N. & Koks, B.J. (2016) Agriculture and biodiversity: A better balance benefits both. *AIMS Agriculture and Food*. 1(2), 157-174.  
<https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.2.157>
- Evans, A.E., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Boelee, E. & Ippolito, A. (2019) Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.003>
- FABLE (Food, Agriculture, Biodiversity, Land-Use, and Energy Consortium) (2019) Pathways to Sustainable Land-Use and Food Systems. 2019 Report of the FABLE Consortium. Laxenburg and Paris Available at: [https://www.foodandlandusecoalition.org/wpcontent/uploads/2019/09/FABLEinterimreport\\_nocountrieslowres.pdf](https://www.foodandlandusecoalition.org/wpcontent/uploads/2019/09/FABLEinterimreport_nocountrieslowres.pdf)
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M. & Martin, J.-L. (2011) Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14, 101–112. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x>
- Falkenmark, M. (2013) Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371, 20120410–20120410. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0410>
- Fierer, N., Breitbart, M., Nulton, J., Salamon, P., Lozupone, C., Jones, R., Robeson, M., Edwards, R. A., Felts, B., Rayhawk, S., Knight, R., Rohwer, F., & Jackson, R. B. (2007). Metagenomic and small-subunit rRNA analyses reveal the genetic diversity of bacteria, archaea, fungi, and viruses in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(21), 7059–7066. <https://doi.org/10.1128/AEM.00358-07>
- Finlay, B. J. (2002). Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. In *Science* (Vol. 296, Issue 5570, pp. 1061–1063). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1070710>
- Finney, D. M., & Kaye, J. P. (2017). Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 509–517. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12765>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1988) *Report of the Council of FAO*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/t0087e/t0087e00.htm> [Accessed August 23, 2019].
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2004) *What is Agrobiodiversity?* Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/007/y5609e/y5609e00.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2011) *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Rome & London: FAO & Earthscan. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2014a) *FAO Statistical Yearbook 2012: World Food and Agriculture*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/i2490e/i2490e00.htm>
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2014b) *Building a common vision for sustainable food and agriculture: principles and approaches*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3940e.pdf> [Accessed August 23, 2019]
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2015) *World Fertilizer Trends*. Rome: FAO. Available at: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications) [Accessed March 28, 2019].
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2016) *The agriculture sectors in the intended nationally determined contributions: Analysis*. Environment and Natural Resources Management Working Paper 62. P 67. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5687e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2017) *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2018a) *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2018b) *The gender gap in land rights*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/l8796EN/l8796en.pdf> [Accessed June 25, 2019].



- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2019a) *The State of Food and Agriculture: moving forward on food loss and waste reduction*. Rome:FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2019b) *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. Bélanger J & Pilling D (eds) Rome: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments Available at: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>.
- Food and Agriculture Organisation & Intergovernmental Technical Panel on Soils (2015) *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.
- Food and Landuse Coalition (2019) Growing Better: *Ten Critical Transitions to Transform Food and Land Use*. FOLU (location not disclosed). Available at: <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/FOLU-GrowingBetter-GlobalReport.pdf>
- Fox, J.E., Gullledge, J., Engelhaupt, E., Burow, M.E. & McLachlan, J.A. (2007) Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Frac, M., Hannula, S.E., Belka, M. & Jędryczka, M. (2018) Fungal biodiversity and their role in soil health. *Frontiers in Microbiology*, 13 April 2,.
- Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P. & Sutton, M.A. (2008) Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*, 320, 889–892 Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18487183> [Accessed September 23, 2019].
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J. & Bengtsson, J. (2013) Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*. 419, 456-459.
- Gan, Y., Hamel, C., O'Donovan, J.T., Cutforth, H., Zentner, R.P., Campbell, C.A., Niu, Y. & Poppy, L. (2015) Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. *Scientific Reports*. 5, 14625.
- Gardi, C., Jeffery, S., & Saltelli, A. (2013). An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global Change Biology*, 19(5), 1538–1548. <https://doi.org/10.1111/gcb.12159>
- Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Leonhardt, S. D., Aizen, M. A., Blaauw, B. R., Isaacs, R., Kuhlmann, M., Kleijn, D., Klein, A. M., Kremen, C., Morandin, L., Scheper, J., & Winfree, R. (2014). From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 439–447. <https://doi.org/10.1890/130330>
- Garnett, T. & Godfray, H.C.J. (2012) *Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities*. Oxford, UK: Food Climate Research Network Available at: <https://redgatro.fmvz.unam.mx/assets/rn7.pdf> [Accessed March 31, 2020].
- Geisen, S., Mitchell, E.A.D., Adl, S., Bonkowski, M., Dunthorn, M., Ekelund, F., Fernández, L.D., Jousset, A., Krashevskaya, V., Singer, D., Spiegel, F.W., Walochnik, J. & Lara, E. (2018) Soil protists: A fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiology Reviews*, 42, 293–323.
- Girling, A. & Bauch, S. (2017) Incentives to Save the Forest. Global Canopy Program (location undisclosed). Available at: [https://www.globalcanopy.org/sites/default/files/documents/resources/Incentives to save the forest-web\\_1.pdf](https://www.globalcanopy.org/sites/default/files/documents/resources/Incentives%20to%20save%20the%20forest-web_1.pdf).
- Gliessman, S. & Tittonell, P. (2015) Agroecology for Food Security and Nutrition. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39, 131–133.
- Gliessman, S.R. & Engles, E. (2014) *Agroecology : the ecology of sustainable food systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group. Available at: <https://www.crcpress.com/Agroecology-The-Ecology-of-Sustainable-Food-Systems-Third-Edition/Gliessman/p/book/9781439895610>
- Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition (2016) *Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century*. London, UK. Available at: <http://glopan.org/sites/default/files/ForesightReport.pdf> [Accessed March 28, 2019].
- Gold, M. (2016) *Sustainable Agriculture: Definitions and Terms*. Beltsville, MD: USDA. Available at: <https://www.nal.usda.gov/afsic/sustainable-agriculture-definitions-and-terms>.
- Gold, M. V. & Gates, J.P. (2007) *Tracing the evolution of organic/sustainable agriculture: A selected and annotated bibliography*. Beltsville, MD: USDA Available at: <https://www.nal.usda.gov/afsic/tracing-evolution-organic-sustainable-agriculture-tesa1980>.



- Gomiero, T. (2016) Soil dégradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability (Switzerland)*, 8, 281.
- Gray, E., Henninger, N., Reij, C., Winterbottom, R. & Agostini, P. (2016) *Integrated Landscape Approaches for Africa's Drylands*. Washington DC: The World Bank. Available at: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0826-5>
- Greatrex, H., Hansen, J., Garvin, S., Diro, R., Blakeley, S., Le Guen, M., Rao, K., Osgood, D., Rao Senior Advisor, K., Osgood, D., Uthayakumar, N., Schindler, K., Bertram-Hümmer, V., Yadamsuren, U., Wandera, B., Mude, A., Coffey, K. & Jay, A. (2015) *Scaling up index insurance for smallholder farmers: Recent evidence and insights Scaling up index insurance for smallholder farmers*. CCAFS Report No. 14 Copenhagen: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CAAFS). Available at: <https://hdl.handle.net/10568/53101>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R. & Meybeck, A. (2011) *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> [Accessed June 26, 2019].
- Haddad, L. (2018) Reward food companies for improving nutrition. *Nature*, 556, 19–22.
- Hajjar, R., Jarvis, D. I., & Gemmill-Herren, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. In *Agriculture, Écosystèmes and Environment* (Vol. 123, Issue 4, pp. 261–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.08.003>
- Hajjar, R., Newton, P., Adshead, D., Bogaerts, M., Maguire-Rajpaul, V.A., Pinto, L.F.G., McDermott, C.L., Milder, J.C., Wollenberg, E. & Agrawal, A. (2019) Scaling up sustainability in commodity agriculture: Transferability of governance mechanisms across the coffee and cattle sectors in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 206, 124–132 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618328221> [Accessed October 28, 2019].
- Hallin, S., Jones, C. M., Schlöter, M., & Philippot, L. (2009). Relationship between n-cycling communities and ecosystem functioning in a 50-year-old fertilization experiment. *ISME Journal*, 3(5), 597–605. <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.128>
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrén, T., Goulson, D. & De Kroon, H. (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12,. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hanson, C. & Searchinger, T. (2015) *Ensuring crop expansion is limited to lands with low environmental opportunity costs*. Washington, DC Available at: [https://files.wri.org/s3fs-public/WRR\\_installment\\_10\\_low\\_environmental\\_opportunity\\_cost\\_land.pdf](https://files.wri.org/s3fs-public/WRR_installment_10_low_environmental_opportunity_cost_land.pdf).
- Hautier, Y., Tilman, D., Isbell, F., Seabloom, E. W., Borer, E. T., & Reich, P. B. (2015). Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. *Science*, 348(6232), 336–340. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1788>
- Hawkins, B. A., Mills, N. J., Jervis, M. A., & Price, P. W. (1999). Is the Biological Control of Insects a Natural Phenomenon? *Oikos*, 86(3), 493. <https://doi.org/10.2307/3546654>
- Haynes, R. J. (2014). Nature of the Belowground Ecosystem and Its Development during Pedogenesis. In *Advances in Agronomy* (Vol. 127, pp. 43–109). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800131-8.00002-9>
- Herrero, M., Thornton, P. K., Power, B., Bogard, J. R., Remans, R., Fritz, S., Gerber, J. S., Nelson, G., See, L., Waha, K., Watson, R. A., West, P. C., Samberg, L. H., van de Steeg, J., Stephenson, E., van Wijk, M., & Havlik, P. (2017). Farming and the geography of nutrient production for human use: a transdisciplinary analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(1), e33–e42. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30007-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30007-4)
- High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition (2017) *HLPE The High Level Panel of Experts on Food Security, Nutrition and food systems*. Rome: FAO. Available at: [www.fao.org/cfs/cfs-hlpe](http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe)
- Hijri, M. (2016). Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza*, 26(3), 209–214. <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0661-4>
- Hillbrand, A., Borelli, S., Conigliaro, M. & Olivier, A. (2017) *Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes*. Rome, FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/b-i7374e.pdf>
- Hillel, D. (2008) *Soil as a Living Body: crucible of terrestrial life*. London, UK: Elsevier.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P. V. & Evans, A.D. (2005) Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122, 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018>

- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Horner-Devine, M. C., Leibold, M. A., Smith, V. H., & Bohannan, B. J. M. (2003). Bacterial diversity patterns along a gradient of primary productivity. *Ecology Letters*, 6(7), 613–622. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00472.x>
- Hungria, M., Campo, R. J., & Mendes, I. C. (2003). Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. *Biology and Fertility of Soils*, 39(2), 88–93. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0682-6>
- Institute of Medicine and National Research Council (2015) *A Framework for Assessing Effects of the Food System*. Washington, D.C.: National Academies Press Available at: <http://www.nap.edu/catalog/18846> [Accessed September 24, 2019].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) *Special Report on Climate Change and Land*. Geneva: IPCC. Available at: <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep22279.pdf>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2018) *Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPCC. Available at: [https://ipbes.net/sites/default/files/spm\\_3bi\\_ldr\\_digital.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/spm_3bi_ldr_digital.pdf)
- Isaacs, R., & Kirk, A. K. (2010). Pollination services provided to small and large highbush blueberry fields by wild and managed bees. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 841–849. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01823.x>
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W. S., Reich, P. B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., Van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B. J., Zavaleta, E. S., & Loreau, M. (2011). High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477(7363), 199–202. <https://doi.org/10.1038/nature10282>
- IWMI, 'International Water Management Institute' (2007) *Annual Report 2007-2008: Helping the world adapt to water scarcity*. Colombo, Sri Lanka: IWMI. Available at: [http://www.iwmi.cgiar.org/About\\_IWMI/Strategic\\_Documents/Annual\\_Reports/2007\\_2008/IWMI\\_AR\\_2007\\_2008.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/About_IWMI/Strategic_Documents/Annual_Reports/2007_2008/IWMI_AR_2007_2008.pdf)
- Jakobsen, I., Abbott, L. K., & Robson, A. D. (1992). External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*, 120(3), 371–380. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01077.x>
- Jennings, D.E., Duan, J.J. & Follett, P.A. (2017) Environmental Impacts of Arthropod Biological Control: An Ecological Perspective. In *Environmental Pest Management: Challenges for Agronomists, Ecologists, Economists and Policymakers* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Joung, K. ., & Côté, J. C. (2000). A review of the environmental impacts of the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. In *Agriculture and Agri- Food Canada, Technical Bulletin No. 29*.
- Jurburg, S. D., & Salles, J. F. (2015). Functional Redundancy and Ecosystem Function — The Soil Microbiota as a Case Study. In Y. H. Lo, J. A. Blanco, & S. Roy (Eds.), *Biodiversity in Écosystèmes - Linking Structure and Function* (pp. 29–50). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/58981>
- Kardol, P., Bezemer, T. M., Van Der Wal, A., & Van Der Putten, W. H. (2005). Successional trajectories of soil nematode and plant communities in a chronosequence of ex-arable lands. *Biological Conservation*, 126(3), 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.06.005>
- Kassam, A., Friedrich, T. & Derpsch, R. (2019) Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76, 29–51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>
- Kätterer, T., Bolinder, M. A., Andrén, O., Kirchmann, H., & Menichetti, L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 141(1–2), 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>
- Keenan, R.J., Reams, G.A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A. & Lindquist, E. (2015) Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 9–20 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715003400> [Accessed March 28, 2019].

- Keenleyside, C. & Tucker, G. (2010) *Farmland Abandonment in the EU: an Assessment of Trends and Prospects*. A report for WWF Netherlands by Available at: [www.ieep.eu](http://www.ieep.eu) [Accessed December 12, 2019].
- Kell, D.B. (2011) Breeding crop plants with deep roots. *Annals of Botany*, 108 (3) 407–418.  
<https://doi.org/10.1093/aob/mcr175>
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R. & Or, D. (2019) Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
- Kennedy, A. C., & de Luna, L. Z. (2005). Rhizosphere. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 399–406). Science Direct. <https://doi.org/10.1016/b0-12-348530-4/00163-6>
- Kertész & Madarász, B. (2014) Conservation Agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research*, 2, 91–96. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30016-2](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30016-2)
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007, February 7). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Klerkx, L., van Mierlo, B. & Leeuwis, C. (2012) Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. I. Darnhofer, D. Gibbon, and B. Dedieu (eds.) pp 457–482.
- Knapp, S., & van der Heijden, M. G. A. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1>
- Köhl, L., Oehl, F., & van der Heijden, M. G. A. (2014). Agricultural practices indirectly influence plant productivity and ecosystem services through effects on soil biota. *Ecological Applications*, 24(7), 1842–1853.  
<https://doi.org/10.1890/13-1821.1>
- Kremen, C., Williams, N. M., & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(26), 16812–16816. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- Kuzyakov, Y., Friedel, J.K. & Stahr, K. (2000) Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1485–1498. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00084-5)
- Laban, P., Metternicht, G. & Davies, J. (2018) *Soil biodiversity and soil organic carbon: keeping drylands alive*. Gland, Switzerland: IUCN. Available at: <https://portals.iucn.org/library/node/47735>
- Lacey, L. A., & Georgis, R. (2012). Entomopathogenic nematodes for control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology*, 44(2), 218–225.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3578470/>
- Lahmar, R. (2010) Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. *Land Use Policy*, 27, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.02.001>
- Lammoglia, S.K., Moeys, J., Barriuso, E., Larsbo, M., Marín-Benito, J.M., Justes, E., Alletto, L., Ubertosi, M., Nicolardot, B., Munier-Jolain, N. & Mamy, L. (2017) Sequential use of the STICS crop model and of the MACRO pesticide fate model to simulate pesticides leaching in cropping systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 6895–6909. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6842-7>
- Lapena, I., Halewood, M. & Hunter, D. (2016) *Mainstreaming agricultural biological diversity across sectors through NBSAPs: Missing Links to Climate Change Adaptation, Dietary Diversity and the Plant Treaty* Copenhagen, Denmark: CGIAR. Available at:  
[https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/78323/CCAFS\\_info\\_note\\_NBSAPS-final\\_biodiversity.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/78323/CCAFS_info_note_NBSAPS-final_biodiversity.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Larsen, B. B., Miller, E. C., Rhodes, M. K., & Wiens, J. J. (2017). Inordinate fondness multiplied and redistributed: The number of species on earth and the new pie of life. *Quarterly Review of Biology*, 92(3), 229–265.  
<https://doi.org/10.1086/693564>
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W. & Dhillon, S. (1997) Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33, 159–193.  
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010015216>
- Le, Q.B., Ephraïm, N. & Mirzabaev, A. (2014) *Biomass Productivity-Based Mapping of Global Land Dégradation Hot-spots*. ZEF - Discussion Papers on Development Policy No. 193. , 57. University of Bonn. Available at:  
[https://www.zef.de/uploads/tx\\_zefportal/Publications/zef\\_dp\\_193.pdf](https://www.zef.de/uploads/tx_zefportal/Publications/zef_dp_193.pdf).



- Lendzemo, V. W., Kuyper, T. W., Kropff, M. J., & Van Ast, A. (2005). Field inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi reduces *Striga hermonthica* performance on cereal crops and has the potential to contribute to integrated *Striga* management. *Field Crops Research*, 91(1), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.05.003>
- Lin, B. B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroécosystèmes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 510–518. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010>
- Liniger, H., & Critchley, W. (2007). *Where the land is greener*. Co-published by CTA, UNEP, FAO and CDE. Available at: [https://www.wocat.net/documents/87/where\\_the\\_land\\_is\\_greener\\_WEB.pdf](https://www.wocat.net/documents/87/where_the_land_is_greener_WEB.pdf)
- Locke, H., Ellis, E.C., Venter, O., Schuster, R., Ma, K., Shen, X., Woodley, S., Kingston, N., Bhola, N., Strassburg, B.B.N., Paulsch, A., Williams, B. & Watson, J.E.M. (2019) Three global conditions for biodiversity conservation and sustainable use: an implementation framework. *National Science Review*, 6, 1080–1082. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz136>
- Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56(4), 311–323. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[311:TEVOES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2)
- Lowder, S.K., Skoet, J. & Raney, T. (2016) The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Development*, 87, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694–1697. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Malézieux, E. (2012) Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 15–29.
- Mando, A. (1997). Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the Sahel. *Land Dégradation & Development*, 8(3), 269–278. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199709\)8:3<269::AID-LDR260>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199709)8:3<269::AID-LDR260>3.0.CO;2-8)
- Maron, P. A., Sarr, A., Kaisermann, A., Lévêque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A., & Ranjard, L. (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9). <https://doi.org/10.1128/AEM.02738-17>
- Marshall, E.J.P. (2004) Agricultural Landscapes. *Journal of Crop Improvement*, 12, 365–404 [https://doi.org/10.1300/J411v12n01\\_05](https://doi.org/10.1300/J411v12n01_05)
- Martínez-García, L. B., Korthals, G., Brussaard, L., Jørgensen, H. B., & De Deyn, G. B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 263, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.018>
- McGahey, D., Davies, J., Hagelberg, N. & Ouedraogo, R. (2014) *Pastoralism and the Green Economy: a natural nexus?* Nairobi: IUCN and UNEP Available at: [http://cmsdata.iucn.org/downloads/wisp\\_green\\_economy\\_book.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/wisp_green_economy_book.pdf).
- McNeill, A. & Unkovich, M. (2007) The Nitrogen Cycle in Terrestrial Écosystèmes. In *Nutrient Cycling in Terrestrial Écosystèmes* pp 37–64. Springer Berlin Heidelberg.
- Meena, R.S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M.P., Yadav, G.S., Jhariya, M.K., Jangir, C.K., Pathan, S.I., Dokulilova, T., Pecina, V. & Marfo, T.D. (2020) Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. *Land*, 9 (2). <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Meijaard, E., Garcia-Ulloa, Sheil, J., Carlson, S.A., Juffe-Bignoli & Brooks (2018) *Oil palm and biodiversity: A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force*. International Union for the Conservation of Nature. Gland, Switzerland: IUCN Available at: <https://www.iucn-optf.org/>.
- Mekonen Ertiban, S. (2019) Soil Fauna as Webmasters, Engineers and Bioindicators in Écosystèmes: Implications for Conservation Ecology and Sustainable Agriculture. *American Journal of Life Sciences*, 7, 17–26. doi: 10.11648/j.ajls.20190701.14
- Menta, C. (2012) Soil Fauna Diversity - Function, Soil Dégradation, Biological Indices, Soil Restoration. In *Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World* pp 59–94.
- Metting, B. (1981) The systematics and ecology of soil algae. *The Botanical Review*, 47, 195–312. <https://link.springer.com/article/10.1007%2F02868854>
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., et al (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>



- Mitchell, R. (2013) Soil Ecology and Ecosystem Services - edited by Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, T.H., Ritz, K., Six, J., Strong, D.R. & van der Putten, W.H. *European Journal of Soil Science*, 64, 546.
- Moreau, D., Bardgett, R.D., Finlay, R.D., Jones, D.L. & Philippot, L. (2019) A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology*, 33, 540–552. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303>
- Morris, N.L., Miller, P.C.H., Orson, J.H. & Froud-Williams, R.J. (2010) The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment-A review. *Soil and Tillage Research*, 108, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.004>
- Mulumba, J. W., Nankya, R., Adokorach, J., Kiwuka, C., Fadda, C., De Santis, P., & Jarvis, D. I. (2012). A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural écosystèmes of Uganda. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 157, 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.012>
- Neher, D. A. (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 33(4), 161–168. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620512/>
- Network, F.S.I. (2018) *Global Report on Food Crises 2018*. Available at: <https://www.wfp.org/publications/global-report-food-crises-2018#:~:text=The 2018 Global Report on,severe hunger in the world.&text=Conflict and insecurity continued to,in need of urgent assistance>.
- Nicholls, C.I. & Altieri, M.A. (2018) Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42, 1170–1193 <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>
- Nordborg, M. & Roos, E. (2016) *Holistic management - a critical review of Allan Savory's grazing method*. Centre for Organic Food & Farming & Chalmers: Uppsala. 46 pages. Available at: [https://orgprints.org/34330/1/holisticmanagement\\_review.pdf](https://orgprints.org/34330/1/holisticmanagement_review.pdf)
- Norris, K. (2008) Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conservation Letters*, 1, 2–11. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00007.x>
- Nyanga, P.H. (2012) Factors Influencing Adoption and Area under Conservation Agriculture: A Mixed Methods Approach. *Sustainable Agriculture Research*, 1. 10.22004/ag.econ.231353
- Oberc, B.P. & Arroyo Schnell, A. (2020) *Approaches to Sustainable Agriculture: exploring the pathways towards the future of farming Brussels*. Brussels, Belgium: IUCN EURO. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-017-En.pdf>
- Ogle, S.M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F.J., McConkey, B., Regina, K. & Vazquez-Amabile, G.G. (2019) Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports*, 9. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-47861-7>
- Oldfield, E. E., Bradford, M. A., & Wood, S. A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5, 15–32. <https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2001) Measuring Productivity Available at: <https://www.oecd.org/sdd/productivity-stats/40526851.pdf> [Accessed April 14, 2020].
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2020) Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2020. Paris, OECD. <https://doi.org/10.1787/22217371>
- Orgiazzi, A., D. Bardgett, R., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.-L., Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L. & Verheijen, F. (2016) Global Soil Biodiversity Atlas. Luxembourg: European Commission.
- Orgiazzi, A., & Panagos, P. (2018). Soil biodiversity and soil erosion: It is time to get married. *Global Ecology and Biogeography*, 27(10), 1155–1167. <https://doi.org/10.1111/geb.12782>
- Pal, A. & Pandey, S. (2014) Role of Glomalin in Improving Soil Fertility: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3, 1112–1129.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L. & Grace, P. (2014) Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 187, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>
- Papanikolaou, A. D., Kühn, I., Frenzel, M., Kuhlmann, M., Poschlod, P., Potts, S. G., Roberts, S. P. M., & Schweiger, O. (2017). Wild bee and floral diversity co-vary in response to the direct and indirect impacts of land use. *Ecosphere*, 8(11), e02008. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2008>

- Perrings, C., Jackson, L., Bawa, K., Brussaard, L., Brush, S., Gavin, T., Papa, R., Pascual, U. & De Ruiter, P. (2006) Biodiversity in Agricultural Landscapes: Saving Natural Capital without Losing Interest. *Conservation Biology*, 20, 263–264 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00390.x>
- Persson, A.S., Olsson, O., Rundlöf, M. & Smith, H.G. (2010) Land use intensity and landscape complexity-Analysis of landscape characteristics in an agricultural region in Southern Sweden. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 136, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.12.018>
- Peter, H., Beier, S., Bertilsson, S., Lindström, E. S., Langenheder, S., & Tranvik, L. J. (2011). Function-specific response to depletion of microbial diversity. *ISME Journal*, 5(2), 351–361. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.119>
- Petersen, H., & Luxton, M. (1982). A Comparative Analysis of Soil Fauna Populations and Their Role in Decomposition Processes. *Oikos*, 39(3), 288. <https://doi.org/10.2307/3544689>
- Peterson, R. L., Piché, Y., & Plenchette, C. (1984). Mycorrhizae and their potential use in the agricultural and forestry industries. *Biotechnology Advances*, 2(1), 101-IN2. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(84\)90243-X](https://doi.org/10.1016/0734-9750(84)90243-X)
- Peyret-Guzzon, M., Stockinger, H., Bouffaud, M.L., Farcy, P., Wipf, D. & Redecker, D. (2016) Arbuscular mycorrhizal fungal communities and Rhizophagus irregularis populations shift in response to short-term ploughing and fertilisation in a buffer strip. *Mycorrhiza*, 26, 33–46 Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-015-0644-5> [Accessed July 7, 2020].
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linquist, B. A., Van Groenigen, L. J., Lee, J., Lundy, M. E., Van Gestel, N., Six, J., Venterea, R. T., & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>
- Plaas, E., Meyer-Wolfarth, F., Banse, M., Bengtsson, J., Bergmann, H., Faber, J., Potthoff, M., Runge, T., Schrader, S., & Taylor, A. (2019). Towards valuation of biodiversity in agricultural soils: A case for earthworms. *Ecological Economics*, 159, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.02.003> <https://doi.org/10.1038/nature13809>
- Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 20141396. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Power, A.G. (2010) Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2959–2971 Available at: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/365/1554/2959.full.pdf>.
- Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A. & Cassman, K.G. (2014) Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 4, 678–683. available at: <https://www.nature.com/articles/nclimate2292>
- Preciado, R. (2014) *Mecanismos para compartir beneficios: una introducción para la planificación e implementación*. Lima: CONDESAN. Available at: <https://condesan.org/recursos/mecanismos-para-compartir-beneficios-una-introduccion-para-la-planificacion-e-implementacion/>.
- Pretty, J., Toulmin, C. & Williams, S. (2011) Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9, 5–24 Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3763/ijas.2010.0583> [Accessed October 28, 2019].
- van der Putten, W.H., Anderson, J.M., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V.M., Bignell, D.E., Brown, G.G., Brown, V.K., Brussaard, L., Hunt, H.W. & Ineson, P. (2004) The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. In: Wall D.H. (ed.) *Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments*, pp 15–43. Island Press.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Brittain, C., Carneiro, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Foully, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S.R., et al (2016) Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 146 LP – 151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Ragassa, C. (2014) Improving Gender Responsiveness of Agricultural Extension. In Quisumbing AR Meinzen-Dick R Raney T. Croppenstedt A Behrman JA & Peterman A (eds), *Gender in Agriculture: closing the knowledge gap*, p 444. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.

- Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M. & Rieseberg, L.H. (2018) Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 789–815 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256>
- Ramirez, K. S., Döring, M., Eisenhauer, N., Gardi, C., Ladau, J., Leff, J. W., Lentendu, G., Lindo, Z., Rillig, M. C., Russell, D., Scheu, S., St. John, M. G., de Vries, F. T., Wubet, T., van der Putten, W. H., & Wall, D. H. (2015). Toward a global platform for linking soil biodiversity data. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3(JUL), 91. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00091>
- Raworth, K. (2017) *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. London, UK: Chelsea Green Publishing.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 15221. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Regmi, A., Rojas Lara, T., Kleinwechter, U., Conwell, A. & Gotor, E. (2016) *Integrating Biodiversity and Ecosystem Services into the Economic Analysis of Agricultural Systems*. Rome, Bioversity International. Available at: [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/70962/Integrating biodiversity and ecosystem services\\_2045.pdf;sequence=1](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/70962/Integrating%20biodiversity%20and%20ecosystem%20services_2045.pdf;sequence=1).
- Reich, P. B., Knops, J., Tilman, D., Craine, J., Ellsworth, D., Tjoelker, M., Lee, T., Wedin, D., Naeem, S., Bahaeddin, D., Hendrey, G., Jose, S., Wragge, K., Goth, J., & Bengtson, W. (2001). Plant diversity enhances ecosystem responses to elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen deposition. *Nature*, 410(6830), 809–812. <https://doi.org/10.1038/35071062>
- Remans, R., Flynn, D.F.B., DeClerck, F., Diru, W., Fanzo, J., Gaynor, K., Lambrecht, I., Mudiope, J., Mutuo, P.K., Nkhoma, P., Siriri, D., Sullivan, C. & Palm, C.A. (2011) Assessing nutritional diversity of cropping systems in African villages. *PLoS ONE*, 6, e21235 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021235>
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P. & Bux, F. (2018) Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 36, 1255–1273. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.004>
- Requena, N., Perez-Solis, E., Azcón-Aguilar, C., Jeffries, P., & Barea, J. M. (2001). Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(2), 495–498. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.2.495-498.2001>
- Ricciardi, V., Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Jarvis, L. & Chookolingo, B. (2018) How much of the world's food do smallholders produce? *Global Food Security*, 17, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.05.002>
- Robertson, G. P., & Swinton, S. M. (2005). Reconciling Agricultural Productivity and Environmental Integrity: A Grand Challenge for Agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 38–46. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0038:RAPAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0038:RAPAEI]2.0.CO;2)
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N. & Schellnhuber, H.J. (2017a) A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355, 1269–1271. DOI: 10.1126/science.aah3443
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L. & Smith, J. (2017b) Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46, 4–17 Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s13280-016-0793-6> [Accessed August 29, 2019].
- Roger-Estrade, J., Anger, C., Bertrand, M. & Richard, G. (2010) Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, 111, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.010>
- Rohwer, F., Prangishvili, D., & Lindell, D. (2009). Roles of viruses in the environment. In *Environmental Microbiology* Environmental Microbiology 11(11): 2771-2774. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02101.x>



- Romdhane, S., Devers-Lamrani, M., Beguet, J., Bertrand, C., Calvayrac, C., Salvia, M.V., Jrad, A. Ben, Dayan, F.E., Spor, A., Barthelmebs, L. & Martin-Laurent, F. (2019) Assessment of the ecotoxicological impact of natural and synthetic  $\beta$ -triketone herbicides on the diversity and activity of the soil bacterial community using omic approaches. *Science of the Total Environment*, 651, 241–249.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.159>
- Rose, M.T., Cavagnaro, T.R., Scanlan, C.A., Rose, T.J., Vancov, T., Kimber, S., Kennedy, I.R., Kookana, R.S. & Van Zwieten, L. (2016) Impact of Herbicides on Soil Biology and Function. In *Advances in Agronomy* pp 133–220. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.11.005>
- Roser, M. & Ortiz-Ospina, E. (2017) *Our World in Data*. Available at: <https://ourworldindata.org/>.
- Rulli, M.C., Savioli, A. & D’Odorico, P. (2013) Global land and water grabbing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 892–7 <https://doi.org/10.1073/pnas.1213163110>
- Rundlöf, M., Smith, H. G., & Birkhofer, K. (2016). Effects of Organic Farming on Biodiversity. In *eLS (Explore the Life Sciences)* (pp. 1–7). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0026342>
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tschardt, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M. & Bommarco, R. (2016) Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Écosystèmes & Environment*, 221, 198–204 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916300512> [Accessed March 19, 2019].
- Scheffers, B. R., Joppa, L. N., Pimm, S. L., & Laurance, W. F. (2012). What we know and don’t know about Earth’s missing biodiversity. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 27, Issue 9, pp. 501–510). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.05.008>
- Schnoor, T.K., Lekberg, Y., Rosendahl, S. & Olsson, P.A. (2011) Mechanical soil disturbance as a determinant of arbuscular mycorrhizal fungal communities in semi-natural grassland. *Mycorrhiza*, 21, 211–220 Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-010-0325-3> [Accessed July 7, 2020].
- Schweiger, O., Maelfait, J.P., Van Wingerden, W., Hendrickx, F., Billeter, R., Speelmans, M., Augenstein, I., Aukema, B., Aviron, S., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekötter, T., Dirksen, J., Frenzel, M., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M. & Bugter, R. (2005) Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural landscapes across organizational levels and spatial scales. *Journal of Applied Ecology*, 42, 1129–1139. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01085.x>
- Schwilch, G., Hessel, R. & Verzaandvoort, S.J.E. (2012) *Desire for greener land : options for sustainable land management in drylands*. University of Bern [etc.] Available at: <https://research.wur.nl/en/publications/desire-for-greener-land-options-for-sustainable-land-management-i> [Accessed September 2, 2019].
- Scoones, I. (1995) *Living with Uncertainty: New directions in pastoral development in Africa*. London, UK: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Shah, F., & Wu, W. (2019). Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments. *Sustainability*, 11(5), 1485. <https://doi.org/10.3390/su11051485>
- Shepherd, K.D., Shepherd, G. & Walsh, M.G. (2015) Land health surveillance and response: A framework for evidence-informed land management. *Agricultural Systems*, 132, 93–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.09.002>
- Shipitalo, M. J., & Protz, R. (1987). Comparison of Morphology and Porosity of a Soil under Conventional and Zero Tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 67(3), 445–456. <https://doi.org/10.4141/cjss87-043>
- Shuster, W. D., McDonald, L. P., McCartney, D. A., Parmelee, R. W., Studer, N. S., & Stinner, B. R. (2002). Nitrogen source and earthworm abundance affected runoff volume and nutrient loss in a tilled-corn agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 35(5), 320–327. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0474-4>
- Sieglwart, M., Graillot, B., Lopez, C.B., Besse, S., Bardin, M., Nicot, P.C. & Lopez-Ferber, M. (2015) Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: A review. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1–19.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00381>
- Silici, L. (2014) *Agroecology What it is and what it has to offer*. Food and agriculture. London: International Institute for Environment and Development. Available at: <https://pubs.iied.org/14629IIED/>



- Sirami, C., Gross, N., Baillod, A.B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguët, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhassner, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Vialatte, A., et al (2019) Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 16442–16447.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M., De Moraes Sa, J. C., & Albrecht, A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22(7–8), 755–775. <https://doi.org/10.1051/agro:2002043>
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P. C., Clark, J. M., Adhya, T., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P., Cotrufo, M. F., Elliott, J. A., McDowell, R., Griffiths, R. I., Asakawa, S., Bondeau, A., Jain, A. K., ... Pugh, T. A. M. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*, 22(3), 1008–1028. <https://doi.org/10.1111/gcb.13068>
- Smith, S. & Read, D. (2008) Mycorrhizal Symbiosis 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.13068> [Accessed July 7, 2020].
- Snapp, S.S., Blackie, M.J., Gilbert, R.A., Bezner-Kerr, R. & Kanyama-Phiri, G.Y. (2010) Biodiversity can support a greener revolution in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 20840–20845 <https://doi.org/10.1073/pnas.1007199107>
- Souza, E. M., Chubatsu, L. S., Huergo, L. F., Monteiro, R., Camilios-Neto, D., Wasseem, R., & de Oliveira Pedrosa, F. (2014). Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity. *BMC Proceedings*, 8(4), 1–3. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-8-s4-o23>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015) Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, Available at: <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855.full>.
- Stewart, W. D. P. (1977). Present-Day Nitrogen-Fixing Plants. *Ambio*, 6, 166–173. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE19770187682>
- Subbarao, G. V., Nakahara, K., Hurtado, M.P., Ono, H., Moreta, D.E., Salcedo, A.F., Yoshihashi, A.T., Ishikawa, T., Ishitani, M., Ohnishi-Kameyama, M., Yoshida, M., Rondon, M., Rao, I.M., Lascano, C.E., Berry, W.L. & Ito, O. (2009) Evidence for biological nitrification inhibition in Brachiaria pastures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 17302–17307. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903694106>
- Subsidiary Body on Scientific Technical and Technological Advice (2018) Review of pollinators and pollination relevant to the conservation and sustainable use of biodiversity in all écosystèmes, beyond their role in agriculture and food production. *Convention on Biological Diversity*.
- Sun, R., Li, W., Dong, W., Tian, Y., Hu, C., & Liu, B. (2018). Tillage changes vertical distribution of soil bacterial and fungal communities. *Frontiers in Microbiology*, 09. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00699>
- Susilo, F.X., Neutel, A.M., Noordwijk, M. van, Hairiah, K., Brown, G. & Swift, M.J. (2009) Soil biodiversity and food webs. In *Below-ground interactions in tropical agroécosystèmes: concepts and models with multiple plant components*, van Noordwijk M Cadisch G & Ong CK (eds) Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Swift, M.J., Heal, O.W. & Anderson, J.M. (1979) Decomposition in Terrestrial Écosystèmes. In *Studies in Ecology - Volume 5*.
- Tate, R. L. (2005). Encyclopedia of Soils in the Environment. *Soil Science*, 170(8), 669. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000178203.51170.63>
- The Economics of Biodiversity (2018) *The Economics of Écosystèmes & Biodiversity. The Economics of Écosystèmes and Biodiversity (TEEB)* (2018). TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations. Geneva: UN Environment. Available at: <http://teebweb.org/agrifood/scientific-and-economic-foundations-report/>
- The High-Level Task Force on Global Food Security and Nutrition (2012) *Sustainable Agricultural Productivity Growth and Bridging the Gap for Small Family Farms: Interagency Report to the Mexican G20 Presidency* Washington DC: World Bank. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/788091468171845538/text/705060WP0P10650p0Small0Family-0Farms.txt>

- The Royal Society (2009) *Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture*. London, UK: The Royal Society. Available at: [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf)
- Thiessen Martens, J. & Entz, M. (2011) Integrating green manure and grazing systems: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, 91, 811–824. <https://doi.org/10.4141/cjps10177>
- Thiour-Mauprivez, C., Martin-Laurent, F., Calvayrac, C., & Barthelmebs, L. (2019). Effects of herbicide on non-target microorganisms: Towards a new class of biomarkers? *Science of the Total Environment*, 684, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.230>
- Thornton, P. K., & Herrero, M. (2010). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(46), 19667–19672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912890107>
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., & Siemann, E. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330), 1300–1302. <https://doi.org/10.1126/science.277.5330.1300>
- Tittonell, P. (2014) Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53–61 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006> [Accessed August 29, 2019].
- Triplett, G.B. & Dick, W.A. (2008) No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture! *Agronomy Journal*, 100, S-153-S-165 Available at: <http://doi.wiley.com/10.2134/agronj2007.0005c> [Accessed January 24, 2020].
- Trubl, G., Jang, H. Bin, Roux, S., Emerson, J. B., Solonenko, N., Vik, D. R., Solden, L., Ellenbogen, J., Runyon, A. T., Bolduc, B., Woodcroft, B. J., Saleska, S. R., Tyson, G. W., Wrighton, K. C., Sullivan, M. B., & Rich, V. I. (2018). Soil Viruses Are Underexplored Players in Ecosystem Carbon Processing. *MSystems*, 3(5). <https://doi.org/10.1128/msystems.00076-18>
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F. T., Bardgett, R. D., Brady, M. V., Bjornlund, L., Jørgensen, H. B., Christensen, S., Hertefeldt, T. D., Hotes, S., Gera Hol, W. H., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S. R., ... Hedlund, K. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 21(2), 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- Tuck, S. L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L. A., & Bengtsson, J. (2014). Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: A hierarchical meta-analysis. In *Journal of Applied Ecology* (Vol. 51, Issue 3, pp. 746–755). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12219>
- Tugel, A.J. & Lewandowski, A.M. (2001) Soil Biology Primer [online]. Iowa: Soil and Water Conservation Society. Available at: [https://web.extension.illinois.edu/soil/SoilBiology/soil\\_biology\\_primer.htm](https://web.extension.illinois.edu/soil/SoilBiology/soil_biology_primer.htm)
- United Nations (1994) *Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa: Final Text of the Convention*. New York, United Nations. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27569/UNCCD\\_English.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27569/UNCCD_English.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- UICN (2020). *Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza. Un marco sencillo para la verificación, el diseño y la extensión de SbN*. Primera edición. Gland, Suiza: UICN
- United Nations Convention to Combat Desertification (2015) Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. In *ICCD/COP(12) /20/Add.1* United Nations Available at: [https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD\\_COP12\\_20\\_Add.1/20add1eng.pdf#page=8](https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD_COP12_20_Add.1/20add1eng.pdf#page=8).
- United Nations Convention to Combat Desertification (2016) *Glossary for Performance and Progress Indicators, Financial Flows and Best Practices*. Addendum (ICCD/CRIC(11) /INF.3) Bonn Available at: [http://www.unccd.int/en/programmes/Capacity-building/CBW/Resources/Documents/2016Reporting/Glossary compiled Final.pdf](http://www.unccd.int/en/programmes/Capacity-building/CBW/Resources/Documents/2016Reporting/Glossary%20compiled%20Final.pdf).
- United Nations Environment Programme (2007) *UNEP 2007 Annual Report*. Nairobi, Kenya. Available at: <https://digitallibrary.un.org/record/1491365?ln=en>.
- United Nations Environment Programme (2013) *Green Economy and Trade: Trends, Challenges and Opportunities*. Nairobi, Kenya Available at: <http://www.unep.org/greeneconomy/GreenEconomyandTrade>.

- Van Der Esch, S., Brink, B. ten, Stehfest, E., Michel Bakkenes, Annelies Sewell, Arno Bouwman, Johan Meijer, Henk Westhoek & Maurits van den Berg (2017) *Exploring future changes in land use and land condition and the impacts on food, water, climate change and biodiversity Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook Policy Report*. The Hague: Netherlands Environment Institute. Available at: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-exploring-future-changes-in-land-use-and-land-condition-2076b.pdf> [Accessed March 28, 2019].
- Van Elsas, J.D., Chiurazzi, M., Mallon, C.A., Elhottova, D., Krištůfek, V. & Salles, J.F. (2012) Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 1159–1164. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109326109>
- van den Hoogen, J., Geisen, S., Routh, D., Ferris, H., Traunspurger, W., Wardle, D. A., de Goede, R. G. M., Adams, B. J., Ahmad, W., Andriuzzi, W. S., Bardgett, R. D., Bonkowski, M., Campos-Herrera, R., Cares, J. E., Caruso, T., de Brito Caixeta, L., Chen, X., Costa, S. R., Creamer, R., ... Crowther, T. W. (2019). Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. *Nature*, 572(7768), 194–198. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1418-6>
- Van Groenigen, J. W., Lubbers, I. M., Vos, H. M. J., Brown, G. G., De Deyn, G. B., & Van Groenigen, K. J. (2014). Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
- Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., & Valéro, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. In *Biochemical Engineering Journal* (Vol. 37, Issue 1, pp. 1–20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>
- Vivant, A.L., Garmyn, D., Maron, P.A., Nowak, V. & Piveteau, P. (2013) Microbial Diversity and Structure Are Drivers of the Biological Barrier Effect against *Listeria monocytogenes* in Soil. *PLoS ONE*, 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076991>
- Vogt, G. (2007) The origins of organic farming. In *Organic Farming: An International History* pp 9–29. CABI Publishing.
- Volf, M., Klimeš, P., Lamarre, G.P.A., Redmond, C.M., Seifert, C.L., Abe, T., Auga, J., Anderson-Teixeira, K., Basset, Y., Beckett, S., Butterill, P.T., Drozd, P., Gonzalez-Akre, E., Kaman, O., Kamata, N., Laird-Hopkins, B., Libra, M., Manumbor, M., Miller, S.E., Molem, K., et al (2019) Quantitative assessment of plant-arthropod interactions in forest canopies: A plot-based approach. *PLOS ONE*, 14. <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0222119>
- Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & Van Der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(14), 5266–5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
- Wall, D.H., Adams, G. & Parsons, A. (2011) Soil Biodiversity. In *Global Biodiversity in a Changing Environment*, Chapin III FS Sala OE & Huber-Sannwald E (eds) pp 47–82. Springer Link Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4613-0157-8\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4613-0157-8_4)
- Wall, D. H., & Virginia, R. A. (2000). The world beneath our feet: soil biodiversity and ecosystem functioning. In P. R. Raven & T. Williams (Eds.), *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World* (pp. 225–241). National Academy of Sciences and National Research Council.
- Wall, D. H., Fitter, A. H., & Paul, E. A. (2005). Developing new perspectives from advances in soil biodiversity research. In R. D. Bardgett, M. B. Usher, & D. W. Hopkins (Eds.), *Biological diversity and function in soils* (pp. 136–141). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00140-5>
- Wall, D.H., Nielsen, U.N. & Six, J. (2015) Soil biodiversity and human health. *Nature*, 528, 69–76. <https://www.nature.com/articles/nature15744/>
- Weber, K.T. & Horst, S. (2011) Desertification and livestock grazing: The roles of sedentarization, mobility and rest. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 1. <https://pastoralismjournal.springeropen.com/articles/10.1186/2041-7136-1-19>
- Weiner, C. N., Werner, M., Linsenmair, K. E., & Blüthgen, N. (2014). Land-use impacts on plant–pollinator networks: interaction strength and specialization predict pollinator declines. *Ecology*, 95(2), 466–474. <https://doi.org/10.1890/13-0436.1>
- Wertz, S., Degrange, V., Prosser, J.I., Poly, F., Commeaux, C., Guillaumaud, N. & Le Roux, X. (2007) Decline of soil microbial diversity does not influence the resistance and resilience of key soil microbial functional groups following a model disturbance. *Environmental Microbiology*, 9, 2211–2219. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01335.x>

- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Johnston, M., MacDonald, G. K., Ray, D. K., & Siebert, S. (2014). Leverage points for improving global food security and the environment. *Science*, 345(6194), 325–328. <https://doi.org/10.1126/science.1246067>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. & David, C. (2009) Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 503–515  
<https://link.springer.com/article/10.1051/agro/2009004>
- Whitmee, S., Haines, A., Beyrer, C., Boltz, F., Capon, A.G., de Souza Dias, B.F., Ezech, A., Frumkin, H., Gong, P., Head, P., Horton, R., Mace, G.M., Marten, R., Myers, S.S., Nishtar, S., Osofsky, S.A., Pattanayak, S.K., Pongsiri, M.J., Romanelli, C., Soucat, A., et al (2015) Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, 386, 1973–2028  
DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1)
- Willer, H. & Lernoud, J. (2018) *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends*. Brussels, Belgium. Available at: <https://shop.fibl.org/chen/1076-organic-world-2018.html>.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., Vries, W. De, Sibanda, L.M., Afshin, A., et al (2019) Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, 447–492 DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Williamson, K. E., Fuhrmann, J. J., Wommack, K. E., & Radosevich, M. (2017). Viruses in Soil Écosystèmes: An Unknown Quantity Within an Unexplored Territory. *Annual Review of Virology*, 4(1), 201–219.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-virology-101416-041639>
- Wong, G., Angelsen, A., Brockhaus, M., Carmenta, R., Duchelle, A.E., Leonard, S., Luttrell, C., Martius, C. & Wunder, S. (2016) *Results-based payments for REDD+: Lessons on finance, performance, and non-carbon benefits*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR). Available at: <http://www.cifor.org/library/6108/results-based-payments-for-redd-lessons-on-finance-performance-and-non-carbon-benefits/> [Accessed January 23, 2020].
- World Commission on Environment and Development (1987) *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development 2. Part II. Common Challenges Population and Human Resources 4*. Oxford, UK. Available at:  
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> [Accessed August 23, 2019].
- World Health Organisation (2019) Overweight and obesity. *Global Health Observatory (GHO) data* Available at: [https://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/overweight\\_text/en/](https://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight_text/en/).
- Xavier, G.R., Correia, M.E.F., de Aquino, A.M., Zilli, J.É. & Rumjanek, N.G. (2010) The Structural and Functional Biodiversity of Soil: An Interdisciplinary Vision for Conservation Agriculture in Brazil. In Dion P (ed). *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*, pp 65–80.
- Xu, S., Jagadamma, S. & Rowntree, J. (2018) Response of grazing land soil health to management strategies: A summary review. *Sustainability (Switzerland)*, 10 (12), 4769. <https://doi.org/10.3390/su10124769>
- Yadav, I.C. & Devi, L.N. (2017) Pesticides Classification and Its Impact on Human and Environment. In *Environmental Science and Engineering*. pp 141–157. New York: Springer.
- Zavaleta, E. S., Pasari, J. R., Hulvey, K. B., & Tilman, G. D. (2010). Sustaining multiple ecosystem functions in grassland communities requires higher biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(4), 1443–1446. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906829107>
- Zomer, R.A., Trabucco, A., Coe, R. & Place, F. (2009) *Trees on farm: analysis of global extent and geographical patterns of Agroforestry*. Nairobi, Kenya: ICRAF. Available at:  
<http://old.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/WP16263.pdf> [Accessed March 20, 2020].









**UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA  
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

SEDE MUNDIAL  
Rue Mauverney 28  
1196 Gland, Suiza  
Tel +41 22 999 0000  
Fax +41 22 999 0002  
NbSStandard@iucn.org  
[www.iucn.org/es](http://www.iucn.org/es)