



# AGRICULTURA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE: UNA VISIÓN PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

## Climate smart agriculture: a proposal to face climate change

**Maydelin Dorado Bermúdez**<sup>1\*</sup>, **Lianne Fernández Granda**<sup>2</sup>, **Maribel M. Ramírez Vega**<sup>3</sup>,  
 **Olyra Guzmán Proenza**<sup>4</sup>, **José Francisco Gil Vidal**<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). La Habana, Cuba. Calle 188 no.38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, La Habana. Cuba. E-mail: [fisiologiacc@inifat.co.cu](mailto:fisiologiacc@inifat.co.cu)

<sup>2</sup>Departamento Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: [genetica1@inifat.co.cu](mailto:genetica1@inifat.co.cu)

<sup>3</sup>Departamento Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: [espinnovacion@inifat.co.cu](mailto:espinnovacion@inifat.co.cu)

<sup>4</sup>Departamento Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: [rcientifica@inifat.co.cu](mailto:rcientifica@inifat.co.cu)

<sup>5</sup>Departamento Recursos Fitogenéticos y Semillas, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT). La Habana, Cuba. E-mail: [genetica11@inifat.co.cu](mailto:genetica11@inifat.co.cu)

**RESUMEN:** La agricultura climáticamente inteligente (ACI) emerge como una solución factible para hacer frente a los desafíos ambientales y sociales actuales, sobre la base de tres pilares fundamentales: incrementar la productividad y los ingresos; generar adaptación y mitigar la emisión de gases de efecto invernadero. Este enfoque toma conocimientos, tecnologías y principios ya existentes de la agricultura sostenible; pero se distingue de estos en el énfasis al abordar el cambio climático. Esta propuesta no es un enfoque único para todos los sistemas productivos. Se trata de encontrar la mejor combinación para transformar cada sistema alimentario, de modo que pueda gestionar los desafíos climáticos actuales y construir resiliencia a los impactos futuros. Los cambios deben producirse en todos los sistemas productivos y a lo largo de toda la cadena, respondiendo a las expectativas locales y nacionales. La ACI considera la interdependencia que existe entre el clima, los ecosistemas, el uso de la tierra, la biodiversidad, la sociedad y el desarrollo sostenible; a la vez que reconoce la variedad de actores implicados en la acción climática. La diversidad agrícola- entendida como diversidad genética dentro de los cultivos, entre parcelas, entre agroecosistemas y en el paisaje; la variedad de alimentos en las dietas y entre regiones; así como la multiplicidad de prácticas agrícolas- puede contribuir a solucionar muchos de los problemas que enfrenta la agricultura en la actualidad. Por todo esto, la ACI puede ser una vía para producir alimentos nutritivos, saludables e inoocuos de manera sostenible, aún bajo condiciones ambientales adversas.

**Palabras clave:** adaptación, agroecosistemas, biodiversidad, mitigación, servicios ecológicos.

\* Correspondencia a: [fisiologiacc@inifat.co.cu](mailto:fisiologiacc@inifat.co.cu)

Recibido: 14/10/2024

Aceptado: 11/11/2024

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Contribución de autores:** Maydelin Dorado Bermúdez: **Conceptualización. Análisis formal, Escritura-borrador original, Escritura-revisión y edición.** Lianne Fernández Granda: **Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal.** Maribel M. Ramírez Vega: **Curación de datos.** Olyra Guzmán Proenza: **Curación de datos.** José Francisco Gil Vidal: **Curación de datos.**

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



**ABSTRACT:** Climate smart agriculture (CSA) is emerging as a feasible solution to face current environmental and social challenges. It is based on three main pillars: the increase of productivity and income, adaptation, and mitigation of greenhouse gases (GHG) emission. This proposal takes advantage of knowledge, technologies and principles of agroecology, but the emphasis is placed on climate change. It is not a unique approach to all agricultural systems. The goal is to find the best combination to transform every food system, in order to manage the current climate challenges and to build resilience to the future impacts. All productive systems must be transformed and along the whole value chain, so they can respond to local and national expectations. CSA takes into consideration the interdependence between climate, ecosystems, biodiversity, society and sustainable development. It also acknowledges the diversity of actors involved in climate action. Agriculture diversity- understood as genetic crop diversity, diversity among fields, agroecosystems and landscapes; food diversity among diets and regions; as well as the multiplicity of agricultural practices- can contribute to solve many problems that agriculture is facing today.

**Key words:** adaptation, agroecosystems, biodiversity, ecosystem services, mitigation.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura en la actualidad se desarrolla en un contexto marcado por las presiones que genera el cambio climático, el incremento de la demanda de alimentos por la creciente población mundial (fundamentalmente en los países en desarrollo), los cambios en las preferencias alimentarias hacia el consumo de alimentos de origen animal y la pérdida de conocimientos ecológicos tradicionales locales (Aswani *et al.*, 2018; IPCC, 2023). Aún más, un tercio de la producción global de alimentos se pierde o es desperdiciada (FAO, 2018).

Se ha estimado que para el 2050, la producción de bienes agrícolas debe incrementarse en un 70 % para responder a las necesidades de alimento humano, animal y de biocombustibles; principalmente en los países en desarrollo (Banco Mundial, 2023). Más recientemente, la pandemia de Coronavirus 2019 (COVID-19) y los conflictos bélicos internacionales han hecho evidente la necesidad de diseñar sistemas agrícolas y cadenas de valor capaces de dar respuestas adecuadas a rupturas drásticas inesperadas (Bissofi *et al.*, 2021; Mishra *et al.*, 2021; Rasul, 2021; OECD/FAO, 2022).

La seguridad alimentaria y el cambio climático están estrechamente conectados en el sector agrícola. Aunque la incertidumbre en las predicciones sobre los efectos del cambio climático hace difícil determinar su impacto preciso sobre la productividad agrícola global, se considera que bajo la mayoría de los escenarios deben esperarse efectos negativos, especialmente en los países en desarrollo (De Pinto *et al.*, 2020, Farooq *et al.*, 2022; IPCC, 2023).

De hecho, la agricultura es también parte del problema, al generar el 22 % de la emisión antropogénica de gases de efecto invernadero (GEI). El cambio climático provocado por el hombre ya está afectando el ambiente y generando eventos extremos en varias regiones del mundo, con el consecuente impacto negativo sobre la seguridad alimentaria y nutricional (IPCC, 2023).

Los modelos de pronóstico del clima a largo plazo indican cambios en los esquemas de temperaturas y precipitaciones, en las épocas de siembra y en la configuración de las plagas y enfermedades. Se espera que se modifique también el conjunto de cultivos capaces de ser viables en estas condiciones, lo que afectaría la producción, los precios, los ingresos y con ello, los medios de vida y la propia vida de las personas.

Esta situación será aún más difícil en muchas zonas del mundo donde la productividad agrícola ya es escasa y los medios para enfrentarse a situaciones adversas son limitados (FAO, 2010; FAO, 2018). Asimismo, las personas de bajos ingresos, tanto en zonas urbanas como rurales, quedarán expuestas a precios de alimentos más altos y más volátiles. También causará la migración por situaciones de dificultad y pondrá en peligro el progreso hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (ONU, 2015; FAO, 2018). Por otra parte, estudios recientes han mostrado que los niveles elevados de CO<sub>2</sub> asociados al cambio climático, reducirán significativamente la calidad nutricional de algunos cultivos en términos de proteínas y micronutrientes. De hecho, la ingestión deficitaria de proteínas, vitamina A, hierro y zinc es ya un gran problema en países de bajos ingresos (Pandey *et al.*, 2021; Chapman *et al.*, 2022).

En este escenario, la capacidad para producir alimentos nutritivos, saludables e inocuos de manera sostenible, aún bajo condiciones ambientales adversas, es una fortaleza para los sistemas productivos. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), preservar y reforzar la seguridad alimentaria requiere que los sistemas de producción agrícola cambien en la dirección de una mayor productividad y también, esencialmente, una menor variabilidad de la producción frente a los riesgos de tipo climático, agroecológico y socioeconómico (FAO, 2010; FAO, 2018). Así, la Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) emerge como una solución que permite alcanzar las metas de seguridad alimentaria y de cambio climático (FAO, 2018). Este tipo de agricultura está en concordancia con los ODS hacia el 2030 (ONU 2015) y con el Marco de Acción en Materia de Biodiversidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022).

## DESARROLLO

### Agricultura climáticamente inteligente

La agricultura climáticamente inteligente (ACI) es aquella que incrementa de manera sostenible la productividad, la resiliencia (adaptación), reduce o elimina la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (mitigación), aumenta el secuestro de carbono (mitigación) y fortalece los logros de metas nacionales de desarrollo y de seguridad alimentaria (FAO, 2010; Lipper *et al.*, 2014). Esto es concebir la agricultura de modo que sea resiliente a los cambios del clima, a la vez que viable a largo plazo.

La ACI se basa en el manejo integrado del paisaje a partir de conocimientos, tecnologías y principios de la agricultura sostenible ya existentes; pero se distingue de estos en el énfasis al abordar el cambio climático, o sea, en el modo de considerar las interrelaciones que existen entre la productividad, la adaptación y la mitigación (FAO, 2018). Consiste en la implementación de prácticas agrícolas que permitan la adaptación y reduzcan la emisión de GEI, sin poner en riesgo la seguridad alimentaria (De Pinto *et al.*, 2020; IPCC, 2023). Como consecuencia, el enfoque de ACI tiene un alto componente de conocimiento intensivo y requiere apoyos institucionales y de financiamiento considerables (FAO, 2010; FAO, 2018).

La ACI trata de alcanzar simultáneamente tres objetivos, teniendo en cuenta las sinergias y las compensaciones entre ellos:

#### *Incremento de la productividad y los ingresos:*

Se trata de producir más alimentos nutritivos, inocuos y saludables, que permitan garantizar la seguridad nutricional, particularmente para las poblaciones rurales de países en desarrollo cuyas economías dependen esencialmente de la agricultura. Este objetivo no solo incluye sistemas agrícolas que garanticen un incremento sostenible y equitativo de la productividad y los medios de vida, sino que aborda además la reducción de las pérdidas y desperdicios de alimentos, como componente importante para alcanzar las metas climáticas. El incremento de la productividad se logra cuando las salidas en términos de mercancías agrícolas aumentan por unidad de insumo, por ejemplo, por unidad de tierra, agua o energía (FAO, 2010; Smith *et al.*, 2020).

*Aumentar la resiliencia:* Hacer que los sistemas agrícolas sean más resistentes a los impactos climáticos que enfrentan ya y a los futuros. Por ejemplo, reducir la vulnerabilidad a la sequía, la salinidad, las plagas, enfermedades y otros tipos de estrés; mejorar la capacidad de adaptación y crecimiento de la productividad frente a los efectos negativos a largo plazo como épocas de siembra cada vez más cortas y patrones climáticos erráticos. Se trata de lograr mayor adaptación y resiliencia desde la finca hasta el nivel nacional (Caron *et al.*, 2018; De Pinto *et al.*, 2020).

*Reducción de las emisiones de GEI:* El objetivo es alcanzar los niveles necesarios de crecimiento de la producción, pero con una menor trayectoria de emisiones de GEI. Se trata de maximizar las sinergias entre estos dos aspectos siempre que sea posible, o minimizar las afectaciones en la productividad como resultado del logro de la mitigación, y viceversa. En otras palabras, alcanzar emisiones de GEI menores por cada caloría o kilogramo de alimento producido; aumentar los sumideros de carbono; por ejemplo, evitando la deforestación causada por la agricultura e identificar vías para remover carbono de la atmósfera en los sistemas de cultivo. En resumen, reducir o eliminar emisiones de GEI donde sea posible (FAO, 2010; IPCC, 2023).



e-ISSN: 2414-4673

Agrotecnia de Cuba

p-ISSN: 0568-3114



La ACI no es un enfoque único para todos los sistemas productivos, sino que sobre la base de estos tres pilares, trata de encontrar la mejor combinación para gestionar los desafíos climáticos actuales en el sector agrícola y construir resiliencia a los impactos futuros. Se busca transformar los sistemas alimentarios mediante caminos diferentes, de manera que respondan a las expectativas locales y nacionales: acciones locales en el contexto de las prioridades globales. Las transformaciones deben ser planeadas, diseñadas, implementadas y monitoreadas por aquellos que están localmente involucrados en su aplicación, dentro de los parámetros del desarrollo sostenible a nivel nacional y global (Caron et al., 2018). Los agricultores deben identificar qué puede ser considerado climáticamente inteligente en su contexto biofísico, agrícola y socioeconómico, tratando de lograr consistencia entre las acciones globales dirigidas al desarrollo sostenible y las innovaciones locales (Caron et al., 2018; De Pinto et al., 2020).

Las transiciones deben ocurrir en todos los sistemas alimentarios y a lo largo de toda la cadena alimentaria (FAO, 2018). Los sistemas alimentarios consisten en todos los elementos (ambiente, personas, insumos, procesos, infraestructuras, instituciones, entre otros) y las actividades que se relacionan con la producción, el procesamiento, la distribución, preparación y consumo de alimentos, así como las salidas de estas actividades (HLPE, 2014). En consecuencia, el rediseño de estos sistemas debe tener en cuenta la gran diversidad con que se manifiestan (Ingram, 2011).

Los cambios deben producirse tanto en los sistemas agrícolas comerciales como en los de subsistencia, pero con diferencias significativas entre ellos en cuanto a las prioridades y la capacidad. En los sistemas comerciales, el aumento de la eficiencia y la reducción de emisiones, así como otros impactos medioambientales negativos, son preocupaciones clave (FAO, 2010). En los países eminentemente agrícolas, en los que la agricultura resulta crítica para el desarrollo económico, transformar los sistemas de pequeños propietarios resulta importante no solo para la seguridad alimentaria, sino también para la reducción de la pobreza, el logro de la justicia social y aspectos económicos como el crecimiento agregado

y el cambio estructural (FAO, 2018; Banco Mundial, 2023; Hamadeh et al., 2024).

A pesar de ser el sector más vulnerable ante fenómenos climáticos extremos y cambiantes, la agricultura también cuenta con numerosas oportunidades para mitigar el cambio climático, adaptarse a sus efectos, contribuir positivamente al desarrollo sostenible y al logro de otras metas sociales. Algunos componentes del sistema agrícola (suelos, bosques y océanos) tienen un gran potencial para reducir las emisiones, almacenar grandes cantidades de carbono, apoyar el desarrollo socioeconómico y el fortalecimiento de la resiliencia (FAO, 2018; IPCC, 2023).

En este sentido, los enfoques basados en la naturaleza (EBN) son considerados opciones efectivas para reducir el riesgo climático. Se refieren al conjunto de acciones dirigidas a proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados, que permiten enfrentar los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (IUCN, 2020). Los EBN incluyen un conjunto de prácticas como la adaptación basada en los ecosistemas y la biodiversidad; así como los usos de la tierra que promueven esta visión (FAO, 2018).

Estas alternativas deben estar acompañadas de otras medidas, como la reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos; así como el fomento de dietas saludables y nutritivas, que sean además sostenibles en términos económicos, ambientales y sociales (Smith et al., 2020; IPCC, 2023). La transición a una dieta saludable sostenible implica reducir el sobreconsumo (particularmente de alimentos derivados de la ganadería), en las poblaciones consumidoras en exceso y el incremento del consumo de algunos grupos de alimentos, en poblaciones en las cuales las necesidades nutricionales mínimas no están satisfechas (Smith et al., 2020).

La alimentación de la población mundial descansa esencialmente en cereales como el arroz, el trigo y el maíz; acompañado de un pequeño grupo de cultivos conformado por cereales anuales, leguminosas, caña de azúcar, raíces y tubérculos, los cuales en conjunto proporcionan las calorías de origen vegetal (FAOSTAT, 2024).

Las dietas humanas se han hecho más homogéneas a nivel global, de modo que la producción intensiva de un reducido grupo de cultivos ha contribuido a la pérdida de biodiversidad y el conocimiento biocultural que la acompaña (Khoury *et al.*, 2014; Kruga *et al.*, 2023).

### Adaptación basada en los ecosistemas y la biodiversidad

El manejo adecuado de los ecosistemas y la biodiversidad facilita un grupo de servicios ecológicos que pueden desembocar en sistemas agrícolas con una mayor resiliencia, productividad y sostenibilidad, además de contribuir a la reducción o eliminación de los GEI (FAO, 2018).

La biodiversidad- genética, de especies y de los ecosistemas- garantiza servicios ecológicos como la polinización, el ciclo de los elementos nutritivos, la purificación del agua y la regulación de los flujos hídricos, la lucha contra las plagas y enfermedades, la fijación del carbono, la protección contra inundaciones y tormentas, la eliminación de contaminantes del aire, la creación y mantenimiento de los suelos, la descomposición de residuos, la provisión de hábitats, la regulación del microclima, la digestión de piensos fibrosos en los rumiantes, la fermentación de algunos productos alimenticios, entre otros (FAO, 2022). La adopción de distintas prácticas de manejo de los recursos naturales y de la producción, puede propiciar y reforzar la biodiversidad funcional, o sea, la que soporta directamente los servicios agroecosistémicos (Gerits *et al.*, 2021), también denominada biodiversidad asociada (FAO, 2022).

El diseño de los agroecosistemas debe favorecer la biodiversidad de cultivos, tanto espacial como temporal (Sirami *et al.*, 2019; Maier *et al.*, 2022). La diversidad de recursos genéticos vegetales entre especies y dentro de una misma especie, así como sus parientes silvestres, resulta crucial para desarrollar tolerancia a rupturas bruscas como temperaturas extremas, sequías, inundaciones, plagas y enfermedades. Permite hacer un uso más eficiente de los recursos como los fertilizantes y el agua, acortar los ciclos de producción y generar mayores rendimientos, calidad y contenido nutricional por área de tierra cultivada (FAO, 2010).

La heterogeneidad de los cultivos y la biodiversidad alrededor y dentro de las parcelas agrícolas (por ejemplo, las cercas vivas, el cultivo de flores en franjas y la creación de hábitats seminaturales), puede ser una manera efectiva para mitigar los impactos negativos de la agricultura sobre la biodiversidad, potenciar los servicios ecosistémicos y evitar que las tierras dedicadas a la producción agrícola sean retiradas como resultado de la degradación (Sirami *et al.*, 2019; Zeng *et al.*, 2023).

Una de las fuentes de biodiversidad se encuentra en los recursos genéticos conservados en los Bancos de Germoplasma de diferentes países (Pathirana y Carimi, 2022). La caracterización detallada de estos genotipos, particularmente su respuesta a varios tipos de estrés biótico y abiótico, así como el efecto de las condiciones ambientales adversas sobre la calidad y contenido nutricional de los cultivos, es necesaria para identificar genes, vías metabólicas y caracteres que permitan la adaptación al cambio climático (Pandey *et al.*, 2021; Chapman *et al.*, 2022).

Estos recursos son también esenciales para el mejoramiento genético de los cultivos, considerado como una de las opciones de adaptación más efectivas para reducir el riesgo climático (IPCC, 2023). El empleo de técnicas de mejoramiento, tanto convencionales como de precisión, permite desarrollar cultivos climáticamente inteligentes para la seguridad alimentaria y nutricional sostenible (Pandey *et al.*, 2021).

Actualmente, la sequía y la salinidad son considerados los factores climáticos más limitantes de la productividad agrícola y se ha pronosticado que serán causantes de pérdidas a mediano y largo plazo (IPCC, 2023). Asimismo, los cambios en la configuración de las plagas y enfermedades asociados a las alteraciones en el clima también requerirán de genotipos adaptados a estas nuevas condiciones. Por tanto, la comprensión de los mecanismos genético-moleculares de la tolerancia a estos tipos de estrés biótico y abiótico es importante para el desarrollo de cultivos climáticamente resilientes (Pandey *et al.*, 2021). Igualmente, las especies silvestres emparentadas con las domesticadas contienen un potencial para la domesticación y proporcionan un conjunto de recursos genéticos para la hibridación y la selección (Engels y Thormann, 2020; FAO, 2022).

Otra fuente importante para el mejoramiento genético y para generar diversidad en los agroecosistemas y en las dietas, lo constituyen los cultivos subutilizados. Los cultivos subutilizados son aquellos que se han originado en una ubicación geográfica específica o que independientemente del lugar de origen, han sido objeto de domesticación intensa a nivel local, dando lugar a cultivos naturalizados o indígenas (Dawson et al., 2007). También pueden ser semidomesticados o silvestres (Ali y Bhattacharjee, 2023).

Algunos son considerados tradicionales, porque se han empleado por siglos o incluso milenios por los agricultores; asimismo se conocen como prometedores, por su valor para los mercados emergentes o por la presencia de caracteres adaptativos valiosos; o cultivos de nicho, por su importancia secundaria en las economías y los sistemas de producción (Gregory et al., 2019). Se caracterizan por el limitado uso que reciben dado su potencial, lo que ha resultado en cadenas de valor pobremente desarrolladas y no comprendidas aún del todo, aunque esto varía entre entornos geográficos y socioeconómicos (Mabhaudhi et al., 2019).

Los cultivos subutilizados pueden aprovecharse para la comercialización o como medio de subsistencia. Permiten enfrentar los ODS (ONU, 2015) y responder a los intereses de los consumidores en alimentos más saludables y nutritivos (Dawson et al., 2019). Esta categoría incluye a cereales, leguminosas, frutos y raíces cuyos hábitos de consumo se han perdido o reducido (Tadele, 2019). No obstante, una especie puede ser considerada subutilizada en una región y no serlo en otras (Talabi et al., 2022).

La mayoría de los cultivos subutilizados se comportan mejor que los habituales bajo los escenarios climáticos cambiantes, debido a que tienen adaptaciones que le permiten desarrollarse con una baja demanda de recursos, como por ejemplo el agua, y le confieren tolerancia/resistencia al estrés biótico y abiótico (Talabi et al., 2022). Su empleo en tierras afectadas por el cambio climático contribuye al secuestro neto de carbono y brinda una oportunidad para reducir las emisiones de GEI, así como disminuir los costos de producción para los pequeños productores y agricultores

de subsistencia (Toensmeier et al., 2020). Además, tienen una calidad nutricional superior a la mayoría de los cereales esenciales para el consumo humano, algunos se utilizan como alimento animal o son fuente de sustancias medicinales, cosméticas, biocombustibles u otras materias primas industriales (Kamenya et al., 2021). Su inclusión en los sistemas de monocultivo actuales puede contribuir a su transformación en sistemas más sostenibles, diversificados y de mayor calidad nutricional (Ali y Bhattacharjee, 2023).

Los cultivos subutilizados constituyen un *pool* genético amplio de gran valor para el mejoramiento genético. A pesar de que ya se dispone de un borrador del genoma de 28 de ellos, la implementación de programas de mejoramiento estructurados, que utilicen las ventajas de las herramientas más modernas, requerirá un esfuerzo coordinado de inversiones en investigación. Igualmente será necesario desarrollar estrategias adecuadas de conservación de este germoplasma, así como sistemas de producción de semillas, servicios de extensión agrícola y canales de comercialización (Kamenya et al., 2021; Talabi et al., 2022).

La biodiversidad de cultivos, tanto los provenientes del mejoramiento genético como los tradicionales y subutilizados, deben estar disponibles de manera oportuna para los agricultores, a la medida de sus necesidades, la de los ecosistemas y de las preferencias de los consumidores (FAO, 2019b). Para ello, es necesario reforzar el sistema que conecta las colecciones de germoplasma vegetal, el fitomejoramiento y la distribución de semillas (FAO, 2010; Pathirana y Carimi, 2022).

Durante el siglo pasado desapareció aproximadamente el 75 % de los recursos fitogenéticos, mientras que un tercio de la diversidad existente hoy en día pudiera desaparecer en 2050 (FAO, 2010). Por lo tanto, es crucial incrementar el apoyo prestado a la colecta, la conservación y la utilización de los recursos fitogenéticos (Pathirana y Carimi, 2022). También se necesitan fondos para revitalizar los programas públicos de fitomejoramiento. Las políticas deberían contribuir a vincular los sistemas formales de semillas con los de conservación en las fincas y promover la formación de empresas locales de semillas (FAO, 2010).

En general, las acciones capaces de detener, enlentecer o reducir la pérdida de biodiversidad pueden al mismo tiempo reducir significativamente los efectos adversos del cambio climático provocado por el hombre (Shin *et al.*, 2022). Mantener la resiliencia de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos a escala global depende de la conservación, restauración y protección efectiva y equitativa de los ecosistemas (incluyendo los seminaturales); unido a estrategias de manejo dirigidas a lograr la adaptación a los impactos inevitables del cambio climático. Estas medidas pudieran contribuir, además, a incrementar la remoción y el almacenamiento de carbono. No obstante, los escenarios de cambio climático analizados hasta el momento indican que la efectividad de estas acciones declina con el aumento del calentamiento global y se hace más sensible a partir de un aumento de la temperatura de 3 °C (IPCC, 2023).

### **Usos de la tierra que protejan la biodiversidad, conserven los recursos naturales y promuevan los servicios ecosistémicos**

Durante los últimos 40 años, el mundo ha perdido 430 millones de hectáreas de tierra, esto es un tercio de la tierra cultivable (FAO, 2022). Las tierras ocupadas por la agricultura abarcan el 38 % de la superficie terrestre global (FAO, 2020) y casi el 25 % de la producción primaria neta se destina al consumo humano (Haberl *et al.* 2007). Sin embargo, el incremento de la demanda de productos agrícolas prevista para el 2050 amenaza con aumentar la presión sobre los sistemas productivos y, en consecuencia, incrementar estos valores en las próximas décadas (Zabel *et al.*, 2019; Farooq *et al.*, 2022).

Hasta el presente las estrategias para aumentar la productividad han incluido: (1) la expansión hacia tierras no cultivadas y (2) la intensificación de la producción agrícola. Ambos enfoques afectan negativamente la biodiversidad y los servicios ecológicos; el primer caso, porque provoca la pérdida y fragmentación de los hábitats naturales; mientras que el segundo ejerce su efecto negativo mediante la simplificación del paisaje, la homogenización de los hábitats, la demanda de irrigación y el alto consumo de agroquímicos, como fertilizantes y pesticidas

(Zabel *et al.*, 2019; Gerits *et al.*, 2021). La modelación del comportamiento de ambos escenarios en el futuro ha revelado que, de mantenerse estas estrategias, se logrará reducir efectivamente el precio de los alimentos, aún en regiones donde se espera que la producción decrezca (Zabel *et al.*, 2019). No obstante, este aumento de la disponibilidad de alimentos y la consecuente reducción de los precios, tendrá lugar a costa de la biodiversidad, sobre todo en las zonas tropicales en desarrollo.

La expansión de la agricultura afectará fundamentalmente las regiones biogeográficas donde hay una especial concentración de biodiversidad amenazada por la actividad humana (puntos críticos de biodiversidad) en América Central y Sudamérica; en tanto la intensificación amenazarla la biodiversidad en el África Subsahariana, la India y China. Por el contrario, Europa y Norteamérica se beneficiarán de los bajos precios mundiales de los alimentos, sin poner en riesgo su propia biodiversidad (Zabel *et al.*, 2019).

Por tanto, lograr la satisfacción de las demandas futuras de biomasa, a la vez que se salvaguardan los ecosistemas y la biodiversidad, requiere de un enfoque novedoso en el uso de la tierra, en concordancia con los ODS 2, 12 y 15 (ONU, 2015; Caron *et al.*, 2018). Con este propósito, se trabaja por cambiar el paradigma basado en conservar y restaurar la biodiversidad a escala de parcela, por hacerlo a escala de paisaje (Estrada-Carmona *et al.*, 2022; Meier *et al.*, 2022). El incremento de la complejidad del paisaje a través de cambios en la composición, la configuración o la heterogeneidad afectan positiva y significativamente la biodiversidad. Estudios recientes han mostrado que la heterogeneidad del paisaje tiene un efecto mucho más positivo sobre la biodiversidad, que la cantidad de cubierta seminatural presente en un área determinada (Sirami *et al.*, 2019).

Los paisajes más complejos albergan más biodiversidad (riqueza, abundancia y equitatividad), con beneficios potenciales para la producción agrícola sostenible y la conservación (Estrada-Carmona *et al.*, 2022). Este enfoque debe considerar, además, la variedad de usuarios y propietarios de tierras que pueden encontrarse en el paisaje de las áreas rurales, con intereses y roles divergentes, no siempre relacionados directamente con la agricultura.



En el caso de las zonas rurales densamente pobladas y altamente urbanizadas, la presencia de diferentes usuarios con demandas y prioridades diversas, generan un mosaico de usos de la tierra, que se traduce en una mayor presión y una mayor fragmentación del paisaje (Gerits et al., 2021). Entre los usos diferentes a la producción de alimentos en países desarrollados se mencionan las funciones residenciales, la cría de animales con interés recreacional (como caballos, por ejemplo), los parques de negocios y la conservación de la naturaleza (Gerits et al., 2021). En consecuencia, los intentos por promover los servicios ecológicos a escala de paisaje no deben dirigirse a una sola función en el ecosistema y un solo grupo de actores, sino que debe estar relacionada con diferentes actores rurales y diferentes funciones (Gerits et al., 2021).

En esta dirección, las tierras públicas representan una oportunidad importante para la adaptación climática, ya que sus usos están sujetos a una planificación y monitoreo a largo plazo, requieren de la participación pública en el proceso de toma de decisiones y prestan servicios ecológicos, culturales, sociales y económicos a las comunidades de sus alrededores (Clifford et al., 2020). No obstante, los esfuerzos para llevar a cabo acciones que permitan la adaptación climática deben enfrentar el reto de conciliar las necesidades de las comunidades, la aplicación de los conocimientos científicos y el cumplimiento de las leyes y políticas establecidas en cada lugar (Clifford et al., 2020).

La planificación del uso de las tierras puede basarse en criterios como la optimización, según el cual se otorga a cada parcela el uso más eficiente y así se logra una distribución determinada en el paisaje; otras propuestas basadas en la agroecología enfatizan la agricultura multifuncional a nivel de la finca y el paisaje, apoyada en la heterogeneidad, la resiliencia y las interacciones ecológicas entre las tierras cultivadas y las no cultivadas. La decisión sobre cuál enfoque es más apropiado para un paisaje en particular está determinada por factores tanto biofísicos como sociales (Estrada-Carmona et al., 2022). Por consiguiente, la toma de decisiones en materia de usos de la tierra debe basarse en un marco conceptual que combine las escalas de parcela y paisaje, considerando la posición, la calidad y la conectividad entre los terrenos agrícolas

y los hábitats seminaturales (Jeanneret et al., 2021); pero dentro de un sistema que integre la ecología y la sociedad (Gerits et al., 2021).

Una manera de mitigar los efectos del cambio climático y generar adaptación es la restauración de tierras degradadas para incorporarlas a la producción de alimentos (IPCC, 2023). Esto puede lograrse por ejemplo mediante la siembra de cultivos altamente nutritivos y tolerantes al estrés biótico y abiótico, lo cual contribuye al logro de la autosuficiencia alimentaria y la diversificación de las dietas (Talabi et al., 2022).

La restauración ecológica también incluye el empleo de tierras en la reforestación y la agroforestería, con lo cual se convierten en importantes sumideros de carbono, reducen las emisiones de GEI (mitigación) y contribuyen a la adaptación al cambio climático. Sin embargo, esto genera un efecto compensatorio entre estas funciones y la agricultura, de modo que el aumento de tierras destinadas a estos fines limita la disponibilidad de tierras para las actividades agrícolas y con ello se reduce la producción (Smith et al., 2020). Minimizar estas compensaciones en el uso de la tierra requiere un enfoque integrador que satisfaga múltiples objetivos, incluyendo la seguridad alimentaria (IPCC, 2023).

### **Diversidad de prácticas de manejo para una agricultura climáticamente inteligente**

La ACI se nutre de todas las estrategias ya disponibles- relacionadas fundamentalmente con el manejo de las tierras, de las cadenas de valor y de los riesgos- que contribuyen a lograr la adaptación, reducen la emisión de GEI y garantizan la seguridad alimentaria (Smith et al., 2020). Unido a la biodiversidad, la diversidad de los sistemas de cultivo y el mejoramiento del manejo de las tierras agrícolas constituyen elementos clave para alcanzar estos objetivos, a la vez que sus efectos positivos pueden solaparse con otros elementos, como las ya mencionadas cadenas de valor y el análisis de riesgo (Smith et al., 2020).

La diversificación incluye un conjunto de prácticas dirigidas no solo a mejorar la resiliencia a las variaciones del clima y a los eventos extremos, sino a responder además a los riesgos económicos impuestos por las fuerzas fluctuantes del mercado (Smith et al., 2020).

Esto abarca también la posibilidad de transformar los sistemas que generan mercancías agrícolas de bajo valor, por otros más diversos, capaces de proporcionar un conjunto de productos de alto valor agregado (Smith *et al.*, 2020). La eficiencia general, resiliencia, capacidad de adaptación y potencial de mitigación de los sistemas de producción pueden reforzarse mejorando sus distintos componentes (FAO, 2010). Algunos que resultan clave para alcanzar estos objetivos se resumen a continuación.

*Manejo sostenible del suelo:* Incluye medidas para garantizar la salud del suelo en términos de la riqueza de biota y materia orgánica, la rehabilitación para incrementar la reabsorción de carbono (recuperar carbono perdido durante la degradación), el contenido de agua, la salinización y la compactación. Se aplican prácticas de conservación como la labranza mínima o cero labranza, la rotación de cultivos, la siembra de cultivos de cobertura, sistemas de cultivos perennes, sistemas racionales de pastoreo, sistemas mixtos agropecuarios y agroforestales; la aplicación de enmiendas que incrementen la capacidad de retención de agua y nutrientes, a la vez que estabilicen la materia orgánica añadida; prácticas ingenieriles para evitar la erosión ocasionada por el agua, como la construcción de terrazas y bancos de contorno; las barreras forestales y el cultivo en franjas para impedir la erosión provocada por el viento; el manejo del riego y de las aguas superficiales y subterráneas para evitar la salinización; técnicas agrícolas para reducir la compactación, como el control de la densidad del ganado y la rotación de cultivos.

*Manejo sostenible de los nutrientes:* Se refiere al empleo de prácticas y métodos que reduzcan la aplicación de fertilizantes sintéticos, con lo cual no sólo se reduce su efecto nocivo sobre el aire, el suelo y los cauces fluviales; sino también la emisión de GEI que se generan durante su producción y transporte. Además, pocas veces son accesibles para los pequeños productores debido a su costo (FAO, 2010; FAO, 2018). Los mejores rendimientos se consiguen cuando los nutrientes proceden de una combinación de fertilizantes minerales y fuentes naturales (FAO, 2018). Las medidas incluyen los enfoques de precisión,

por ejemplo, la gestión de nutrientes en función de la ubicación y las tecnologías de aplicación a profundidad y liberación lenta; la selección del tipo de fertilizantes (abonos orgánicos, compost, mineral o una combinación); biofertilizantes (Kumar *et al.*, 2022); cultivos y árboles fijadores de nitrógeno y el uso de inhibidores de la nitrificación (FAO, 2018, Smith *et al.*, 2020).

*Manejo integrado del agua:* Consiste en la creación de estrategias holísticas para promover el uso integral, racional, sostenible, eficiente y equitativo del agua en los agroecosistemas (Smith *et al.*, 2020). Incluye el riego de precisión, el riego deficitario y la reutilización de las aguas residuales; el incremento del contenido de materia orgánica del suelo para aumentar su capacidad de retención de agua; el drenaje de suelos minerales anegados; técnicas de captación y almacenamiento de agua (estanques, diques, pozos, cadenas de retención, tanques comunitarios); la agroforestería y la agricultura de conservación (FAO, 2010; FAO, 2018 y Smith *et al.*, 2020).

*Control de plagas y enfermedades:* Se basa en diseños del paisaje que promuevan la biodiversidad y con ello los servicios ecológicos que controlen la aparición de plagas y la transmisión de patógenos. Requiere de la aplicación de enfoques innovadores del manejo integrado de plagas, basado en el ecosistema y los servicios ecológicos (FAO, 2019a). Se ha propuesto un manejo multidimensional, con una dimensión espacial que considera los efectos de la interacción suelo-cultivo-plaga-enemigos naturales y la dimensión temporal, que tiene en cuenta estas interacciones a través de las épocas de siembra (Han *et al.*, 2024). Esto incluye la plantación de variedades resistentes; la diversificación de los cultivos, la siembra de flores en franjas, las cercas vivas, la conservación de los depredadores; la gestión de la cantidad de nutrientes que reciben las plantas para reducir la reproducción de los insectos; el combate de enfermedades mediante el empleo de material limpio para la siembra, la rotación de cultivos para eliminar patógenos, la eliminación de las plantas huésped infectadas; la gestión eficaz de las malas hierbas a través de la eliminación manual oportuna,



la labranza mínima y el uso de residuos de superficie; en caso necesario se puede realizar control selectivo mediante el empleo de plaguicidas sintéticos de menor riesgo, en la cantidad adecuada y en el momento oportuno (FAO, 2019a; Albrecht *et al.*, 2021).

La diversificación de la agricultura incluye un amplio rango de opciones tecnológicas, disponibles para los agricultores, las cuales pueden traducirse en una mejor adaptación al cambio climático. Sin embargo, estas acciones no son siempre económicamente viables. Barreras tecnológicas, biofísicas, educacionales y culturales pueden limitar la adopción de sistemas agrarios más diversos (Smith *et al.*, 2020). Por tanto, el financiamiento adecuado y accesible es esencial para alcanzar estos objetivos (Lipper *et al.*, 2021). Es necesario disponer de mecanismos financieros que apoyen los altos valores sociales que pueden generarse con estas transformaciones y que tengan en cuenta las características específicas de este tipo de inversión, como por ejemplo el riesgo derivado del desarrollo prácticas innovadoras, cuya efectividad no ha sido comprobada con anterioridad y las tasas de retorno lentas (Lipper *et al.*, 2021).

### CONCLUSIONES

La aplicación de la ACI a nivel local, pero en el contexto de prioridades globales, puede generar efectos positivos sobre los tres pilares que la sostienen: el incremento de la productividad y los ingresos; el aumento de la resiliencia y la reducción de emisiones de GEI. No obstante, para lograr un impacto significativo, estos principios deben aplicarse en todos los sistemas de producción y a lo largo de toda la cadena.

Este tipo de agricultura se nutre de todas las estrategias y prácticas agrícolas ya disponibles; a la vez que considera la interdependencia que existe entre el clima, los ecosistemas, los usos de la tierra, la biodiversidad, la sociedad y el desarrollo sostenible. Además, reconoce la variedad de actores implicados en la acción climática. Su aplicación requiere de un fuerte apoyo institucional y financiero, que permita la transición desde la agricultura convencional hacia una resiliente ante los cambios del clima, que garantice el cumplimiento de las metas de seguridad alimentaria y de cambio climático.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albrecht, M.; Kleijn, D. y Williams, N.M. (2021). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters* 23: 1488–1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- Ali, A. y Bhattacharjee, B. (2023). Nutrition security, constraints, and agro-diversification strategies of neglected and underutilized crops to fight global hidden hunger. *Front. Nutr.* 10:1144439. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1144439>
- Aswani, S.; Lemahieu, A. y Sauer, W.H.H. (2018). Global trends of local ecological knowledge and future implications. *PLoS ONE* 13(4): e0195440. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195440>
- Banco Mundial. (2023). Agricultura y alimentos. Disponible en: <http://bancomundial.org>. Última actualización: 31 de marzo de 2023.
- Bisoffi, S.; Ahrné, L.; Aschemann-Witzel, J.; Báldi, A.; Cuhls, K.; De Clerck, F., *et al.* (2021). COVID-19 and sustainable food systems: what should we learn before the next emergency. *Front. Sustain. Food Syst.* 5, 650987. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.650987>
- Caron, P.; Ferrero, G.; Nabarro, D. *et al.* (2018). Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation. *Agronomy for Sustainable Development* 38: 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0519-1>
- Chapman, M.A.; He, Y. y Zhou, M. (2022). Beyond a reference genome: pangenomes and population genomics of underutilized and orphan crops for future food and nutrition security. *New Phytologist* 234: 1583–1597. <https://doi.org/10.1111/nph.18021>
- Clifford, K.R.; Yung, L.; Travis, W.R.; Rondeau, R.; Neely, B.; Rangwala, I.; Burkardt, N. y Wyborn, C. (2020). Navigating climate adaptation on public lands: how views on ecosystem change and scale interact with management approaches. *Environmental Management* (2020) 66:614–628. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01336-y>
- Dawson, I.; Guarino, L. y Jaenicke, H. (2007). Underutilised plant species: impacts of promotion on biodiversity. *ICUC Position Pap.* 23. ISBN: 978-955-1560-05-9

- Dawson, I.K.; McMullin, S.; Kindt, R.; Muchugi, A.; Hendre, P.; Lillesø, J-PB. y Jamnadass, R. (2019). Delivering perennial new and orphan crops for resilient and nutritious farming systems. En: Rosenstock TS, Girvetz E, Nowak A (eds) The climate-smart agriculture papers. Springer, Cham, pp 113–125
- De Pinto, A.; Cenacchi, N.; Kwon, H-Y.; Koo, J. y Dunston, S. (2020). Climate smart agriculture and global food-crop production. PLoS ONE 15(4): e0231764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231764>
- Engels, J.M.M. y Thormann, I. (2020). Main challenges and actions needed to improve conservation and sustainable use of our crop wild relatives. Plants 9: 968. <https://doi.org/10.3390/plants9080968>
- Estrada-Carmona, N.; Sánchez, A.C.; Remansa, R. y Jonesa, S.K. (2022). Complex agricultural landscapes host more biodiversity than simple ones: A global meta-analysis. PNAS 119 (38): e2203385119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2203385119>
- FAO (2010). Agricultura "climáticamente inteligente". Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO (2018). El trabajo de la FAO sobre el cambio climático. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO (2019a). FAO'S Work on Plant Production and Protection. <http://www.fao.org/CA5043/EN/1/06.19>.
- FAO (2019b). Voluntary Guidelines for the Conservation and Sustainable Use of Farmers' Varieties/Landraces. Rome. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca5601en/ca5601en.pdf>
- FAO (2020). Alimentación y agricultura sostenibles. Uso de la tierra en la agricultura según las cifras. Fecha publicación: 7 de mayo de 2020. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO (2022). Agricultura de Conservación. CB8350ES/1.03.22. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO (2024). FAOSTAT Food Balances Sheets 2010-2022. Disponible en: [www.fao.org/faostat/](http://www.fao.org/faostat/).
- Farooq, M.S.; Uzair, M.; Raza, A.; Habib, M.; Xu, Y.; Yousuf, M.; Yang, S.H. y Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the research gaps to alleviate the negative impacts of climate change on food security: A Review. Front. Plant Sci. 13:927535. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.927535>
- Gerits, F.; Messely, L.; Reubens, B. y Verheyen, K. (2021). A social-ecological framework and toolbox to help strengthening functional agrobiodiversity-supported ecosystem services at the landscape scale. Ambio 50:360–374. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01382-0>
- Gregory, P.J.; Mayes, S.; Hui, CH; Jahanshiri, E.; Julkifle, A.; Kuppusamy, G.; Kuan, H.W.; Lin, T.X.; Massawe, F.; Suhairi, TASTM. y Azam-Ali, S.N. (2019). Crops For the Future (CFF): an overview of research efforts in the adoption of underutilised species. Planta 250:979–988. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03179-2>
- Haberl, H.; Erb, K. H.; Krausmann, F.; Gaube, V.; Bondeau, A.; Plutzer, C.; Gingrich, S.; Lucht, W. y Fisher-Kowalski, M. (2007). Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. PNAS 104: 12942-12947. <https://doi.org/10.1073/pnas0704243104>
- Hamadeh, N.; van Rompaey, C. y Metreau, E. (2023). Clasificación de países elaborada por el Grupo Banco Mundial según los niveles de ingreso para el año fiscal 2024 (1 de julio de 2023-30 de junio de 2024). Disponible en: <https://blogs.worldbank.org>
- Han, P.; Rodríguez-Saona, C.; Zalucki, M. P. y Liu, S. (2024). A theoretical framework to improve the adoption of green Integrated Pest Management tactics. Communications Biology 7: 337. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06027-6>
- HLPE (2014). Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3901e.pdf>
- Ingram, J.S.I. (2011). A food systems approach to researching interactions between food security and global environmental change. Food Security 3:417–431. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0149-9>
- IUCN (2020). Global Standard for Nature-based Solutions: first edition. Disponible en: <https://iucn.org>.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)(2023). Summary for Policymakers. En: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Jeanneret, Ph.; Aviron, S.M.; Alignier, A.; Lavigne, C.; Helfenstein, J.; Herzog, F.; Kay, S. y Petit, S. (2021). Agroecology landscapes. *Landscape Ecol.* 36:2235–2257 <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01248-0>
- Kamenya, S.N.; Mikwa, E.O.; Song, B. y Odeny, D.A. (2021). Genetics and breeding for climate change in orphan crops. *Theoretical and Applied Genetics* 134:1787–1815. <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03755-1>
- Khoury, C.K.; Bjorkman, A.D.; Dempewolf, H.; Ramírez-Villegas, J.; Guarino, L.; Jarvis, A.; Riesenberger, L.H. y Struik, P.C. (2014). Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 111: 4001–4006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
- Kruga, A. S.; Drummond, E. B.; Van Tassel, D. L. y Warschefsky, E. J. (2023). The next era of crop domestication starts now. *PNAS* 120 (14): e2205769120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2205769120>
- Kumar, S.; Diksha, Sindhu, S.S. y Kumar, R. (2022). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Curr. Res. Microb. Sci.* 3: 100094. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094>
- Lipper, L.; Thornton, P.; Campbell, B.M.; Baedeker, T.; Braimoh, A.; Bwalya, M.; et al. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change* 4: 1068-1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Lipper, L.; Cavatassi, R.; Symons, R.; Gordes, A. y Page, O. (2021). Financing adaptation for resilient livelihoods under food system transformation: the role of Multilateral Development Banks. *Food Security* (2021) 13:1525–1540. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01210-7>
- Mabhaudhi, T.; Chimonyo, V.G.P.; Hlahla, S.; Massawe, F.; Mayes, S.; Nhamo, L. y Modi, A.T. (2019). Prospects of orphan crops in climate change. *Planta* 250: 695–708 <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03129-y>
- Meier, E.S.; Lüscher, G. y Knop, E. (2022). Disentangling direct and indirect drivers of farmland biodiversity at landscape scale. *Ecology Letters*, 25, 2422–2434. <https://doi.org/10.1111/ele.14104>
- Mishra, A.; Bruno, E. y Zilberman, D. (2021). Compound natural and human disasters: Managing drought and COVID-19 to sustain global agriculture and food sectors. *Sci. Total Environ.* 754, 142210. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142210>
- OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022. "Regional briefs", in *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/a9646eec-en>
- ONU. 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponible en: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E).
- UN. in A/RES/70/1 (Resolution adopted by the United Nations General Assembly on 25 September 2015, UN 2015).
- Pandey, G.K.; Chinnusamy, V. y Lenka, S.K. 2021. Genes, Genomes and Germplasm for Climate-Smart Agriculture- Part-I. *Current Genomics* 22 (1): 2-3. <https://doi.org/10.2174/138920292201210412161326>
- Pathirana, R. y Carimi, F. 2022. Management and utilization of plant genetic resources for sustainable agriculture. *Plants* 11: 2038. <https://doi.org/10.3390/plants11152038>
- Rasul, G. 2021. Twin challenges of COVID-19 pandemic and climate change for agriculture and food security in South Asia. *Environ. Challenges* 2, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100027>
- Shin, Y.J.; Midgley, G.F.; Archer, E.R.M.; Arneith, A.; Barnes, D.K.A.; Chan, L.; Hashimoto, S.; Hoegh-Guldberg, O.; Insarov, G.; Leadley, P.; Levin, L.; Ngo, H. T.; Pandit, R.; Pires, A.P.F.; Pörtner, H.O.; Rogers, A.D.; Scholes, R.J.; Settele, J. y Smith, P. (2022). Actions to halt biodiversity loss generally benefit the climate. *Global Change Biology* 28: 2846–2874. <https://doi.org/10.1111/gcb.16109>
- Sirami, C.; Gross, N.; Bosem Baillod, A. *et al.*, (2019). Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *PNAS* 116 (33): 16442-16447. Disponible en: [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1906419116](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1906419116).

- Smith, S.; Calvin, K.; Campbell, D. *et al.* (2020). Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? *Global Change Biology* 26:1532–1575. <https://doi.org/10.1111/gcb.14878>
- Tadele, Z. (2019). Orphan crops: their importance and the urgency of improvement. *Planta* 250, 677–694. <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03210-6>
- Talabi, A.O.; Vikram, P.; Thushar, S.; Rahman, H.; Ahmadzai, H.; Nhamo, N.; Shahid, M. y Singh, R.K. (2022). Orphan crops: a best fit for dietary enrichment and diversification in highly deteriorated marginal environments. *Front. Plant Sci.* 13:839704. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.839704>
- Toensmeier, E.; Ferguson, R. y Mehra, M. (2020). Perennial vegetables: a neglected resource for biodiversity, carbon sequestration, and nutrition. *PLoS One* 15: e0234611. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234611>
- Zabel, F.; Delzeit, R.; Schneider, J.M.; Seppelt, R.; Mauser, W. y Václavik, T. (2019). Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. *Nature Communications* 10: 2844. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10775-z>
- Zeng, S.; Li, J. y Wanger, T.C. (2023). Agroecology, technology, and stakeholder awareness: Implementing the UN Food Systems Summit call for action. *iScience* 26, 107510. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107510>