

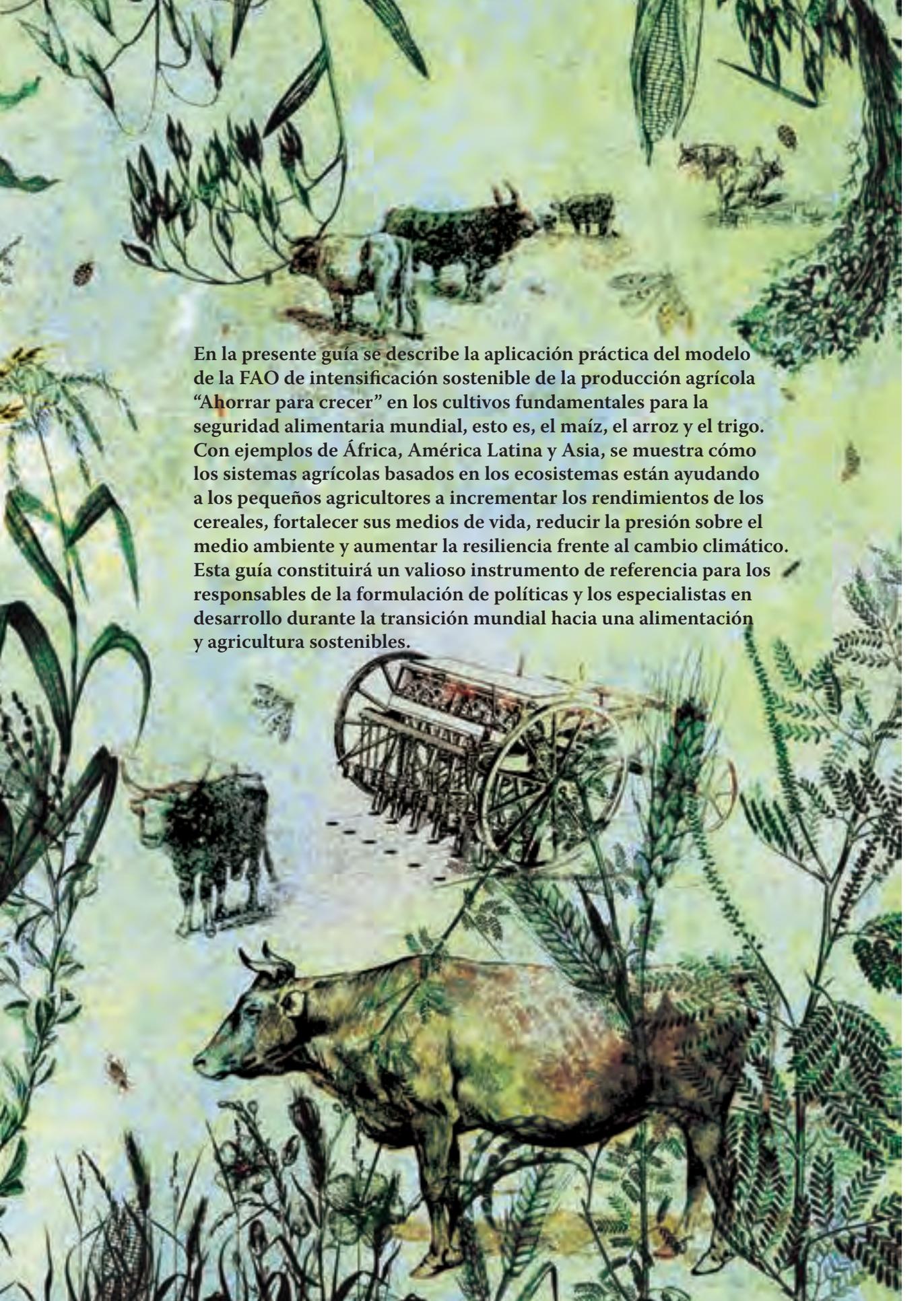


Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

AHORRAR PARA CRECER EN LA PRÁCTICA

MAÍZ ARROZ TRIGO

GUÍA PARA LA PRODUCCIÓN
SOSTENIBLE DE CEREALES



En la presente guía se describe la aplicación práctica del modelo de la FAO de intensificación sostenible de la producción agrícola “Ahorrar para crecer” en los cultivos fundamentales para la seguridad alimentaria mundial, esto es, el maíz, el arroz y el trigo. Con ejemplos de África, América Latina y Asia, se muestra cómo los sistemas agrícolas basados en los ecosistemas están ayudando a los pequeños agricultores a incrementar los rendimientos de los cereales, fortalecer sus medios de vida, reducir la presión sobre el medio ambiente y aumentar la resiliencia frente al cambio climático. Esta guía constituirá un valioso instrumento de referencia para los responsables de la formulación de políticas y los especialistas en desarrollo durante la transición mundial hacia una alimentación y agricultura sostenibles.

The background is a detailed botanical illustration. It features various types of green plants, including ferns, grasses, and leafy herbs, some with small white flowers. Several insects, such as butterflies and bees, are scattered throughout the scene, adding a sense of natural life and movement. The overall color palette is dominated by greens and blues, with a soft, painterly texture.

Ahorrar para crecer en la práctica maíz • arroz • trigo

GUÍA PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE CEREALES

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA
Roma, 2016

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o ni del MANÁ, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-308519-4

© FAO, 2016

La FAO fomenta el uso, la reproducción y la difusión del material contenido en este producto informativo. Salvo que se indique lo contrario, se podrá copiar, imprimir y descargar el material con fines de estudio privado, investigación y docencia, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca de forma adecuada a la FAO como la fuente y titular de los derechos de autor y que ello no implique en modo alguno que la FAO apruebe los puntos de vista, productos o servicios de los usuarios.

Todas las solicitudes relativas a la traducción y los derechos de adaptación así como a la reventa y otros derechos de uso comercial deberán dirigirse a www.fao.org/contact-us/licence-request o a copyright@fao.org.

Los productos de información de la FAO están disponibles en el sitio web de la Organización (www.fao.org/publications) y pueden adquirirse mediante solicitud por correo electrónico a publications-sales@fao.org.

Índice

Agradecimientos	iv
Prólogo	v
Panorama general	vii
<i>Capítulo 1</i> Los cereales y nosotros: el momento de renovar un antiguo vínculo	1
<i>Capítulo 2</i> Avances hacia la producción sostenible de cereales	17
<i>Capítulo 3</i> Sistemas agrícolas que permiten ahorrar y crecer	37
<i>Capítulo 4</i> El camino por recorrer	83
Referencias	99
Abreviaturas	120
Glosario (interior de la contraportada)	

Agradecimientos

Esta publicación ha sido elaborada bajo la dirección de William Murray, Director Adjunto de la División de Producción y Protección Vegetal de la FAO. Se contó con la orientación de Clayton Campanhola, Jefe del Programa estratégico de agricultura sostenible de la FAO, y de una Consulta técnica sobre “Ahorrar para crecer”: el maíz, el arroz y el trigo, que tuvo lugar del 15 al 17 de diciembre de 2014 en la Sede de la FAO en Roma.

Autores principales

Timothy G. Reeves, Graeme Thomas, Gordon Ramsay

Edición técnica final

Shivaji Pandey

Las siguientes personas prepararon documentos para esta publicación:

Maíz Gregory Edmeades (antiguo empleado del CIMMYT)
Kaushal K. Garg (ICRISAT)
Bharat Sharma (IWMI)
Suhas P. Wani (ICRISAT)

Arroz Roland J. Buresh (IRRI)
Jonne Rodenburg (AfricaRice)
Marco Wopereis (AfricaRice)

Trigo Mahmoud Solh (ICARDA)
Hans Braun (CIMMYT)
Wuletaw Tadesse (ICARDA)

Revisión por pares

Jesse Binamira (Ministerio de Agricultura, Filipinas), Prem Bindaban (Virtual Fertilizer Research Center, EE.UU.), Simone Borelli (FAO), Hans Braun (CIMMYT), Erik Busch-Petersen (FAO/OIEA), Sandra Corsi (FAO), Tony Fischer (empleado de CSIRO, Australia), Theodor Friedrich (FAO), Raj Gupta (BISA, India), M.L. Jat (CIMMYT), Zeyaur Khan (ICIPE, Kenya), Gurdev Khush (Premio Mundial de la Alimentación, 1996), Leslie Lipper (FAO), Andrew MacMillan (antiguo funcionario de la FAO), Harinder Makkar (FAO), Chikelu Mba (FAO), Alexandre Meybeck (FAO), Joyce Mulila-Mitti (FAO), Patrick Mulvany (Food Ethics Council, Reino Unido), Rebecca Nelson (Universidad de Cornell, EE.UU.), Godfrey Nzamujo (Songhai Center, Benin), Rodomiro Ortiz

(Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas), Ivan Ortiz-Monasterio (CIMMYT), Mark Peoples (CSIRO, Australia), B.M. Prasanna (CIMMYT), Jules Pretty (Universidad de Essex, Reino Unido), Sanjay Rajaram (Premio Mundial de la Alimentación, 2014), Idupulapati Rao (CIAT), Bharat Sharma (IWMI), Norman Uphoff (Universidad de Cornell, EE.UU.), Stephen Waddington (antiguo empleado del CIMMYT), Dennis Wichelns (Universidad del Estado de California, EE.UU.)

Colaboradores

Almalinda Abubakar (FAO), Moujahed Achouri (FAO), Caterina Batello (FAO), Aracely Castro Zuniga (FAO), Ivan Cruz (EMBRAPA, Brasil), Swapan Kumar Datta (ICAR, India), Muhammad Dost (FAO), Aziz El-Behri (FAO), Kevin Gallagher (FAO), Gualbert Gbehounou (FAO), Matthias Halwart (FAO), Barbara Herren (FAO), Toby Hodgkin (antiguo empleado de Bioversity), Allan Hruska (FAO), Ljupcho Jankuloski (OIEA), Xianping Jia (Universidad de Gestión Agrícola y Forestal del Noroeste, China), Amir Kassam (Universidad de Reading, Reino Unido), Muratbek Karabayev (CIMMYT), Rachel Bezner Kerr (University de Cornell, EE.UU.), Josef Kienzle (FAO), Samuel Kugbei (FAO), Hafiz Muminjanov (FAO), Alberto Pantoja (FAO), Yongfan Piao (FAO), Adam Prakash (FAO), Yashpal Saharawat (ICAR, India), Derli Prudente Santana (EMBRAPA, Brasil), William Settle (FAO), Brian Sims (FAO), Luana Swensson (FAO), Christian Thierfelder (CIMMYT), Michael Turner (FAO)

Mapas

Para esta publicación, John Latham y Renato Cumani (FAO) elaboraron mapas de las zonas productoras de maíz, arroz, trigo y leguminosas del mundo a partir de los conjuntos de datos sobre las zonas agroecológicas mundiales, disponibles en el portal de datos de FAO/IIASA en la dirección web <http://www.fao.org/nr/gaez>.

Diseño de la publicación: Thomas&Sansonetti
Portada: Giancarlo de Pol
Ilustraciones (Capítulo 3): Cecilia Sánchez

Prólogo

Imaginemos un mundo diferente en el año 2030, un mundo mejor para nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos. El hambre y la pobreza han sido erradicadas. Los sistemas alimentarios son productivos y sostenibles. Nuestras sociedades son inclusivas, nuestras ciudades seguras, hay empleo decente para todos los trabajadores y por fin se ha alcanzado la igualdad entre hombres y mujeres.

Esa visión del año 2030 se plasma en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que constituyen el plan para el desarrollo mundial adoptado recientemente por las Naciones Unidas. La consecución de estos objetivos dependerá de manera decisiva de los avances que se hagan en la agricultura. La mayoría de las personas afectadas por el hambre y la pobreza extrema en el planeta viven en zonas rurales, y entre ellas se cuentan millones de pequeños agricultores que sufren las consecuencias de los principales cambios mundiales de hoy en día, a saber, la acentuación de las desigualdades económicas, la degradación constante de los ecosistemas de los que depende la producción de alimentos y el cada vez más rápido cambio climático, que amenaza el rendimiento de los cultivos en todo el mundo.

Para lograr los ODS es necesaria una transición hacia una agricultura más productiva, inclusiva y sostenible, esto es, una agricultura que permita fortalecer los medios de vida rurales y garantizar la seguridad alimentaria para todos y, al mismo tiempo, exija menos a los recursos naturales y aumente la resiliencia al cambio climático.

Este libro es una contribución a la creación del mundo que queremos. El maíz, el arroz y el trigo son fundamentales para la seguridad alimentaria mundial. Aunque la cosecha mundial de cereales de 2014 registró un récord histórico, la mayor parte se cultivó en unas pocas grandes zonas de producción, en las que los agricultores están pagando el precio de decenios de monocultivo intensivo, a saber, la degradación del suelo, el agotamiento de las aguas subterráneas y una acentuada reducción del ritmo de aumento de los rendimientos. En amplias zonas del mundo en desarrollo, los agricultores obtienen apenas una parte de los posibles rendimientos, debido a las limitaciones de recursos naturales y la falta de acceso a conocimientos y tecnologías que aumentarían su productividad. El cambio climático añade nuevas presiones a los cereales, por ejemplo la subida de las temperaturas y el aumento de la incidencia de plagas, enfermedades, sequías e inundaciones.

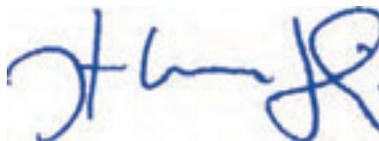
Debemos proteger la producción en las grandes zonas cerealistas y arroceras del mundo, así como aumentar los rendimientos en aquellos países donde la producción debe mejorar considerablemente a medida que aumenta la población. Se necesita un nuevo paradigma de producción de cereales, que sea a la vez sumamente productivo y sostenible desde el punto de vista medioambiental. El modelo de la FAO de agricultura basada en los ecosistemas, “Ahorrar para crecer”, satisface esa necesidad a través de sistemas agrícolas que incorporan la agricultura de conservación, suelos sanos, cultivos y variedades mejorados, el uso eficiente del agua y el manejo integrado de plagas.

En esta guía práctica para la producción sostenible de cereales se examinan los avances logrados en la adopción de prácticas dirigidas a “Ahorrar para crecer” por parte de los pequeños agricultores en el mundo en desarrollo. Se presentan además ejemplos de sistemas agrícolas basados en el modelo “Ahorrar para crecer” que producen más grano por hectárea y generan beneficios sociales, económicos y ambientales significativos. Se muestra asimismo de qué forma las prácticas dirigidas a “Ahorrar para crecer” han contribuido a restablecer la producción en regiones de cultivo de trigo de la India y Kazajstán, donde las tecnologías de la Revolución Verde fracasaron, y han aumentado la productividad de los sistemas de cultivo de maíz que utilizan pocos insumos practicados por los agricultores de América Central y del África oriental.

Estos ejemplos ponen de relieve los beneficios que conlleva integrar el cultivo de cereales con la producción animal y la actividad forestal. En Asia, las familias de agricultores que crían peces en sus arrozales cosechan más arroz y tienen una alimentación más nutritiva. En el Brasil, un sistema de cultivo de maíz y cría de ganado está reemplazando al monocultivo insostenible de soja. En Zambia, el mantenimiento de árboles ricos en nitrógeno en los campos de maíz es más eficaz en función de los costos que los fertilizantes minerales.

El modelo “Ahorrar para crecer” ha demostrado su eficacia en los campos de los agricultores. El reto consiste ahora en ampliar el alcance del enfoque incorporándolo en los programas nacionales. Para ello se precisarán una asociación mundial por el desarrollo revitalizada y aumentos significativos de la inversión en agricultura. Con un compromiso de este tipo, el modelo “Ahorrar para crecer” nos ayudará a alcanzar los ODS. Permitirá incrementar la producción de cereales, mantener la salud de los ecosistemas, fortalecer la resiliencia al cambio climático y mejorar progresivamente la calidad de la tierra y el suelo. Al aumentar la productividad y los ingresos de los pequeños agricultores, fomentará el crecimiento económico inclusivo necesario para que millones de personas de las zonas rurales puedan escapar a la pobreza extrema. El establecimiento de vínculos entre la producción en pequeña escala y programas de protección social bien estructurados garantizará la seguridad alimentaria y la nutrición para los más vulnerables y ayudará a erradicar el hambre y la malnutrición para siempre.

La humanidad tiene los conocimientos, las tecnologías y la conciencia de perseguir una finalidad común necesarios para hacer realidad el sueño de un mundo libre del hambre. No hay tiempo que perder.



José Graziano da Silva
Director General
Organización de las Naciones Unidas
para la Alimentación y la Agricultura

Panorama general

1. Los cereales y nosotros: el momento de renovar un antiguo vínculo

El cambio climático, el deterioro ambiental y el estancamiento de los rendimientos amenazan la producción de cereales y la seguridad alimentaria mundial. La intensificación sostenible de la producción agrícola puede ayudar a alimentar al mundo y proteger a un tiempo sus recursos naturales

El cambio climático, el deterioro ambiental y el estancamiento de los rendimientos amenazan la producción de cereales y la seguridad alimentaria mundial. La intensificación sostenible de la producción agrícola puede ayudar a alimentar al mundo y proteger a un tiempo sus recursos naturales

Para 2050, se prevé que la demanda mundial de maíz, arroz y trigo ascienda a unos 3 300 millones de toneladas anuales o, lo que es lo mismo, 800 millones de toneladas más que la cosecha récord global de 2014. Gran parte del aumento de la producción habrá de provenir de las tierras agrícolas existentes. Pero un tercio de estas está degradado y la proporción de agua disponible para los agricultores está sometida a una presión cada vez mayor por parte de otros sectores.

El cambio climático podría tener efectos catastróficos en el rendimiento del trigo y reducir en un 20 % el rendimiento del maíz en África. En Asia, la elevación del nivel del mar amenaza la producción de arroz en los principales deltas fluviales. La posibilidad de aumentar la producción de cereales se ve limitada asimismo por el estancamiento de los rendimientos y la disminución de la rentabilidad de los sistemas de producción con gran densidad de insumos.

Si se siguen haciendo las cosas como hasta ahora, los 500 millones de agricultores familiares en pequeña escala del mundo en desarrollo, así como las poblaciones de bajos ingresos en zonas urbanas, resultarán afectados de forma desproporcionada. A medida que el cambio climático en Asia desplaza el trigo hacia zonas de secano menos productivas, los consumidores se enfrentarán a incrementos pronunciados de los precios de los alimentos. El crecimiento demográfico podría intensificar la dependencia de África de las importaciones de arroz. El aumento de la demanda de maíz y la disminución de la productividad podrían hacer que las importaciones de maíz del mundo en desarrollo se tripliquen para 2050.

Aumentar de forma sostenible la productividad de las tierras agrícolas existentes constituye la mejor opción para evitar fuertes subidas de los precios de los alimentos, mejorar las economías rurales y los medios de vida de los agricultores y reducir el número de personas en riesgo de padecer hambre y malnutrición. El modelo “Ahorrar para crecer” de intensificación de la producción agrícola, propuesto por la FAO, pretende aumentar tanto los rendimientos como la calidad nutricional, al tiempo que se reducen los costos para los agricultores y el medio ambiente.

En la presente guía se exponen conceptos y prácticas relativos al modelo “Ahorrar para crecer”, se presentan ejemplos de su aplicación práctica en la producción de maíz, arroz y trigo y se esbozan las políticas, instituciones, tecnologías y actividades de fomento de la capacidad necesarias para ampliar el alcance de las enseñanzas adquiridas en los programas nacionales y regionales.

2. Avances hacia la producción sostenible de cereales

Los sistemas agrícolas deben reestructurarse en todo el mundo con vistas a la intensificación sostenible. Los productores de cereales ya han iniciado esta transición mediante la adopción de componentes y prácticas del modelo “Ahorrar para crecer”

- ▶ **La agricultura de conservación.** Al reducir al mínimo la perturbación del suelo y utilizar cubierta vegetal y sistemas de rotación de cultivos, los productores de maíz y trigo reducen los costos, aumentan los rendimientos y conservan los recursos naturales. Los agricultores que practican sistemas de producción de arroz de regadío están reorientándose hacia la siembra en seco sin labranza. Con el fin de aumentar sus ingresos y fortalecer la resiliencia ante el cambio climático, los productores de cereales están diversificando los cultivos e integrando el cultivo de árboles, la ganadería y la acuicultura en sus sistemas de producción.
- ▶ **La salud de los suelos.** Las prácticas de agricultura de conservación mejoran el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo, lo que reduce la erosión y aumenta la eficiencia en el uso del agua. Al fijar el nitrógeno, las leguminosas mejoran la fertilidad del suelo y reducen la necesidad de aplicar fertilizantes minerales. Equilibrar la oferta y la demanda de nutrientes para los cultivos ayuda a los agricultores a reducir las aplicaciones de fertilizantes y pérdidas perjudiciales para el medio ambiente.
- ▶ **Cultivos y variedades mejorados.** Los sistemas basados en el modelo “Ahorrar para crecer” utilizan diversos grupos complementarios de cultivos, y sus variedades mejoradas, a fin de conseguir aumentar la productividad y fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional. En la actualidad, los agricultores cultivan en sus campos variedades de cereales que son más resistentes a las tensiones bióticas y abióticas. El desarrollo de cereales más productivos y nutritivos debe ir acompañado de sistemas de multiplicación rápida de semillas de calidad.
- ▶ **La gestión eficiente del agua.** Para obtener “más cultivos por gota”, muchos productores de arroz han reducido la anegación de los campos, lo que también reduce las emisiones de metano. El cultivo de arroz sin anegar las tierras reduce el uso de agua hasta en un 70 %. El riego suplementario del trigo, utilizando agua de lluvia almacenada, ha cuadruplicado la productividad del agua. La plantación en lechos elevados con riego por surcos permite ahorrar agua y genera mayores rendimientos del trigo y el maíz.
- ▶ **El manejo integrado de plagas.** La primera línea de defensa contra las plagas y enfermedades es un agroecosistema sano. Los productores de arroz con capacitación en el manejo integrado de plagas (MIP) han reducido considerablemente la aplicación de insecticidas, sin menoscabo del rendimiento. Las leguminosas, si se plantan junto con el maíz, ayudan a contener las malas hierbas. Los productores de trigo han superado epidemias de roya utilizando variedades resistentes y combaten las plagas de insectos mediante la rotación de cultivos.

Aunque cada uno de estos componentes contribuye a la sostenibilidad, solo se lograrán los máximos beneficios si todos ellos se integran plenamente en sistemas agrícolas basados en el modelo “Ahorrar para crecer”.

3. Sistemas agrícolas que permiten ahorrar y crecer

¿“Cómo es” la intensificación sostenible de la producción agrícola? Estos ejemplos, tomados de países en desarrollo de todo el mundo, describen sistemas agrícolas orientados a “ahorrar para crecer” en la práctica

1. **En África oriental**, se han superado dos de las plagas del maíz más graves de la región gracias al cultivo de dos plantas autóctonas en los campos de maíz. El sistema “atracción-repulsión” (push-pull) genera otros beneficios, como piensos de alta calidad para el ganado.
2. **Desde Madagascar**, las prácticas propias del sistema de intensificación del arroz se han extendido a Asia, donde están ayudando a los agricultores a producir más arroz y obtener mayores ingresos con un menor uso de agua, fertilizantes y semillas.
3. **En América Central**, los agricultores han desarrollado un sistema de producción de “corta y cobertura” que preserva los árboles y arbustos, conserva el suelo y el agua, duplica los rendimientos del maíz y los frijoles e incluso resiste a huracanes.
4. **En todo el mundo**, los productores de trigo cultivan leguminosas para proporcionar una fuente natural de nitrógeno, que incrementa los rendimientos del trigo. La agricultura de conservación puede ayudar a obtener todos los beneficios de la rotación de trigo y leguminosas.
5. **En América Latina**, un pasto autóctono del África tropical ha permitido aumentar considerablemente la productividad ganadera. Los agricultores brasileños han integrado la *Brachiaria* en un sistema de siembra directa de maíz que está sustituyendo al monocultivo de soja.
6. **En las llanuras indogangéticas de Asia meridional**, las tecnologías de conservación de recursos generan rendimientos elevados del trigo y, al mismo tiempo, reducen los costos de los agricultores un 20 %. En relación con el arroz, el paso a la agricultura de conservación daría lugar a sinergias positivas en la producción de ambos cultivos.
7. **En el mundo en desarrollo**, el guandú, el caupí, el cacahuete, la soja y la canavalia son muy habituales en los campos de maíz de los agricultores. La elevada productividad de los sistemas de cultivo de maíz y leguminosas hace que sean especialmente adecuados para los pequeños productores.
8. **En Asia**, la cría de peces en los arrozales y en torno a estos favorece la lucha contra las plagas del arroz y la fertilización del cultivo. El aumento del rendimiento, los ingresos obtenidos de la venta de pescado y el ahorro en productos químicos agrícolas incrementan los ingresos de los agricultores un 50 %.
9. **En el África austral**, los árboles y arbustos leguminosos que se cultivan con el maíz ofrecen residuos de gran calidad y ricos en nitrógeno que mejoran la fertilidad del suelo, aumentan el rendimiento y proporcionan nuevas fuentes de ingresos.
10. **En Asia central**, el cultivo sin labranza, la cobertura del suelo y la rotación de cultivos ayudarían a muchos países a detener la erosión del suelo y producir más alimentos. Los productores de trigo de Kazajstán ya han hecho grandes avances en la transición hacia una agricultura de conservación plena.
11. **En Asia meridional y sudoriental**, millones de productores de arroz cultivan actualmente maíz durante la estación seca, utilizando variedades híbridas de alto rendimiento que consumen menos agua y generan mayores ingresos. En detalle: Bangladesh.

4. El camino por recorrer

La adopción del modelo “Ahorrar para crecer” por parte de los pequeños agricultores exige la aplicación de medidas concertadas en todos los niveles, con la participación de gobiernos, organizaciones internacionales, el sector privado y la sociedad civil

Al utilizar el sistema “Ahorrar para crecer”, los productores de cereales, que en muchos casos afrontan difíciles condiciones agrícolas, han aumentado la producción y han mejorado sus medios de vida e ingresos, al tiempo que conservan los recursos naturales y fortalecen la resiliencia ante el cambio climático. Pero la tasa de adopción de prácticas sostenibles sigue siendo relativamente baja y debe hacerse mucho más para que la agricultura aproveche plenamente los beneficios del modelo “Ahorrar para crecer”.

La transición hacia la intensificación sostenible de la producción agrícola requiere cambios fundamentales en la gobernanza de la alimentación y la agricultura. La realización de esos cambios depende de una evaluación realista de todos los costos que entraña llevar a cabo las transiciones necesarias. Requiere asimismo la adaptación cuidadosa de tecnologías y prácticas agrícolas sostenibles a las condiciones específicas de cada lugar.

Un entorno normativo, jurídico e institucional propicio debería establecer el justo equilibrio entre las iniciativas privadas, públicas y de la sociedad civil, así como garantizar la rendición de cuentas, la equidad, la transparencia y el Estado de derecho. La aspiración de la FAO a una alimentación y una agricultura sostenibles puede guiar la formulación de programas, estrategias y políticas nacionales encaminados a facilitar la transición a una intensificación de la producción de cereales que sea sumamente productiva, económicamente viable, favorable al medio ambiente y basada en la equidad y la justicia social.

Así pues, entre los principales retos para los responsables de la formulación de políticas figuran facilitar la transición hacia el modelo “Ahorrar para crecer” en el marco de transformaciones estructurales más amplias; elaborar políticas que apoyen la adopción por parte de los agricultores de sistemas de producción sostenibles; focalizar las inversiones en agricultura en el suministro de bienes públicos y fomentar la inversión de los agricultores en la producción agrícola sostenible; establecer y proteger los derechos de los productores a los recursos; promover cadenas de valor y mercados más justos y eficientes; aumentar el apoyo a la investigación y desarrollo agrícolas a largo plazo; impulsar innovaciones tecnológicas adaptadas a las necesidades de los pequeños agricultores; revitalizar la educación y capacitación agrícolas; reforzar los sistemas formales e informales de semillas; e intensificar la colaboración con organizaciones, instrumentos y mecanismos internacionales.



Capítulo 1

Los cereales y nosotros: el momento de renovar un antiguo vínculo

El cambio climático, el deterioro ambiental y el estancamiento de los rendimientos amenazan la producción de cereales y la seguridad alimentaria mundial. La intensificación sostenible de la producción agrícola puede ayudar a alimentar al mundo y proteger a un tiempo sus recursos naturales.

Con una cosecha anual conjunta de unos 2 500 millones de toneladas, el maíz, el arroz y el trigo son los productos más extensamente cultivados en el mundo y constituyen la base de la seguridad alimentaria mundial. A diario, la humanidad consume millones de toneladas de estos cereales en una variedad casi infinita de formas habituales, como por ejemplo desde humeantes cuencos de arroz y platos de gachas de maíz hasta pan, tortitas, tamales, naan, chapatis, pasta, pizza, tartas y pasteles. Millones de toneladas más llegan hasta nosotros por una vía indirecta, al haber servido primeramente de alimento a vacas, cerdos y aves que producen gran parte de la carne, la leche y los huevos del mundo^{1,2}.

El maíz, el arroz y el trigo juntos constituyen el elemento más importante de la dieta humana, ya que representan aproximadamente el 42,5 % del suministro de calorías alimentarias del mundo. En el plano mundial, su contribución a nuestra aportación de proteínas, que ronda el 37 %, se ve apenas superada por los productos pesqueros y ganaderos. Solo el trigo aporta más proteínas que la suma de la carne de ave, porcino y bovino. El maíz, el arroz y el trigo aportan incluso el 6 % de las grasas en nuestras dietas.

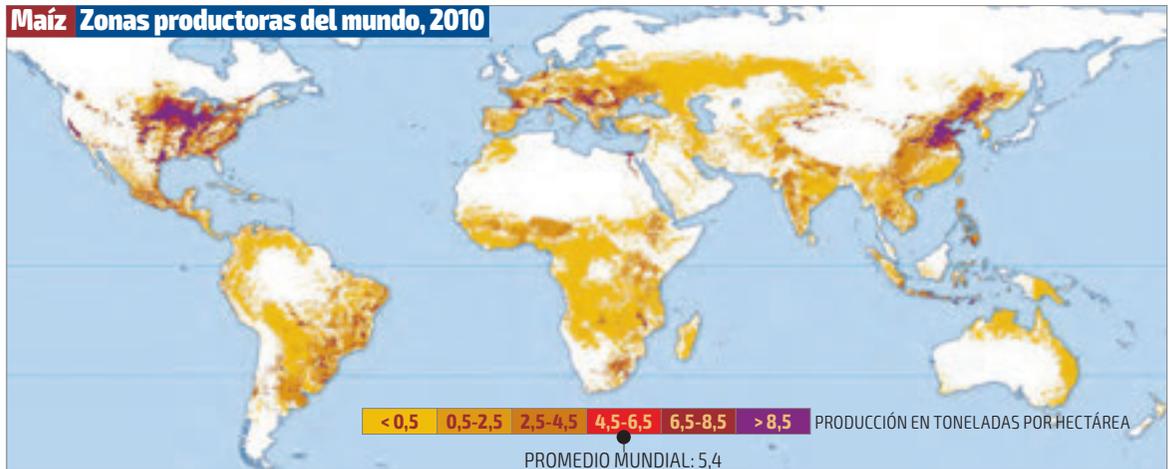
Estos tres cereales son fundamentales para la seguridad alimentaria en las regiones en desarrollo. En el África austral, representan la mitad del aporte de calorías. En Asia occidental, el trigo aporta alrededor del 40 % de las proteínas. En Asia meridional, el trigo y el arroz representan la mitad de todas las calorías y proteínas y el 9 % de las grasas. En todas las regiones en desarrollo, salvo América Latina, los cereales proporcionan a la población más proteínas que la carne, el pescado, la leche y los huevos juntos.

Incluso en América del Norte y Europa occidental, donde los productos animales constituyen casi dos terceras partes de la aportación de proteínas, el trigo sigue representando más del 20 %. De forma indirecta, los cereales representan una cifra mucho mayor, pues por ejemplo en los Estados Unidos de América alrededor del 40 % del suministro interno de maíz, que en 2014 alcanzó el equivalente a unos 130 millones de toneladas, se utiliza para alimentar el ganado^{2,3}.

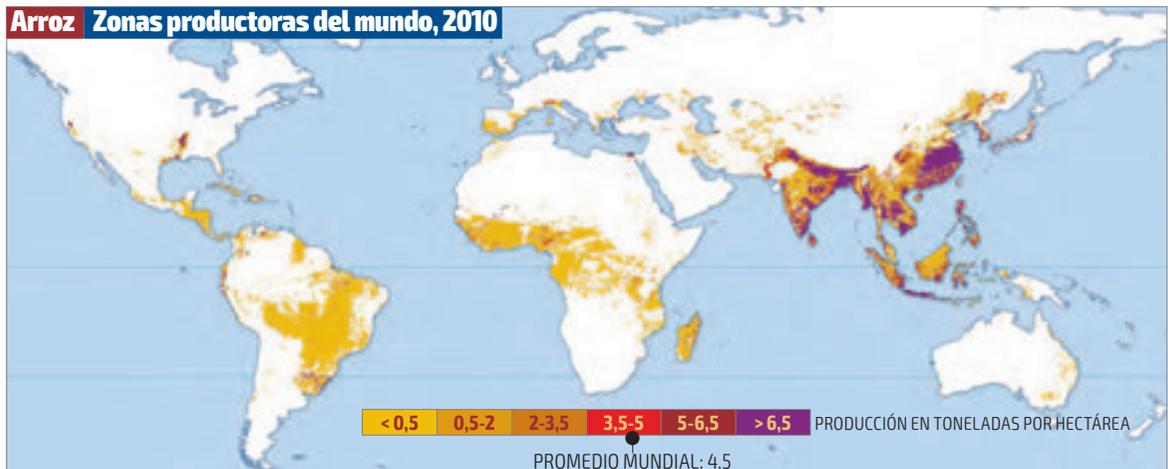
Los cereales han llegado a ser un elemento predominante de la nutrición humana, ya que los primeros agricultores comenzaron a cultivarlos antes de los albores de la historia. De hecho, la revolución agrícola y todo cuanto vino después —en definitiva, el mundo en el que vivimos— tienen sus orígenes en un peculiar vínculo duradero que se estableció por vez primera hace unos 10 000 años entre comunidades de cazadores-recolectores y las abundantes gramíneas silvestres de la familia de las poáceas. Entre las primeras gramíneas que se sembraron y cosecharon, en el Oriente Medio, se encontraban las especies de *Triticum* que dieron lugar, en un período de 2 500 años, al trigo tierno⁴.

Lo que los cereales recolectados ofrecían a los cazadores-recolectores era una fuente concentrada de energías, proteínas y otros nutrientes que podía almacenarse con facilidad. El mismo descubrimiento se hizo en África occidental y Asia oriental, donde se domesticaron las especies de arroz *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima* a partir de progenitores salvajes hace ya entre 9 000 y 3 000 años^{5,6}. Las 2 500 variedades comerciales de maíz que existen hoy en día tienen su origen hace unos 7 000 años, en Mesoamérica, en una gramínea del género *Zea* denominada teosinte⁴.

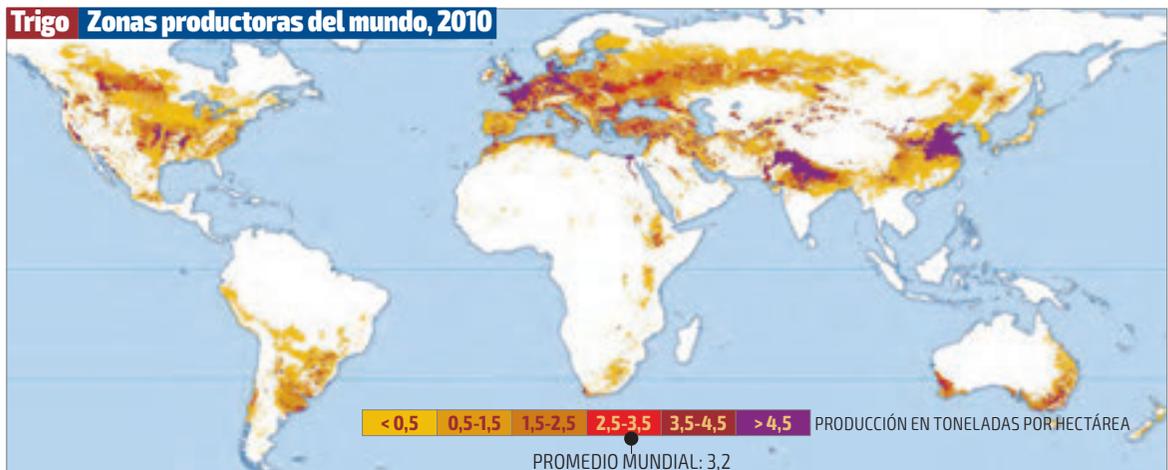
Maíz Zonas productoras del mundo, 2010



Arroz Zonas productoras del mundo, 2010



Trigo Zonas productoras del mundo, 2010



La invención del riego en Mesopotamia hace 8 000 años fue un primer paso trascendental en la intensificación de la producción cerealera, cuando las poblaciones urbanas en expansión trataban de satisfacer sus necesidades alimentarias aumentando la productividad. Hace 3 000 años, el cultivo intensivo de arroz se practicaba en China⁴ y los asentamientos en México habían desarrollado sistemas de riego para el maíz⁷.

Si bien los cereales proporcionaron la seguridad alimentaria que permitió a la población humana crecer de 10 a 300 millones en los primeros 8 000 años de agricultura⁸, la escasez de producción o suministro desencadenó una catástrofe. Las civilizaciones construidas a partir de la agricultura de regadío en los valles fluviales del Indo y el Tigris se desmoronaron debido a la obstrucción con sedimentos de los canales y la salinización de los suelos⁹. La hambruna devastó la antigua Roma cuando los enemigos interrumpieron los envíos de cereales desde el Norte de África¹⁰. El colapso de la civilización maya del período clásico se debió probablemente a una epidemia de virus del mosaico del maíz¹¹. En Europa, el fin del período cálido medieval hace 700 años estuvo seguido de veranos húmedos que llevaron a un aumento repentino de las enfermedades fúngicas del trigo, lo que provocó una hambruna que acabó con la vida de millones de personas¹².

La revolución agrícola en Gran Bretaña, que comenzó a finales del siglo XVII, marcó otro hito en la intensificación de la producción de cereales y la seguridad alimentaria. La mejora de los arados, variedades más productivas y la rotación de cultivos con leguminosas ayudaron a los agricultores a aprovechar al máximo la utilización de los recursos propios de las explotaciones y duplicar los rendimientos del trigo, de una a dos toneladas por hectárea, entre los años 1700 y 1850. En este mismo período, la población de Inglaterra aumentó de cinco a 15 millones de personas^{13, 14}.

El ritmo de crecimiento demográfico e intensificación de la agricultura se aceleró en el siglo XX. Los años posteriores a la II Guerra Mundial fueron testigos de un cambio de paradigma en la agricultura de los países industrializados, que se desplazó hacia la aplicación a gran escala de la genética, la bioquímica y la ingeniería en la producción agrícola. Se lograron grandes aumentos de productividad gracias a la utilización de maquinaria agrícola pesada impulsada por combustibles fósiles, junto con variedades de cultivos de alto rendimiento, sistemas de riego y productos químicos agrícolas¹⁵.

La intensificación de la producción agrícola en el mundo en desarrollo comenzó verdaderamente en el decenio de 1960, cuando el crecimiento exponencial de la población, junto con graves carencias en la producción de cereales, provocaron una situación de hambre generalizada¹⁵. En 1970, un porcentaje estimado del 37 % de la población del mundo en desarrollo, esto es, casi mil millones de personas, padecía subalimentación^{16, 17}. Ante la amenaza de una crisis alimentaria mundial, la comunidad internacional se movilizó con iniciativas de investigación, desarrollo y transferencia de tecnologías en relación con la agricultura que se conocieron como la “Revolución Verde”. La idea central era la intensificación de la producción de los tres cultivos fundamentales para la seguridad alimentaria mundial, a saber, el maíz, el arroz y el trigo.

La Revolución Verde y su etapa posterior

La Revolución Verde se vio impulsada inicialmente por el trabajo del biólogo estadounidense Norman Borlaug y científicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México y el Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI) en Filipinas. Cobró impulso durante el decenio de 1960, con la introducción en Asia meridional de variedades semienanas de arroz y trigo de alto rendimiento. Con el apoyo de programas gubernamentales dirigidos a ampliar las infraestructuras de riego y el suministro de agroquímicos, dichas variedades generaron, en solo unos años, mejoras en los rendimientos que la revolución agrícola británica había tardado más de un siglo en conseguir¹.

Gracias sobre todo a la Revolución Verde, el mundo fue testigo de un enorme avance en la producción de alimentos. La producción mundial de cereales al año se incrementó de 640 millones de toneladas en 1961 a casi 1 800 millones de toneladas en el año 2000. Los mayores aumentos se registraron en el mundo en desarrollo, donde la producción de maíz se incrementó un 275 %, la de arroz un 194 % y la de trigo un 400 %. Gran parte del aumento de la producción de arroz en Asia se debió a una mayor intensidad de los cultivos, ya que los agricultores pasaron de plantar un único cultivo a cultivar hasta tres¹⁸.

Aunque su población se duplicó con creces entre los años 1960 y 2000, en este mismo período el mundo en desarrollo incrementó un 50 % su suministro de cereales per cápita procedente de la producción interna^{1,17}. La proporción de personas subalimentadas descendió de más de un tercio de la población en 1970 al 18 % a finales de siglo¹⁹.

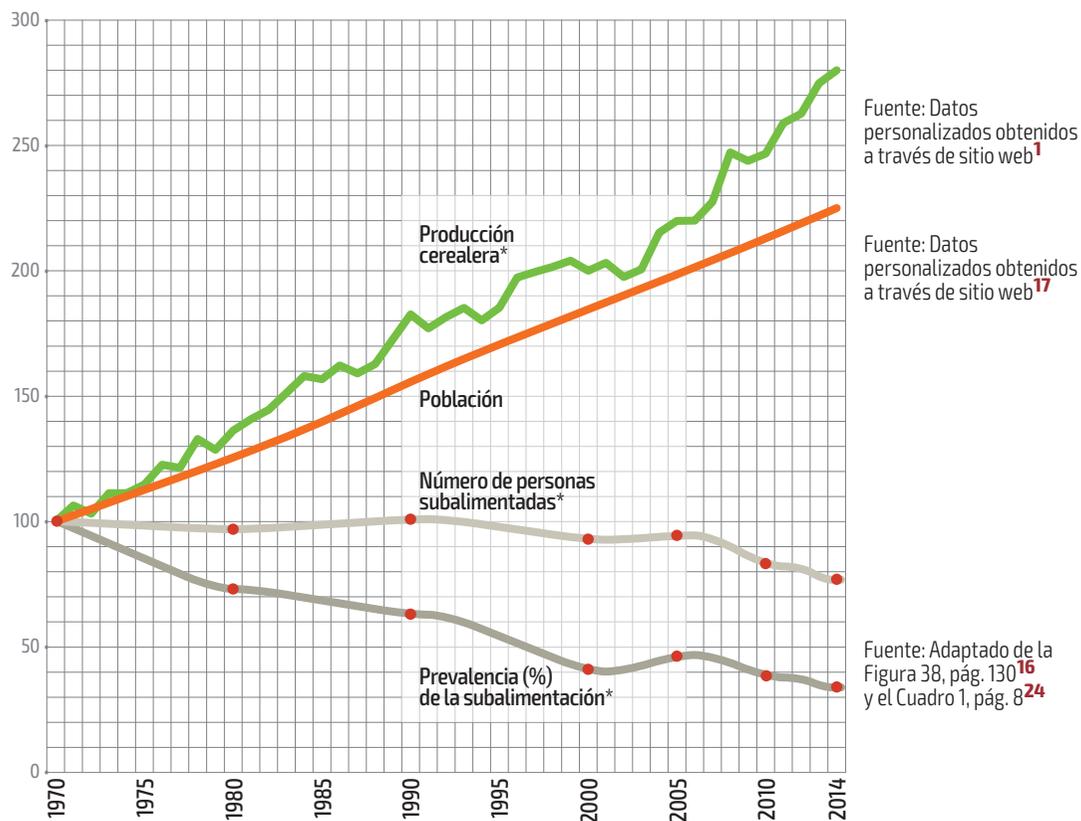
El menor costo de producción por unidad de los cereales permitió aumentar los ingresos de los agricultores, lo que en Asia contribuyó a una reducción significativa de la incidencia de la pobreza en zonas rurales²⁰. Los consumidores urbanos también se beneficiaron de décadas de estabilidad de precios relativamente bajos de los cereales²¹. La intensificación permitió también lograr un incremento del 250 % en la producción de cereales del mundo en desarrollo, entre 1960 y 2000, con una ampliación de la superficie cosechada de solo el 44 %, lo que redujo la necesidad de convertir hábitat natural en tierras agrícolas¹.

En la actualidad, los países en desarrollo representan dos terceras partes de la producción cerealera mundial¹. En la mayoría de las tierras destinadas al trigo en Asia y el norte de África se cultivan variedades mejoradas²², así como en los campos de arroz del Asia tropical²³. En África occidental, las variedades de maduración temprana han contribuido a duplicar la producción de arroz y maíz desde el año 2000¹.

La contribución de la Revolución Verde a la seguridad alimentaria es innegable [FIGURA 1.1]. La incidencia de la desnutrición en la población del mundo en desarrollo ha caído al 12,9 %²⁴. En 2014, la producción mundial de cereales ascendió a unos 2 500 millones de toneladas, lo que llevó a que los precios internacionales se situasen muy por debajo del máximo alcanzado en 2011²⁵. Y existe la posibilidad de seguir aumentando la producción, ya que en la mayoría de regiones en desarrollo, los rendimientos de los principales cultivos alimentarios, incluidos los cereales, son la mitad de lo que sería posible obtener técnicamente si se optimizan los insumos y la gestión²⁶.

Figura 1.1 Producción cerealera, crecimiento demográfico, número de personas subalimentadas y prevalencia de la desnutrición en el mundo en desarrollo, 1970-2014

Índice (1970=100)



* Los datos correspondientes a 2014 son provisionales

El problema es que los resultados agrícolas pasados no son indicativos de los rendimientos futuros. La intensificación de la producción agrícola, basada en el monocultivo y altos niveles de insumos externos, ha perturbado la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, en particular la diversidad genética de los cultivos, la formación de suelo y la fijación biológica del nitrógeno, hasta el punto de amenazar la sostenibilidad de la producción misma de alimentos^{27,28}. El notable aumento en la producción cerealera de la Revolución Verde se obtuvo en muchos casos a expensas de la degradación de la tierra, la salinización de zonas de regadío, la extracción excesiva de aguas subterráneas, el aumento de la resistencia a las plagas y daños en el medio ambiente en general, a través del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación por nitratos de las masas de agua¹⁵.

El monocultivo intensivo doble y triple de arroz en Asia se asocia al agotamiento de micronutrientes del suelo, el incremento de la toxicidad del suelo y una incidencia elevada de plagas y enfermedades¹⁸. El aumento de los rendimientos

del arroz se ha estabilizado en Asia oriental y sudoriental, que representa el 60 % de la producción mundial²⁹. Estudios llevados a cabo en los principales estados productores de arroz de la India y en las zonas arroceras de Asia oriental han confirmado la disminución del aumento del rendimiento. Cada vez hay más pruebas que apuntan a la disminución de la rentabilidad de variedades modernas, a pesar del elevado uso de insumos²⁰.

El estancamiento de los rendimientos en las principales regiones productoras de trigo se considera el resultado de una compleja serie de factores, como por ejemplo la reducción de los índices de mejoramiento genético, la pérdida de fertilidad de los suelos, el descenso de la eficiencia en el uso de insumos y tensiones bióticas y abióticas²². La amenaza de la roya del trigo ha aumentado al incrementarse la intensidad de cultivos y el monocultivo, mientras que las plagas de insectos causan cada vez más pérdidas en el cultivo de trigo³⁰.

La producción agrícola intensiva suele generar entornos exuberantes muy propicios para la aparición de plagas, generándose así una necesidad cada vez mayor de plaguicidas a medida que los insectos, las malas hierbas y los patógenos aumentan su resistencia a estos. Hoy en día, la agricultura utiliza unos 2,5 millones de toneladas de plaguicidas al año³¹. Ya en el decenio de 1990, se constató que los costos para la salud por el uso excesivo de plaguicidas en los arrozales de Asia eran superiores a los beneficios económicos de la lucha contra las plagas³². En el plano mundial, unas 220 especies de malas hierbas han desarrollado resistencia a uno o más herbicidas, lo que constituye una especial amenaza para los cereales³³.

La adopción a escala mundial de variedades de cereales de alto rendimiento ha provocado la pérdida en gran escala de diversidad fitogenética y la degradación de la biodiversidad en general. La Revolución Verde en Indonesia, por ejemplo, ocasionó la eliminación de unos 1 000 cultivares de arroz locales en favor de variedades modernas que, por su reducida base genética, son más vulnerables a las plagas y enfermedades. El monocultivo ha reducido también la biodiversidad agrícola y la diversidad dietética en general, al reemplazar la agricultura mixta de cultivos de cereales, leguminosas y semillas oleaginosas^{18, 20}.

La producción agrícola intensiva contribuye asimismo de forma significativa a la emisión de gases de efecto invernadero responsables del cambio climático. Las emisiones generadas por la agricultura, y por la modificación de la cubierta vegetal sobre todo con fines agrícolas, han aumentado casi al doble en los últimos 50 años³⁴ y actualmente suponen hasta un 25 % del total de las emisiones antropogénicas³⁵. Del año 2001 a 2010, las emisiones directas derivadas de la producción agrícola y ganadera aumentaron de 4 700 millones a más de 5 300 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, produciéndose la mayor parte de este aumento en los países en desarrollo³⁴.

Debido al gran uso de fertilizantes minerales que en ella se hace, la producción de cereales origina una proporción considerable de las emisiones de óxido nítrico procedentes de la agricultura, concretamente el 58 % del total; el cultivo de arroz por anegamiento, junto con la ganadería, originan casi la mitad de todas las emisiones de gas metano^{36, 37}.

Algunos críticos sostienen que la Revolución Verde benefició sobre todo a aquellos agricultores que tenían tierras más ricas y un acceso más fácil a los insumos y mercados, y que no logró llegar a la mayoría de pequeños agriculto-

res carentes de recursos³⁸. Subrayan la turbadora paradoja de que tres cuartas partes de la población pobre y hambrienta del mundo viven en zonas rurales y se dedican principalmente a la agricultura y la producción de alimentos^{39, 40, 41}.

Otra crítica respecto del modelo de agricultura intensiva de la Revolución Verde es que sus elevados costos para el medio ambiente se han legado a generaciones futuras. No se creó ningún organismo que recaudara indemnizaciones para invertir las en la rehabilitación del medio ambiente. Si los precios en la explotación reflejaran el costo total de producción, y la agricultura pagara realmente por el daño ambiental provocado, los precios de los alimentos no se habrían mantenido tan bajos durante tanto tiempo¹⁵.

Pero una cosa está clara, a pesar de que la proporción de personas subalimentadas en la población mundial se ha reducido de forma constante, los actuales sistemas alimentarios y agrícolas no han logrado proporcionar a todo el mundo los alimentos necesarios para llevar una vida activa y sana. El *número absoluto* de personas que padecen subalimentación crónica en el mundo hoy en día es solo un 20 % inferior al de hace medio siglo²⁴.

Además, unos 2 000 millones de personas padecen malnutrición por carencia de micronutrientes como consecuencia de la deficiencia de vitaminas y minerales en su alimentación. Los aumentos de rendimiento obtenidos al utilizar masivamente fertilizantes minerales, que proporcionan sobre todo nitrógeno, fósforo y potasio, han coincidido con una disminución del contenido nutricional de los cereales⁴², e incluso de los cultivos de hortalizas^{43, 44}.

Sobre todo entre los hogares rurales de bajos ingresos, son habituales las dietas poco variadas y ricas en féculas y, por lo general, no se dispone de la cantidad suficiente de alimentos ricos en micronutrientes, tales como carnes, productos lácteos, legumbres, frutas y hortalizas. Puede que 50 años de producción intensiva de maíz, arroz y trigo hayan mejorado la aportación de energía alimentaria, pero no han supuesto las correspondientes mejoras para la nutrición humana en general⁴⁵.

El modelo de intensificación de la producción agrícola de la Revolución Verde fue la respuesta idónea a la crisis alimentaria que afrontó la humanidad en el decenio de 1960. Pero el mundo ha entrado ahora en la “era posterior a la Revolución Verde”.

Más de 3 000 millones de toneladas para 2050

La agricultura mundial, y el antiguo vínculo de la humanidad con el maíz, el arroz y el trigo, afronta “una confluencia de presiones sin precedentes”⁴⁶. Una de ellas es la demanda de alimentos y otros productos agrícolas más elevada de toda la historia reciente. Según los pronósticos, la población mundial aumentará de 7 300 millones a más de 9 600 millones de personas de aquí a 2050 y la mayor parte de este aumento tendrá lugar en las regiones en desarrollo; en los 48 países menos adelantados, la población podría duplicarse hasta alcanzar los 1 800 millones de personas¹⁷. Paralelamente, la urbanización y el crecimiento de la riqueza están impulsando una “transición nutricional” en los países en desarrollo hacia

un consumo mucho más elevado de proteínas animales, lo que exigirá un gran aumento de la producción ganadera y el uso intensivo de recursos.

En un nuevo estudio de la FAO y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) se calcula que el consumo mundial de cereales aumentará en 390 millones de toneladas de 2014 a 2024. Este aumento se verá impulsado fundamentalmente por la creciente demanda de piensos, donde los cereales secundarios —de los que aproximadamente un 70 % corresponde al maíz— representan más de la mitad del total. En 2024, los países en desarrollo destinarán al consumo humano 170 millones de toneladas más de maíz, arroz y trigo⁴⁷.

A más largo plazo, la FAO ha estimado que, para 2050, la demanda mundial de los tres cereales al año alcanzará casi los 3 300 millones de toneladas. Gran parte de este aumento será necesario para impulsar la producción anual de unos 455 millones de toneladas de carne⁴⁸, o sea, un 50 % más que la producida en 2012¹. Se prevé que el uso de cereales como materia prima para la producción de biocombustibles aumente de los actuales 130 millones de toneladas anuales a 182 millones de toneladas para 2020⁴⁸; según una de las hipótesis, incluso podría llegar a casi 450 millones de toneladas para 2050^{49,50}.

La demanda de maíz, arroz y trigo no tiene que atenderse íntegramente a través de aumentos de la producción. Cada año, se pierde o desperdicia un tercio del total de los alimentos producidos para consumo humano, en particular hasta un 30 % de cereales, lo que conlleva importantes efectos negativos en la disponibilidad de alimentos y elevados costos para el medio ambiente⁵¹. Una reducción sustancial de las pérdidas y el desperdicio de alimentos, junto con un cambio a dietas más sanas y sostenibles que dependan menos de las proteínas animales, disminuiría la necesidad de aumentar la producción de cereales.

Con todo, la magnitud de la futura demanda requiere sistemas de cultivo de cereales que sean más productivos y sostenibles desde el punto de vista medioambiental. En torno al 80 % del aumento futuro de la producción agrícola en países en desarrollo deberá proceder de la intensificación; en Asia meridional, Asia occidental y el norte de África, la intensificación supondrá entre el 90 % y el 100 % del aumento⁴⁸. El crecimiento agrícola dependerá más que nunca del aumento de la productividad a través del incremento de los rendimientos de los cultivos⁵⁰.

Sin embargo, lograr que el rendimiento de los cereales aumente, será más difícil que en el pasado. La mayoría de los agroecosistemas mundiales han visto gravemente mermado el carbono orgánico de sus suelos, que constituye la base de la fertilidad de los mismos⁵². Un tercio de las tierras agrícolas presenta un grado de deterioro entre moderado y alto debido a la erosión, la salinización, la compactación y la contaminación química de los suelos⁵³. Si la erosión del suelo sigue aumentando al ritmo actual en China nororiental, la producción de cereales en 93 millones de hectáreas de tierra agrícola podría disminuir un 40 % en 50 años⁵⁴. Las zonas de producción de trigo de regadío en el mundo sufren cada vez más los efectos de la salinización y el anegamiento²². En América Latina y Asia, la ampliación de la superficie de producción de maíz se considera insostenible por sus elevados costos ambientales y el riesgo de un avance de la degradación de las tierras⁵⁵.

Entre tanto, la parte correspondiente a la agricultura en la extracción de agua dulce a nivel mundial, que en la actualidad está en torno al 70 %, se ve cada vez

más presionada por sectores competidores. Muchos sistemas agrícolas de secano y de regadío están aproximándose a los límites de sus posibilidades de producción y la extracción de aguas subterráneas supera las tasas de reposición natural en las principales zonas productoras de cereales de todo el mundo⁵³. En África del Norte y Asia occidental, la escasez de agua podría ser un factor determinante de la productividad agrícola aún más importante que la escasez de tierras⁵⁶. La competencia por el agua por parte de los consumidores domésticos e industriales está reduciendo la superficie de cultivo de arroz en algunos países de Asia²³. Se prevé que la escasez de agua dé lugar a que el riego se desvíe del cultivo de trigo hacia cultivos de más valor, lo que relegaría el trigo a zonas de secano menos productivas⁵⁷.

Otro obstáculo para el aumento de la producción es la acusada desaceleración del crecimiento de los rendimientos del maíz, el arroz y el trigo, que durante la Revolución Verde registró un promedio de entre el 2 % y el 3 % anual. Aunque el crecimiento medio mundial del rendimiento del maíz es del 1,5 % anual, debido principalmente al aumento en los Estados Unidos, la tasa de crecimiento ha disminuido al 1 % en el caso del arroz y el trigo, lo que, según una estimación reciente, está por debajo del mínimo necesario para garantizar la seguridad alimentaria mundial en 2050⁵⁰.

La desaceleración del crecimiento de la productividad de los cereales se relaciona con la disminución de incentivos y la demanda de tecnologías destinadas a aumentar el rendimiento, debido a la importante caída de los precios reales de los productos básicos agrícolas desde comienzos del decenio de 1960 hasta principios del decenio de 2000⁵⁸. Otro factor es el apoyo insuficiente a la agricultura. La Revolución Verde fue posible en gran medida gracias a la investigación y el desarrollo (I+D), los sistemas de suministro de insumos y los servicios de extensión financiados por los gobiernos¹⁵. Pero la tasa de crecimiento del gasto público en I+D agrícolas en el mundo desarrollado se ha ralentizado, llegando incluso a ser negativa en los Estados Unidos en 2004, lo que ha disminuido los efectos indirectos de las tecnologías para los países en desarrollo^{59, 60}.

Aunque la financiación pública anual destinada a I+D agrícolas aumentó a escala mundial un 22 % entre 2000 y 2008, hasta alcanzar los 31 700 millones de USD⁶¹, China y la India representaron casi la mitad de este aumento; el gasto de los países de bajos ingresos en I+D agrícolas correspondió únicamente al 2,1 % del total mundial en 2009, menos que en 1960²⁶.

Los efectos del cambio climático

Se prevé que el cambio climático, que supone el problema medioambiental más grave al que se enfrenta la humanidad, tenga repercusiones de gran alcance en el maíz, el arroz y el trigo. En el plano mundial, se estima que el aumento de las temperaturas y las tendencias de las precipitaciones desde 1980 han disminuido el rendimiento del trigo un 5,5 % y del maíz un 3,8 %, por debajo de lo que habrían estado si el clima se hubiera mantenido estable⁶². Está previsto que en los próximos decenios se observen más aumentos de las temperaturas, subidas del nivel del mar, mayor intensidad de las presiones de plagas y enfermedades,

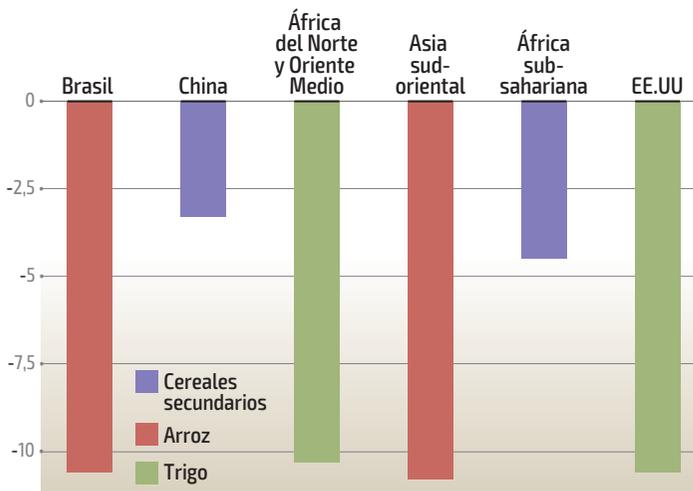
situaciones de escasez de agua, fenómenos climáticos extremos y pérdidas de biodiversidad⁶³. En un estudio reciente de los efectos del cambio climático en la agricultura se señaló que, sin adaptación por parte de los agricultores, el rendimiento agrícola mundial en 2050 sería un 6,9 % inferior a la estimación del rendimiento sin la existencia del cambio climático; los rendimientos de los cereales disminuirían hasta un 10 % tanto en las regiones desarrolladas como en desarrollo |FIGURA 1.2|⁶⁴.

Dado que el maíz es sobre todo un cultivo de secano, una mayor variabilidad de las precipitaciones aumentará las pérdidas por sequías e inundaciones en el África subsahariana y Asia^{65, 66}. Los efectos negativos se dejarán sentir mayormente en zonas en las que la degradación de los suelos le haga carecer de capacidad para proteger los cultivos frente a las sequías y el estrés por calor⁵⁵. Se prevé que el cambio climático reduzca

el rendimiento del maíz al aumentar la incidencia, gravedad y distribución de enfermedades fúngicas, que también suponen una amenaza para la inocuidad de los alimentos⁶⁷.

Se prevé una disminución de la productividad del arroz en los trópicos. Las variedades de arroz de alto rendimiento que existen actualmente son intolerantes a las principales tensiones abióticas que podrían verse agravadas por el cambio climático, tales como el aumento de las temperaturas, la sequía y la salinidad. La elevación del nivel del mar y la mayor frecuencia de tormentas supondrán una amenaza especial para los sistemas basados en el arroz en regiones costeras⁶⁸. Puesto que la mitad del aumento de la producción de arroz en los últimos 25 años se ha producido en los deltas fluviales en Bangladesh, Myanmar y Viet Nam, una pérdida grave de su capacidad de producción provocaría “una importante crisis de la seguridad alimentaria mundial”⁶⁹.

Figura 1.2 Proyección de la disminución del rendimiento de los cereales a causa del cambio climático en 2050, sin adaptación (%)*



* En relación con valores de referencia en 2050 en caso de no haber cambio climático; promedio del resultado de tres modelos de circulación general

Fuente: Adaptado de la Figura 2, pág. 4⁶⁴

El aumento de la frecuencia de altas temperaturas a corto plazo podría tener efectos catastróficos en los rendimientos del trigo. Se prevé que las tierras de cultivo de trigo en Asia meridional y occidental y en el Norte de África sean las que más sufran el estrés por calor y la escasez de agua, así como la reactivación de las plagas de insectos y patógenos presentes en el suelo. En Asia meridional, las llanuras indogangéticas constituyen en la actualidad un megaentorno favorable para el trigo; en 2050, más de la mitad de su superficie total podría sufrir estrés por calor y el aumento de las enfermedades fúngicas. El cambio climático podría asimismo reducir el contenido nutricional del trigo^{22, 70}.

El aumento de la presión para reducir la significativa contribución de la agricultura al cambio climático afectará también a la producción de cereales. La adaptación al cambio climático y su mitigación exigirán a los productores de cereales que limiten la expansión de tierras agrícolas, utilicen menos fertilizantes minerales y reduzcan las emisiones de metano provenientes de los arrozales usando menos agua³⁷.

Para lograr el objetivo de suministrar 3 300 millones de toneladas de cereales anuales, para 2050, no es necesario que los rendimientos del maíz, el arroz y el trigo mejoren al mismo ritmo espectacular registrado durante la Revolución Verde. La cuestión es en qué medida el estancamiento de los rendimientos de los cereales y esa “confluencia de presiones sin precedentes”, a saber, la degradación de los recursos naturales, la limitación del espacio para la ampliación de tierras cultivadas, la escasez de agua y los efectos potencialmente catastróficos del cambio climático, incidirán en la producción de cereales y la seguridad alimentaria mundial.

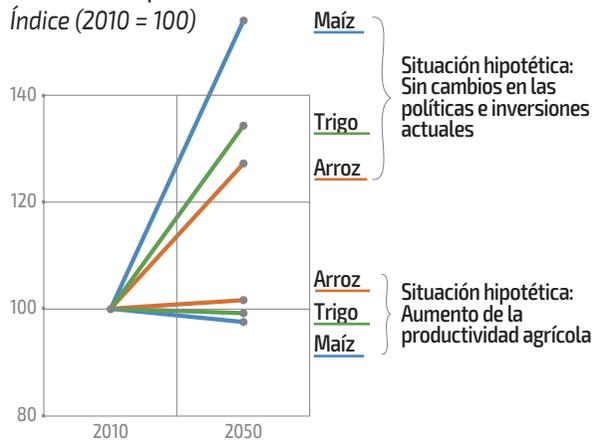
Los más vulnerables sufrirán los efectos más graves

Las hipótesis sobre la evolución futura señalan que la presión a la baja sobre la producción de cereales afectará en forma desproporcionada a los más vulnerables. Entre estos figuran muchos de los 500 millones de pequeños agricultores familiares del mundo en desarrollo, que producen aproximadamente el 80 % de los alimentos del mundo²⁶, y los miles de millones de personas de bajos ingresos que dependen diariamente de los cereales para sobrevivir.

Aunque en el mundo desarrollado el maíz se utiliza principalmente para alimentar al ganado y producir biocombustibles, en muchos países en desarrollo se consume sobre todo como alimento. Por lo general, los agricultores en pequeña escala tanto en el África subsahariana como en Mesoamérica producen maíz como cultivo alimentario para consumo familiar y para la venta en mercados urbanos. El maíz reviste especial importancia en la alimentación de la población pobre en zonas rurales y urbanas del África subsahariana y América Latina⁵⁵. El aumento de la demanda de maíz y la disminución de su productividad podrían provocar que, para 2050, las importaciones de maíz del mundo en desarrollo se triplicasen, con un costo anual de 30 000 millones de USD⁷¹.

El arroz es un alimento básico para más de 3 500 millones de personas en todo el mundo y su consumo anual per cápita supera los 100 kg en numerosos países de

Figura 1.3 Proyección de los cambios en los precios mundiales de los cereales, entre 2010 y 2050, en el marco de dos situaciones hipotéticas*



* Precios ajustados a los efectos de la inflación

Fuente: Adaptado de la Figura 2, pág. 92 y la Figura 4, pág. 94²¹

Asia y algunos de África. En ambas regiones, el arroz es cultivado principalmente por pequeños agricultores y se produce casi en su totalidad en explotaciones con una extensión de 0,5 a 3 ha²³. En África, el auge de la demanda de arroz entre los consumidores de zonas urbanas se cubre mediante importaciones, y no con producción interna, por lo que las importaciones de arroz elaborado casi se triplicaron entre los años 2000 y 2012 hasta alcanzar los 13,8 millones de toneladas. Solamente África occidental representa en torno al 20 % del arroz que se comercializa a nivel internacional⁷². El crecimiento demográfico aumentará la dependencia de la región, lo que hará que los consumidores africanos sean cada vez más vulnerables a los aumentos de precio²³.

La disminución de la productividad del trigo y el incremento de sus precios afectarán en mayor medida a aquellos países con altos índices de pobreza y una dependencia elevada del trigo para su seguridad alimentaria³⁰. En Asia meridional, donde más del 90 % del suministro de trigo se destina al consumo humano, alrededor del 60 % de la población vive con menos de dos dólares al día, y en Asia central, donde el consumo de trigo per cápita es de 160 kg al año, las tasas de pobreza alcanzan el 40 %^{2,73}. Los países africanos dependen cada vez más de las importaciones de trigo, que llegaron a la cifra récord de 41 millones de toneladas en 2013-14⁷⁴. Puesto que el cambio climático deriva la producción hacia latitudes superiores más favorecidas, los riesgos para los medios de vida de los productores de trigo en pequeña escala también se intensificarán²².

Los efectos de la inflación de los precios de los cereales en 2008 sobre las poblaciones más pobres del mundo han hecho que se adquiriera mayor conciencia respecto de la fragilidad del sistema alimentario mundial²³. El alza de los precios del trigo, por ejemplo, provocó disturbios en zonas urbanas en el Norte de África y Oriente Medio³⁰. Se espera que la actual tendencia a la baja de los precios de los cereales sea a corto plazo y que los precios se establezcan por encima de los niveles relativamente bajos registrados antes de 2008⁴⁷.

En un estudio realizado por el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) se observó que, en caso de seguir todo como hasta ahora, sin cambios en las políticas e inversiones agrícolas actuales, el precio real de los cereales podría aumentar considerablemente entre los años 2010 y 2050, lo que ralentizaría la reducción del número de personas en riesgo de padecer hambre en muchas regiones.

Pero en el estudio se proponía también otro escenario más optimista, a saber, si las inversiones alcanzan niveles suficientes para *aumentar los rendimientos de forma sostenible en las tierras agrícolas existentes*, el consiguiente aumento de la productividad mantendría los precios de los cereales ajustados según la inflación en 2050 muy parecidos a los de 2010 [FIGURA 1.3]. La disminución de los precios del maíz conllevará una reducción del costo de la leche y la carne, en tanto que el menor costo del arroz aliviaría los problemas que afrontan los importadores netos de alimentos. En términos generales, el aumento de la productividad mejoraría la seguridad alimentaria en todas las regiones y la población en riesgo de padecer hambre en el mundo se reduciría en torno al 40 %²¹.

Ahorrar para crecer: producir más con menos

La mejora sostenible del rendimiento en las actuales tierras de cultivo constituye la esencia del modelo “Ahorrar para crecer” de intensificación de la producción agrícola de la FAO. Este modelo pretende superar los desafíos convergentes de hoy en día, esto es, aumentar la productividad de los cultivos y asegurar la seguridad alimentaria y nutricional para todos y, a su vez, reducir la demanda de recursos naturales por parte del sector agrícola, sus efectos negativos en el medio ambiente y su significativa contribución al cambio climático¹⁵. Pruebas sólidas han demostrado que las prácticas agrícolas que conservan los recursos naturales también aumentan la productividad agrícola y mejoran el flujo de los servicios ecosistémicos⁷⁵⁻⁷⁷.

El enfoque “Ahorrar para crecer” reconoce que la seguridad alimentaria dependerá tanto de que se garantice la sostenibilidad como de que se aumente la productividad agrícola⁷⁸. Pretende alcanzar ambos objetivos mediante el fomento de tecnologías y prácticas agrícolas que protegen el medio ambiente, hacen un uso más eficaz de los recursos naturales, reducen el impulso del cambio climático, contribuyen a los medios de vida en las zonas rurales y benefician la salud humana^{31, 79}.

La producción agrícola basada en los ecosistemas es de por sí climáticamente inteligente. Ayuda a que los pequeños productores se adapten al cambio climático aumentando la resiliencia de sus sistemas de producción ante las tensiones ambientales, como por ejemplo la sequía, el aumento de las temperaturas y la activación de plagas y enfermedades³⁷. Al mantener y utilizar diversos reinos, especies y acervos genéticos en los agroecosistemas, aumenta tanto la productividad como la resiliencia²⁷.

El modelo “Ahorrar para crecer” tiene asimismo grandes posibilidades de mitigar el cambio climático, pues mediante el aprovechamiento de los procesos

biológicos naturales, reduce el uso de fertilizantes minerales y disminuye las emisiones de óxido nítrico “en origen”. Además, a través de un uso más eficiente del agua, puede ayudar a reducir las emisiones de gas metano procedentes de arrozales de regadío³⁷. Las prácticas de gestión que restablecen la calidad del suelo podrían retener en este alrededor de 1,8 toneladas de carbono por hectárea al año⁸⁰. El almacenamiento del carbono puede contrarrestar las emisiones de combustibles fósiles en hasta 1 300 millones de toneladas de carbono al año, que equivalen al 15 % de las emisiones mundiales de combustibles fósiles⁸¹.

Debe prestarse mucha más atención no solo a la cantidad, sino también a la *calidad* de los alimentos que se producen y consumen. El modelo “Ahorrar para crecer” fomenta la diversificación de la producción en pequeña escala para que incluya alimentos con un alto contenido y disponibilidad biológica de nutrientes, como por ejemplo la carne, los productos lácteos, el pollo y el pescado, que resuelven múltiples carencias de nutrientes, así como legumbres, fruta y hortalizas de hoja. La diversificación aumenta la disponibilidad de una variedad más amplia de alimentos con un elevado contenido nutricional, lo que contribuye de forma directa a la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares³¹.

Por último, el aumento de la productividad en las pequeñas explotaciones constituye una medida fundamental para obtener un desarrollo socioeconómico amplio y equitativo en las zonas rurales. Además, mejora los ingresos de los productores y la demanda de mano de obra, diversifica las fuentes de ingresos en los hogares, mejora el acceso a los alimentos y fomenta las industrias rurales. Datos empíricos indican que el crecimiento agrícola en muchos países de ingresos bajos y con pocos recursos puede ser cinco veces más eficaz en la reducción del hambre y la pobreza que el crecimiento en otros sectores⁸².

Es momento de renovar el vínculo entre la humanidad y los cereales. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura cree que el modelo “Ahorrar para crecer” es el camino a seguir —en realidad, la única opción viable— hacia un aumento sostenible de la producción de maíz, arroz y trigo. En el *Capítulo 2* de esta publicación se describen componentes, prácticas y tecnologías del sistema agrícola “Ahorrar para crecer” y se examinan los avances logrados en su adopción por parte de pequeños productores de cereales en países en desarrollo. En el *Capítulo 3* se presentan ejemplos de sistemas agrícolas integrados de “Ahorrar para crecer”, en práctica, en todo el mundo en desarrollo. El *Capítulo 4* concluye con un resumen de los marcos normativos e institucionales, y las innovaciones en los ámbitos de la tecnología, la educación y el fomento de la capacidad, necesarios para ampliar el alcance de las enseñanzas adquiridas en programas nacionales y regionales.



Capítulo 2

Avances hacia la producción sostenible de cereales

Los sistemas agrícolas deben reestructurarse en todo el mundo con vistas a la intensificación sostenible. Los productores de cereales ya han iniciado esta transición mediante la adopción de componentes y prácticas del modelo “Ahorrar para crecer”.

Los sistemas agrícolas dirigidos a “ahorrar para crecer” aumentan la productividad de los cultivos y diversifican la producción de alimentos, al tiempo que restablecen y mejoran el capital natural y los servicios ecosistémicos. Para ello, logran mayores índices de eficiencia en la utilización de insumos agrícolas, en particular el agua, los nutrientes, la energía y la mano de obra, y fortalecen la resiliencia frente a tensiones abióticas, bióticas y económicas, así como frente al cambio climático.

La intensificación sostenible, a través del modelo “Ahorrar para crecer”, ofrece diversos beneficios de productividad, socioeconómicos y ambientales para los pequeños agricultores y la sociedad en general, como son, por ejemplo, una producción y rentabilidad altas y estables; el aumento de los ingresos de los agricultores y la mejora de los medios de vida rurales; el aumento de la disponibilidad y el consumo de los muy diversos alimentos necesarios para llevar una alimentación sana; la adaptación al cambio climático y otras alteraciones y la reducción de la vulnerabilidad ante estos; la mejora del funcionamiento y los servicios de los ecosistemas; la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono de la agricultura¹.

Además, el modelo “Ahorrar para crecer” contribuirá a la transición mundial hacia una alimentación y agricultura sostenibles, que garantice la seguridad alimentaria mundial, brinde oportunidades económicas y sociales, y proteja y mejore los servicios ecosistémicos de los que depende la agricultura².

Los sistemas agrícolas dirigidos a “ahorrar para crecer” se basan en cinco elementos complementarios y sus prácticas afines, a saber¹:

- ▶ **La agricultura de conservación (AC)**, mediante una alteración mínima del suelo, el uso de cubierta orgánica de superficie y sistemas de rotación de cultivos, y la producción integrada de cultivos, árboles y animales;
- ▶ **La salud del suelo**, mediante una gestión integrada de la nutrición de los suelos, que favorece el crecimiento de los cultivos, fortalece la tolerancia a situaciones de estrés y promueve una mayor eficiencia en la utilización de insumos;
- ▶ **Los cultivos y variedades mejorados** adaptados a sistemas agrícolas en pequeña escala, con un alto potencial de rentabilidad, resistencia a tensiones bióticas y abióticas y mayor calidad nutricional;
- ▶ **La gestión eficiente del agua** que obtiene “más cultivos por gota”, mejora la eficiencia de la mano de obra y el uso de energía, y ayuda a reducir la contaminación agrícola de las aguas;
- ▶ **El manejo integrado de plagas (MIP)** basado en buenas prácticas agrícolas, variedades más resistentes, enemigos naturales y el uso sensato de plaguicidas relativamente más inocuos en caso necesario.

Para esta publicación, la FAO llevó a cabo un examen exhaustivo de los avances alcanzados en la adopción de prácticas sostenibles de conservación de los recursos por parte de pequeños productores de maíz, arroz y trigo en el mundo en desarrollo. Este examen confirmó las conclusiones recientes respecto de que, en los dos últimos decenios, los pequeños agricultores de países en desarrollo habían adoptado algunas de las medidas más importantes en la transición hacia una intensificación sostenible³.

En este capítulo se describen cada uno de los elementos del sistema agrícola “Ahorrar para crecer” y sus prácticas correspondientes, y se proporcionan ejem-

plos de buenos resultados de su aplicación por parte de pequeños productores de cereales. Así todo, los distintos elementos y prácticas deberían considerarse únicamente los *elementos básicos* para la producción sostenible de los tres cultivos. Aunque cada uno contribuye a la sostenibilidad, solo se alcanzarán los máximos beneficios si la totalidad de los elementos, descritos a continuación, se integra plenamente en sistemas agrícolas del modelo “Ahorrar para crecer” (véase el Capítulo 3).

Agricultura de conservación

El sistema “Ahorrar para crecer” incorpora las tres prácticas básicas de la Agricultura de conservación (AC), un enfoque que ha sido adoptado en unos 155 millones de hectáreas de tierras agrícolas en todo el mundo⁴.

En primer lugar, los agricultores evitan o limitan la alteración mecánica del suelo. La preparación excesiva de la tierra con arados, gradas y azadas entierra la cubierta protectora del suelo, mata la biota edáfica, provoca la rápida descomposición de la materia orgánica, agota la fertilidad de los suelos y degrada su estructura. En segundo lugar, los cultivos de cobertura o cubiertas vegetales se mantienen con carácter permanente en la superficie del suelo para reducir la erosión, aumentar la infiltración de agua, conservar la humedad del suelo, eliminar las malas hierbas y fomentar la proliferación de biota edáfica que favorece la salud del suelo y el rendimiento de las cosechas. En tercer lugar, los agricultores mantienen la aportación de nutrientes de cultivos, reducen las plagas y enfermedades y refuerzan la estabilidad global de los sistemas mediante el cultivo de un abanico más amplio de especies y variedades vegetales en asociaciones y rotaciones y, si procede, mediante la integración de la actividad forestal, la cría de animales y la acuicultura en sus sistemas de producción¹.

Al mejorar la salud del suelo, reducir la presión de las plagas y patógenos, disminuir la erosión, aumentar la disponibilidad de agua y nutrientes e incrementar el almacenamiento del carbono en el suelo, la AC aumenta la resiliencia de los cultivos ante el aumento de las temperaturas, las sequías y las inundaciones, intensifica los servicios ecosistémicos y ayuda a mitigar el cambio climático. También reduce los costos de producción gracias al ahorro en maquinaria, mano de obra, combustibles fósiles, riego, fertilizantes minerales y plaguicidas. Sin embargo, la AC no es un enfoque único aplicable a todos y los métodos utilizados para llevar a cabo sus prácticas fundamentales varían según los cultivos y las condiciones locales⁵⁻⁹.

Durante los dos últimos decenios, la labranza se ha reducido significativamente en amplias zonas utilizadas para la producción de trigo y maíz, y en algunos casos se ha eliminado por completo. En las llanuras indogangéticas, los productores de trigo que practican una labranza mínima o nula se han beneficiado de un aumento del rendimiento del grano y han mejorado la conservación del suelo y el agua. El cultivo sin labranza se considera la tecnología de conservación de recursos que obtiene mejores resultados en las llanuras^{10, 11} (véase el Capítulo 3, pág. 58). Además de aumentar el rendimiento medio un 7 %, ha permitido a los agricultores ahorrar hasta 30 días de mano de obra y 52 USD

en costos de preparación de la tierra por hectárea, y ha incrementado sus ingresos netos medios 97 USD por hectárea |FIGURA 2.1|¹².

En Marruecos, donde la agricultura intensiva con labranza profunda e inversión del suelo provocó su rápida degradación y pérdidas de fertilidad, se observan ahora sistemas de AC para la producción de trigo en campos de diversas condiciones, que han dado lugar a mejoras del rendimiento del grano y la productividad de los insumos. El cultivo sin labranza se practica en el caso de otros cultivos de invierno, rotaciones con cultivos de leguminosas y semillas oleaginosas, y cultivos extensivos con riego¹³.

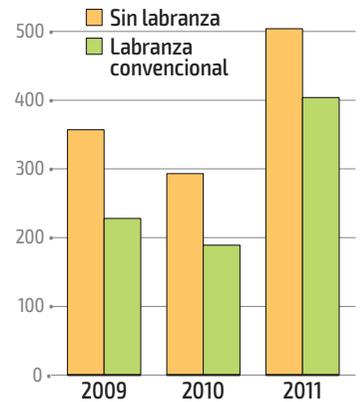
Los buenos resultados del cultivo sin labranza o con labranza reducida en la producción de maíz se reflejan en la amplia adopción de sistemas de cultivo con plantación directa y cubierta vegetal en América Latina. En los últimos decenios han aumentado las zonas en las que se ha implantado este sistema de forma permanente, llegando a alcanzar más del 50 % de la superficie total de cultivos en Argentina, el Brasil y Paraguay^{4, 14}. En el África subsahariana, los sistemas de maíz en los que se practica la AC retienen más humedad del suelo durante los períodos sin precipitaciones entre estaciones y son más productivos que los sistemas basados en la labranza convencional que utiliza arados, gradas y azadas¹⁵.

Gran parte del arroz de Asia tropical seguirá produciéndose en la estación húmeda, cuando el suelo está demasiado saturado para otros cultivos básicos. Sin embargo, la práctica tradicional en Asia de trasplantar el arroz a suelos enfangados requiere un gran volumen de mano de obra, agua y energía. En los sistemas de cultivo de arroz y trigo, esta práctica demora asimismo la plantación de trigo y daña la estructura del suelo. Con la disminución de la disponibilidad de mano de obra y agua, muchos agricultores que cultivaban arroz de riego están cambiando a la siembra en seco de arroz sin labranza, que elimina el enfangado del suelo. Numerosos estudios han demostrado que, en comparación con la producción en campos enfangados, la siembra en seco utiliza un 33 % menos de agua de riego y reduce los costos de producción hasta 125 USD por hectárea¹⁶.

La adopción de la siembra en seco de arroz sigue teniendo un carácter muy variable en Asia, pero en una zona del nordeste de la India se ha observado que los índices de adopción superan más del 50 % de los agricultores¹⁷. Las iniciativas dirigidas a fomentar la AC en el cultivo de arroz en la India se basan en las nuevas tecnologías, desarrolladas en la región, para la nivelación del terreno, la lucha contra la maleza y la siembra en surco, que coloca los fertilizantes y las semillas de arroz a una profundidad óptima¹⁶.

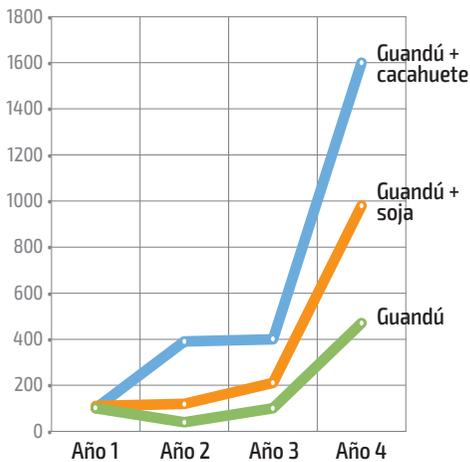
En los sistemas agrícolas del modelo “Ahorrar para crecer”, los cereales no se consideran monocultivos, sino componentes de rotaciones de cultivos y explotación mixta. Tradicionalmente, los pequeños agricultores en entornos de grandes tensiones han rotado especies de cultivos y árboles forrajeros, y han integrado la producción de cultivos y ganado a fin de reducir el riesgo de pérdida de cosechas. A mayor escala, la diversificación aumenta la resiliencia de los sistemas agrícolas, limitando las pérdidas a tensiones bióticas o abióticas que afectan a los monocultivos genéticamente uniformes¹⁸.

Figura 2.1 Rendimiento neto del cultivo de trigo sin labranza y con labranza convencional, Haryana (India) (USD/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 5, pág. 13¹²

Figura 2.2 Número de agricultores que han adoptado el cultivo de leguminosas en la producción de maíz tras los ensayos, Ekwendeni (Malawi)



Fuente: Adaptado de la Figura 2, pág. 446²⁴

La producción diversificada tiene otros beneficios, pues aumenta la disponibilidad de residuos vegetales para su uso como cubierta orgánica y recicla los nutrientes y la materia orgánica de las explotaciones a través del estiércol animal. Siempre que se disponga de mercados para los otros productos básicos producidos, los productores de cereales pueden también diversificar sus fuentes de ingresos.

El trigo se cultiva en rotación con otros cultivos en todas las regiones productoras. El sistema de rotación de cultivo de trigo y algodón de regadío se practica en unos 1,4 millones de hectáreas en la India y en 2,6 millones de hectáreas en Pakistán¹⁹. Sistemas similares revisten importancia en Egipto, Tayikistán, Turquía y Uzbekistán. Tradicionalmente, la cosecha tardía del algodón ha obligado a plantar el trigo en Asia meridional a finales de diciembre, lo que a su vez expone el cultivo de trigo al estrés por calor al madurar los granos a finales de abril y mayo. Esta traba se ha superado gracias a la plantación en relevo de trigo en el cultivo en pie de algodón, sin labranza, que adelanta la siembra de trigo hasta 44 días y mejora los rendimientos hasta un 40 %^{20, 21}.

Un sistema de rotación de cultivos trigo-maíz en la llanura del norte de China produce más del 50 % del trigo del país y casi el 33 % de su maíz²². En la India, los sistemas de cultivo trigo-maíz más productivos y rentables se basan en lechos elevados permanentes sin labranza, que se siembran en surco a través de los residuos de las cosechas²³. La rotación de trigo con leguminosas de grano, como son por ejemplo garbanzos, lentejas y habas, se practica cada vez más en zonas productoras de trigo de secano, especialmente en suelos con bajos niveles de nitrógeno, típicos de Asia occidental y el Norte de África. Las leguminosas diversifican la producción, enriquecen el suelo mediante la fijación biológica del nitrógeno, mejoran la eficiencia en el uso del agua e interrumpen el ciclo de vida de las malas hierbas, las plagas y los agentes patógenos.

En los últimos años, muchos pequeños agricultores en África meridional han recuperado la práctica tradicional de cultivar leguminosas, tales como el maní, la soja y el guandú, junto con el maíz [FIGURA 2.2]²⁴⁻²⁶. Las leguminosas suelen valorarse más como fuente de alimento e ingresos que por su contribución a la fertilidad del suelo y son pocos los que adoptan el cultivo de leguminosas anuales utilizadas únicamente como abono verde.

La rotación de maíz con otros cultivos, y su integración en sistemas agroforestales y de producción ganadera, está bien asentada y resulta especialmente prometedora en cuanto al aumento de la eficiencia en la utilización de recursos²⁷. En las regiones de sabana de África, los agricultores suelen cultivar maíz bajo las copas de una acacia, la *Faidherbia albida*, que deposita hojas ricas en nitrógeno que sirven de cubierta vegetal, fertilizante natural y pienso para el ganado (véase el Capítulo 3, pág. 71). El desarrollo de la “Ac con árboles” ha contribuido a avanzar la difusión de la Ac en los sistemas agropecuarios en el África subsahariana²⁸.

En el Brasil, la introducción del cultivo de maíz sin labranza en rotación con la soja ayudó a impulsar la adopción generalizada de la Ac. En la región de sabana tropical del país, el maíz se cultiva entre filas de árboles durante los primeros dos

o tres años después de haberlos plantado. Posteriormente, la zona se planta con forrajes de forma intercalada con el maíz. Una vez que se establecen pastizales, se lleva el ganado a pacer hasta que los árboles están listos para su recolección^{29,30} (véase el Capítulo 3, pág. 55). Esta diversificación mitiga los efectos de la variabilidad del clima y los mercados en los ingresos agrícolas. Reduce asimismo el desbroce de bosques con fines agrícolas, protege la biodiversidad, controla la erosión del suelo y mejora su fertilidad y estructura³¹⁻³².

Los sistemas basados en el arroz son cada vez más diversos. En los dos últimos decenios, la rotación del cultivo de arroz y maíz se ha extendido con rapidez en Bangladesh³³. La producción de patatas sin labranza va en aumento en las zonas de tierras bajas productoras de arroz de Viet Nam, donde los arrozales se drenan utilizando surcos y se colocan los tubérculos de siembra de patata en los consiguientes lechos elevados. Después de añadir fertilizantes al suelo en torno a los tubérculos, los lechos se cubren con la paja que ha quedado de la cosecha de arroz³⁴. Los agricultores en los valles interiores de África occidental también están diversificando sus sistemas de cultivo de arroz con la producción de hortalizas³⁵.

En Asia, el arroz se integra con la producción de pescado y ganado. La acuicultura en zanjas cavadas en torno a los arrozales estimula la productividad del arroz al aumentar el suministro de nutrientes para las plantas, y ofrece a los agricultores una fuente adicional de alimentos nutritivos para los hogares³⁶. Los agricultores en Bangladesh cultivan maíz y pasto napier entre las dos temporadas de cultivo principales del arroz como forma eficaz de producir alimentos, ingresos en efectivo y forraje para el ganado, sobre todo en zonas con escasez de tierras. En un distrito, el sistema de cultivo arroz-forrajes ha generado un rendimiento económico neto medio para los agricultores de 2 630 USD por hectárea, frente a los 1 815 USD obtenidos con el cultivo de arroz únicamente³⁷.

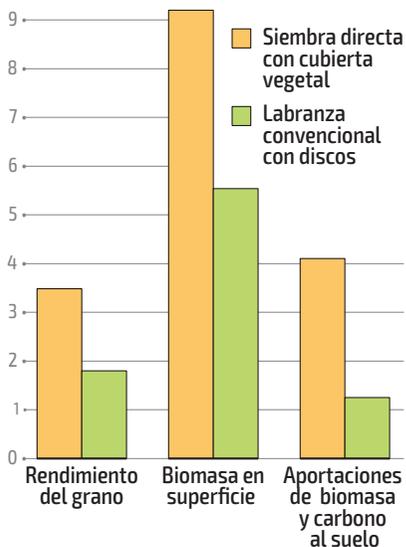
La salud de los suelos

La “salud de los suelos” se define como la capacidad del suelo de funcionar como un sistema vivo que sustenta la productividad de plantas y animales, mantiene o mejora la calidad del agua y el aire, y fomenta la salud vegetal y animal³⁸. En el modelo “Ahorrar para crecer”, la salud de los suelos es fundamental para que las plantas utilicen eficazmente los insumos de producción naturales y externos. Asimismo, fortalece la resiliencia de los cultivos ante las tensiones abióticas y bióticas que se verán acentuadas por el cambio climático.

Para que los suelos agrícolas se consideren sanos, la biota edáfica ha de gestionarse de forma que permita al suelo mantener un desarrollo de las raíces y un crecimiento vegetal firmes, y ofrecer la mayoría de servicios ecosistémicos que proporcionaría en su estado natural. El cultivo excesivo e intensivo destruye la estructura del suelo al descomponer los agregados del mismo, reducir el contenido de materia orgánica y la porosidad, e interrumpir las correspondientes funciones del suelo de humedad e infiltración, retención y liberación de nutrientes⁶.

Una serie de buenas prácticas agrícolas promueven la salud del suelo, mejoran su fertilidad y favorecen la productividad agrícola y la sostenibilidad a largo plazo.

Figura 2.3 Efecto de la labranza y la gestión de residuos en los rendimientos del maíz, la biomasa y las existencias de carbono en el suelo, La Tinaja (México) (t/ha)



Fuente: Adaptado de los Cuadros 4-6, pág. 429⁴⁴

Algunas de ellas son, por ejemplo, la aplicación prudente de fertilizantes minerales y orgánicos, así como prácticas de AC, incluidos el cultivo sin labranza y el uso de cubierta vegetal de residuos agrícolas y cultivos de cobertura de especies mixtas.

Todas estas prácticas constituyen una necesidad urgente en muchas de las principales regiones productoras de arroz, trigo y maíz, a fin de subsanar las carencias de macronutrientes y micronutrientes y aumentar los niveles de carbono orgánico del suelo^{39, 40}. Crear existencias de carbono es costoso, por lo que se refiere al tiempo y a los insumos, como arreglos orgánicos, que son necesarios. Así pues, resulta fundamental proteger umbrales viables de carbono orgánico del suelo mediante recomendaciones sobre la salud del suelo del modelo “Ahorrar para crecer”.

En estudios llevados a cabo en zonas productoras de trigo de Marruecos se observó que el cultivo sin labranza y la retención de los residuos de las cosechas en la superficie del suelo habían hecho aumentar el contenido de carbono orgánico del suelo y los agregados del suelo estables en agua, en comparación con los terrenos arados^{13, 41, 42}. En los sistemas intensivos de arroz-trigo y maíz-trigo de las llanuras indogangéticas, los estudios han detectado una mejora significativa de las propiedades físicas y químicas de los suelos en los que se practica la AC⁴³.

En los sistemas de producción basados en el maíz en México occidental, el cultivo de maíz con siembra directa, que utiliza los residuos de las cosechas como cubierta vegetal, ha tenido importantes beneficios para la salud del suelo, sobre todo al reducir las pérdidas por escorrentías y erosión del suelo. En un período de cinco años, los niveles de carbono del suelo aumentaron casi un 30 % y los rendimientos del maíz alcanzaron casi el doble |FIGURA 2.3|⁴⁴.

Desde hace tiempo, las leguminosas se han cultivado antes de los cereales o junto con ellos a fin de mejorar la salud y la productividad del suelo. A través de la fijación biológica del nitrógeno, las leguminosas añaden al suelo hasta 300 kg de nitrógeno por hectárea al año, razón por la cual el trigo cultivado después de las leguminosas genera mayores rendimientos (véase el Capítulo 3, pág. 52). En México, las leguminosas en rotación con el maíz contribuyen a generar materia orgánica y nitrógeno que ayudan a aumentar el rendimiento del maíz en un 25 % (véase el Capítulo 3, pág. 64).

En Lombok (Indonesia), en los diques de arroz se planta *Sesbania grandiflora*, que tiene el valor nutritivo más alto entre las leguminosas arbustivas. Las hojas que caen de los árboles son ricas en nitrógeno y contribuyen a mejorar los niveles de nutrientes del suelo y la productividad agrícola. Esta práctica está difundándose a otras partes de Asia⁴⁵. En Uganda, donde la falta de nitrógeno del suelo es el factor que más limita los sistemas agrícolas, la plantación de frijoles de terciopelo antes del cultivo de arroz aumentó los rendimientos del arroz en grano de 1,5 a 2,3 toneladas por hectárea, semejante a la mejora obtenida con fertilizantes minerales⁴⁶.

Los fertilizantes orgánicos e inorgánicos contribuyen de forma importante al mantenimiento de suelos sanos y productivos. Ocho años de investigaciones en un sistema de cultivo de arroz y trigo en la India demostraron que el uso combinado de estiércol de granja (una mezcla de estiércol de origen animal y residuos de las cosechas) y abono verde a razón de 5 a 6 toneladas por hectárea, junto con 90 kg de nitrógeno aplicados como fertilizante mineral, mantenía la productividad del trigo y, al mismo tiempo, reducía la aplicación de fertilizantes minerales a la mitad⁴⁷.

Puesto que el fertilizante mineral suele resultar demasiado caro para los pequeños productores en el África subsahariana, muchos han adoptado una “gestión integrada de la fertilidad del suelo”, que complementa los nutrientes sintéticos con insumos orgánicos obtenidos a través de la mejora del reciclado de desechos y el compostaje de residuos de las cosechas; la utilización de estiércol de origen animal; la incorporación de leguminosas de grano, árboles y arbustos a través del cultivo intercalado, las rotaciones y la agroforestería^{48, 49}.

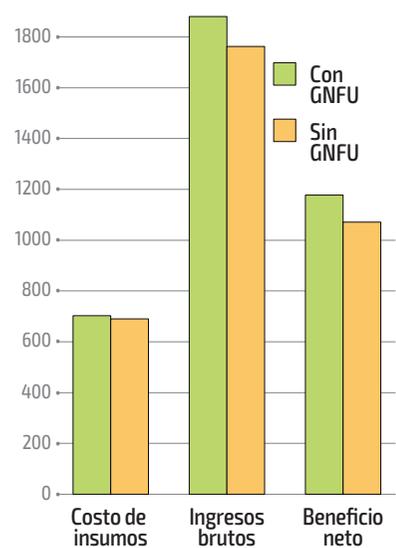
En sistemas agrícolas que combinan la producción agrícola y ganadera, el ganado suele alimentarse de recursos locales, tales como pastos, residuos de las cosechas, árboles forrajeros y arbustos. El excremento y la orina del ganado reciclan nutrientes y materia orgánica, que ayudan a mantener la fertilidad y la estructura del suelo. El cultivo mixto aumenta la productividad agrícola y ahorra dinero a los agricultores al intensificar los ciclos de nutrientes y energía.

Sin embargo, puede que no siempre se disponga de abonos orgánicos en las cantidades necesarias, y las grandes variaciones que hay en el contenido de nutrientes hacen difícil para los agricultores calcular las tasas de aplicación. En Zimbabwe, donde amplias zonas son intrínsecamente deficitarias en nitrógeno y fósforo del suelo, un estudio de 450 explotaciones de maíz concluyó que los beneficios de rendimiento de la AC solo podrían aprovecharse plenamente si se aplican también fertilizantes minerales⁵⁰. Una gestión mejor de los fertilizantes minerales, en particular una dosificación y un calendario de aplicación adecuados, y mejoras en las prácticas agronómicas constituyen una necesidad urgente para aumentar la eficiencia en el uso de fertilizantes, o la producción de grano por unidad de fertilizante aplicada.

En Malawi, los agricultores de maíz con acceso a asesoramiento de extensión sobre la lucha contra las malas hierbas, la rotación de cultivos, el cultivo intercalado y el calendario de aplicación de los fertilizantes suelen lograr, con la misma cantidad de fertilizante, rendimientos del grano que duplican con creces el promedio nacional⁵¹.

La eficiencia en el uso de fertilizantes también ha mejorado notablemente en la producción de arroz con una gestión de nutrientes en función de la ubicación (GNFU), esto es, una estrategia que optimiza el uso de los nutrientes del suelo existentes y subsana las carencias con fertilizantes minerales⁵². En ensayos sobre el terreno, el rendimiento del arroz por hectárea aumentó 0,2 toneladas en Viet Nam, 0,3 toneladas en Filipinas y 0,8 toneladas en la India. El beneficio neto por hectárea para los productores de arroz que utilizaron la GNFU en Filipinas fue un 10 % superior al de los que no lo hicieron |FIGURA 2.4|⁵³.

Figura 2.4 Aspectos económicos de la gestión de nutrientes en función de la ubicación (GNFU) en la producción de arroz de regadío, Luzón Central (Filipinas) (USD/ha/año)



Fuente: Adaptado del Cuadro 9, pág. 19 y el Cuadro 10, pág. 21⁵³

En el sur de la India, la GNFU hizo posible que los productores de trigo redujeran las aplicaciones de fertilizantes, al tiempo que obtenían rendimientos de grano un 23 % superiores a los obtenidos al utilizar las proporciones de fertilizantes recomendadas⁵⁴. La gestión de nutrientes en función de la ubicación también ha demostrado ser beneficiosa para la producción de maíz. En Filipinas, Indonesia y Viet Nam, los agricultores registraron un aumento del rendimiento de 0,9 a 1,3 toneladas por hectárea⁵³.

Los micronutrientes, como el calcio, el magnesio, el azufre, el hierro y el zinc, desempeñan un importante papel en la mejora de la salud del suelo, la productividad agrícola y el contenido nutricional de los cereales. Hay indicios de que el uso de fertilizantes que contienen micronutrientes mejora significativamente la calidad nutricional de los cultivos, así como su rendimiento, la producción de biomasa y la resiliencia ante plagas, enfermedades y sequías⁵⁵.

Las recientes innovaciones tecnológicas contribuyen a la mejora de la gestión de nutrientes en los sistemas de producción de maíz, arroz y trigo. Como parte del método de GNFU, el IRRI y sus asociados ayudaron a introducir en Bangladesh una “carta analítica de colores de las hojas” de plástico de bajo costo, que permite a los productores de arroz determinar el momento en el que se debe aplicar urea para obtener un beneficio óptimo. En lugar de esparcir a voleo fertilizantes con urea en varias ocasiones, y en grandes cantidades, durante la temporada de cultivo, los agricultores comparan el color de las hojas del arroz con los paneles de colores correspondientes a carencias específicas de nitrógeno de los cultivos. Estas cartas analíticas lograron reducir el uso de urea en torno a un 20 % y aumentar al mismo tiempo el rendimiento de la producción hasta un 31 %. Los beneficios totales se estiman en 22,8 millones de USD^{52,56}.

En Bangladesh, se ha logrado una mayor eficacia al utilizar pastillas de liberación controlada de fertilizantes con urea colocadas con precisión a una profundidad de 7 a 10 cm. En 2012, más de 400 000 productores de arroz seguían esta práctica, que tuvo como resultado un aumento medio del rendimiento de 250 kg por hectárea, una reducción del uso de fertilizantes de 7 000 toneladas y un ahorro para el Gobierno de 1,6 millones de USD en subvenciones para fertilizantes⁵⁷.

Se ha mejorado notablemente la eficiencia en el uso de fertilizantes gracias a la utilización de un sensor óptico de mano y un algoritmo para cultivos que miden, en tiempo real, la fuerza de un cultivo de trigo y ajustan las aplicaciones de nitrógeno a las necesidades. En México, la gestión del nitrógeno basada en sensores contribuyó a moderar las aplicaciones de fertilizantes durante la plantación y en las primeras etapas de crecimiento, y brindó orientación para las aplicaciones durante las etapas de desarrollo posteriores⁵⁸. En las llanuras indogangéticas, se empleó el mismo sistema con AC para ahorrar en aplicaciones de fertilizantes y, al mismo tiempo, aumentar los rendimientos del trigo y reducir los efectos ambientales fuera de las explotaciones⁵⁹.

Los cultivos y variedades mejorados

El uso de variedades mejoradas constituye otra forma importante de aumentar la productividad del maíz, el arroz y el trigo. Los sistemas agrícolas dirigidos a “ahorrar para crecer” requieren variedades que sean más productivas, utilicen de forma más eficaz los nutrientes y el agua, tengan mayor resistencia a las enfermedades y las plagas de insectos, y sean más tolerantes a las sequías, las inundaciones y el aumento de las temperaturas. Se necesitan variedades que se adapten a las zonas y sistemas de producción menos favorecidos, produzcan alimentos de mayor valor nutricional y contribuyan a mejorar la provisión de servicios ecosistémicos.

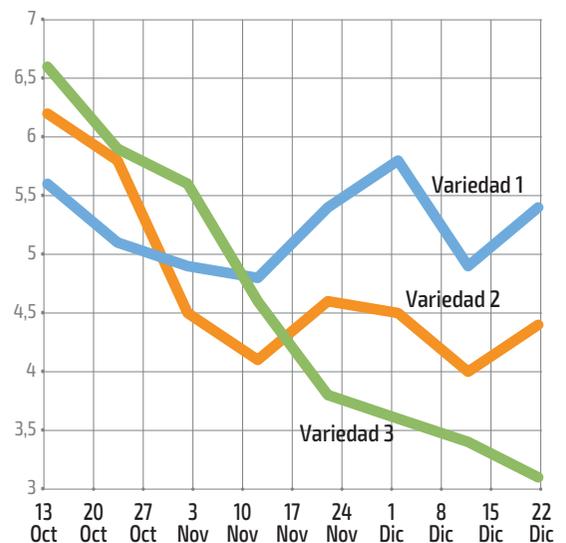
Esos nuevos cultivos y variedades se utilizarán en diversas zonas agroecológicas en las que también es importante la biodiversidad conexas, como por ejemplo el ganado, los polinizadores, los depredadores de plagas, los organismos del suelo y los árboles fijadores de nitrógeno. Las variedades adecuadas para el modelo “Ahorrar para crecer” deben tener capacidad para adaptarse a los cambios en las prácticas de producción y al manejo integrado de plagas¹.

Con el cambio climático, la tolerancia al calor y a la sequía será un rasgo muy importante de los cereales, sobre todo en los trópicos⁶⁰. El proyecto relativo al maíz resistente a la sequía para África dirigido por el CIMMYT ha obtenido variedades, incluidos híbridos, que tienen un rendimiento un 25 % superior al de las variedades comerciales en condiciones de sequía determinadas. Algunas variedades son asimismo resistentes al calor y producen rendimientos un 27 % superiores a los de las variedades comerciales⁶¹. En varios países se ha distribuido trigo resistente al calor, basado en el germoplasma conservado en el CIMMYT y el Centro internacional de investigación agrícola en las zonas secas (ICARDA). Una red de mejora del trigo patrocinada por el CIMMYT está estudiando la posibilidad de obtener variedades de trigo de alto rendimiento que puedan afrontar los veranos cada vez más calurosos de Kazajstán (véase el Capítulo 3, pág. 75).

Los cultivares que tienen altos rendimientos en temporadas de crecimiento más breves reducen los niveles de exposición al estrés por calor de final de temporada y han sido decisivos en el desarrollo de rotaciones de los tres cereales. En Asia meridional, la plantación de variedades de arroz de maduración más temprana en la estación de los monzones ha permitido plantar antes los cultivos posteriores de trigo, maíz u otros cultivos de estación seca. Los mejoradores también están buscando cultivares de trigo que se adapten a la siembra más temprana |FIGURA 2.5|⁶².

En Bangladesh, la plantación de maíz híbrido de alto rendimiento como cultivo de estación seca ha

Figura 2.5 Rendimientos de grano de cultivares selectos de trigo por fecha de plantación, Bihar y Madhya Pradesh (India) (t/ha)



Fuente: Adaptado de la Figura 16, pág. 23⁶²

demostrado ser una buena estrategia de adaptación a temperaturas más altas y a la creciente escasez de agua (véase el Capítulo 3, pág. 79).

Otro efecto que cabe esperar del cambio climático es el aumento de la incidencia de inundaciones, lo que supone una especial amenaza para la producción de arroz en Asia⁶³. Gracias al apoyo firme del Gobierno, los agricultores han adoptado a una velocidad sin precedentes las variedades “sub-1” obtenidas recientemente por el IRRI, que soportan estar sumergidas hasta 18 días⁵². Se ha obtenido maíz resistente a múltiples tensiones para las llanuras indogangéticas, donde da buenos resultados tanto en condiciones de sequía como de anegamiento⁶¹.

Las variedades con resistencia o tolerancia a las tensiones bióticas ofrecen la posibilidad más económica y respetuosa con el medio ambiente de contener los problemas que plantean las activaciones de plagas y enfermedades. Para luchar contra la amenaza del Ug99, una raza muy virulenta de roya del tallo del trigo, el CIMMYT, el ICARDA y sistemas nacionales de investigación agrícola determinaron materiales resistentes que se han incorporado a variedades de alto rendimiento y se han aplicado en numerosos países⁶⁴. El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la FAO han colaborado con varios países para desarrollar variedades mutantes de trigo resistentes a esta misma roya⁶⁵.

AfricaRice ha obtenido y distribuido ampliamente variedades del “Nuevo arroz para África” (NERICA), que combinan altos rendimientos y otras características del arroz asiático con la resistencia de las especies africanas a la mala hierba parasitaria *Striga*, una importante plaga del arroz y el maíz en la región^{66, 67}. Para obtener resistencia a una de las principales plagas del arroz, a saber, el hongo del añublo, el IRRI está combinando diferentes genes específicos de cada raza en el mismo tipo de arroz. El cultivo intercalado de diferentes variedades de arroz también puede ser una herramienta eficaz en la lucha contra el añublo. En China, la plantación de arroz glutinoso con una variedad híbrida resistente al añublo evita la formación del inóculo del hongo, logrando así una reducción significativa del uso de plaguicidas⁶⁸.

Otro ámbito del mejoramiento que ofrece grandes esperanzas es el bioenriquecimiento, que aumenta el contenido de nutrientes de los cultivos alimentarios a través de la mejora genética. El programa Harvest Plus del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR) ha promovido el bioenriquecimiento de siete cultivos, entre los que figuran el maíz, el arroz y el trigo. Bangladesh ha distribuido el primer arroz enriquecido con zinc del mundo y variedades de maíz ricas en vitamina A han llegado a más de 500 000 hogares en África⁶⁹. El valor nutricional se ha mejorado notablemente en el maíz de calidad con alto contenido proteínico, que contiene casi dos veces tantas proteínas aprovechables como el maíz convencional^{70, 71}.

Para obtener variedades aptas para los sistemas agrícolas del modelo “Ahorrar para crecer”, los fitomejoradores necesitan acceso a la más amplia variedad posible de fuentes de rasgos deseables, que se encuentran en las colecciones de cereales en los bancos de genes, en las razas locales en campos de agricultores y en plantas silvestres afines a las cultivadas. Es necesaria una caracterización más intensa de los recursos genéticos de los cereales a fin de determinar rasgos adecuados para la agricultura basada en los ecosistemas e integrarlos en el mejoramiento de cultivos⁷². Por ejemplo, las razas locales de trigo pueden ofrecer importantes

rasgos de tolerancia a la sequía y el calor, tales como un mayor nivel de biomasa, lo que mejoraría sensiblemente la adaptación de los cereales al cambio climático en todo el mundo⁷³.

Otro nuevo impulso en las actividades de mejoramiento es la mejora de los componentes de sistemas de cultivo intercalado basados en los cereales. Investigaciones recientes han permitido conocer mejor las interacciones entre genotipos y especies de cultivos, incluidos mecanismos para la prevención de plagas y enfermedades. Con actividades de mejoramiento que combinen los rasgos de diferentes plantas para mejorar el rendimiento general, el cultivo intercalado podría impulsar la sostenibilidad a largo plazo de la producción de alimentos con un uso reducido de insumos en numerosas partes del mundo^{74, 75}.

Asimismo, está aumentando el interés en la mejora genética de la calidad nutricional de los residuos de plantas de cereales. Después de la cosecha de maíz, los pequeños agricultores del África subsahariana y América central utilizan normalmente las hojas y tallos de las plantas para alimentar el ganado. Estudios llevados a cabo en México parecen indicar que las colecciones de germoplasma tienen un gran potencial, aún sin explotar, para mejorar el valor como pienso del rastrojo de maíz, lo que permitiría a los agricultores conservar más residuos en el campo como cobertura del suelo⁷⁶.

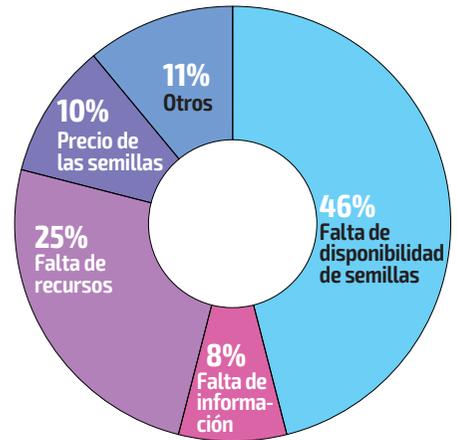
La combinación de prácticas como, por ejemplo, la AC con cultivares mejorados que hacen un uso más eficaz del agua y los nutrientes aumentaría la productividad y rentabilidad generales de la mayoría de los sistemas de cultivo. Variedades con un mayor nivel de eficiencia en el uso de fertilizantes podrían ayudar a reducir las pérdidas de nutrientes de los fertilizantes en los campos, que actualmente se estiman en un 50 % del nitrógeno aplicado y un 45 % del fósforo^{77, 78}.

El mejoramiento de cereales más productivos, eficaces y nutritivos debe ir acompañado de sistemas formales de semillas que garanticen la rápida multiplicación y suministro de semillas mejoradas a pequeños productores, así como del apoyo a las iniciativas propias de los agricultores dirigidas a conservar y mejorar la agrobiodiversidad local. Los sistemas de semillas tanto formales como de ámbito comunitario serán fundamentales en la distribución de variedades de cereales aptas para la producción dirigida a “ahorrar para crecer”¹.

En muchos países, la falta de sistemas de semillas eficaces impide a los agricultores adoptar nuevas variedades [FIGURA 2.6]. La producción de semillas es especialmente crucial en el caso de híbridos de cultivos de polinización cruzada, como el maíz. Existe una tendencia creciente en favor del establecimiento de asociaciones entre los sectores público y privado a fin de mejorar el suministro de semillas. En China, el sector privado produce y comercializa las semillas de arroz híbrido desarrolladas por el sector público⁷⁹ y actualmente el sector privado está empezando a producir y vender semillas de trigo en la India y otros países.

La Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) ha establecido de forma innovadora asociaciones con el sector privado a fin de comer-

Figura 2.6 Principales obstáculos para la adopción de maíz tolerante a la sequía por pequeños productores en Etiopía*



* Resultados de la encuesta a hogares agrícolas

Fuente: Adaptado de Fisher, M., Abate, T., Lunduka, R., Asnake, W., Alemayehu, Y. & Madulu, R. 2015. Drought tolerant maize for farmer adaptation to drought in sub-Saharan Africa: Determinants of adoption in eastern and southern Africa. *Climate change*. DOI 10.1007/s10584-015-1459-2. Figura 2.

cializar sus variedades híbridas de maíz y, en el proceso, generar recursos para llevar a cabo nuevas actividades de I+D⁸⁰. En 2014, el proyecto sobre el maíz resistente a la sequía para África facilitó la producción y distribución de aproximadamente 40 000 toneladas de semillas de maíz mejoradas en asociación con unas 110 empresas de semillas públicas y privadas, ONG y organizaciones de agricultores⁸¹.

Dado que el trigo es un cultivo autofértil, las semillas conservadas de cosechas anteriores siguen predominando y los índices de sustitución varietal son bajos, sobre todo en zonas de secano y alejadas. Para aumentar el acceso a variedades mejoradas, el ICARDA ha ayudado a asociados nacionales a acelerar el análisis y distribución de variedades resistentes a la roya. La multiplicación acelerada de semillas y la producción en gran escala, en colaboración con programas nacionales y grupos de agricultores, ayudaron a distribuir 80 000 toneladas de semillas certificadas a productores de cereales⁸².

Las redes y bancos de semillas comunitarios complementan los sistemas formales de semillas al conservarlas y mejorarlas procedentes de diversas fuentes, incluidos los intercambios entre agricultores y los mercados locales. El mejoramiento y multiplicación comunitarios de variedades de cereales que sean competitivas en rendimiento y se adapten bien a las condiciones locales otorgan a los pequeños agricultores acceso a una variedad de material de plantación más amplia de la que normalmente se dispone, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y a la conservación de la agrobiodiversidad. Las variedades de los agricultores proporcionan asimismo materiales de base para los programas formales de mejora de los cultivos y se han creado algunos bancos comunitarios de semillas en colaboración con institutos de fitomejoramiento⁸³.

En África occidental, donde el ritmo de obtención de variedades es lento, una organización de mujeres campesinas está especializada en la producción de semillas madre certificadas de variedades aromáticas de arroz cultivadas en el valle del río Senegal⁵². En Nepal⁸⁴ y Timor-Leste⁸⁵ la producción y distribución de semillas de maíz se ha agilizado a través de los productores de semillas comunitarios.

La gestión eficiente del agua

La competencia por los recursos hídricos está siendo intensa en numerosas zonas productoras de cereales del mundo. El uso ineficiente del agua para la producción agrícola ha agotado acuíferos y ha disminuido el caudal de los ríos, y muchas cuencas fluviales ya no tienen agua suficiente para satisfacer la demanda de la agricultura, la industria y los centros urbanos. Además, el uso excesivo de fertilizantes minerales y plaguicidas ha contaminado ríos, lagos y zonas costeras, perjudicando los ecosistemas terrestres y acuáticos así como la salud humana⁸⁶.

Puesto que la competencia con respecto a la demanda de agua dulce se intensifica, los productores de cereales deberán mejorar considerablemente la productividad del agua de sus sistemas agrícolas y reducir los efectos negativos de la producción cerealera en la calidad de las aguas subterráneas y superficiales.

Un único enfoque no puede superar el desafío de producir más alimentos, piensos, forrajes y fibra mientras la disponibilidad y la calidad del agua disminu-

yen. Se necesita una combinación de tecnologías de ahorro de agua en los sistemas de riego, un aprovechamiento equilibrado de los recursos de aguas superficiales y subterráneas y buenas prácticas agronómicas y de gestión de los suelos, tales como el cultivo sin labranza, la conservación de los residuos de las cosechas, la plantación en lechos elevados y la diversificación de cultivos⁸⁷.

El Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT) ha promovido en zonas de secano diversas prácticas de gestión de los recursos hídricos entre las que figuran la recogida y el almacenamiento de agua, el restablecimiento de la vegetación y otras estrategias relativas a la cobertura del suelo, y una mejor gestión de las tierras y los nutrientes del suelo. En la India, las estructuras para la recogida del agua de la lluvia, que se rellenan durante los monzones, disminuyen los escurrimientos un 40 % y las pérdidas de suelo un 50 %, y aumentan la intensidad de cultivo un 180 %^{88, 89}. En Honduras, la introducción del recubrimiento orgánico y otras técnicas de conservación de los suelos duplicaron el rendimiento del maíz en los sistemas de cultivo migratorio, redujeron la erosión del suelo y aumentaron la calidad y disponibilidad del agua para los usuarios río abajo (véase el Capítulo 3, pág. 48).

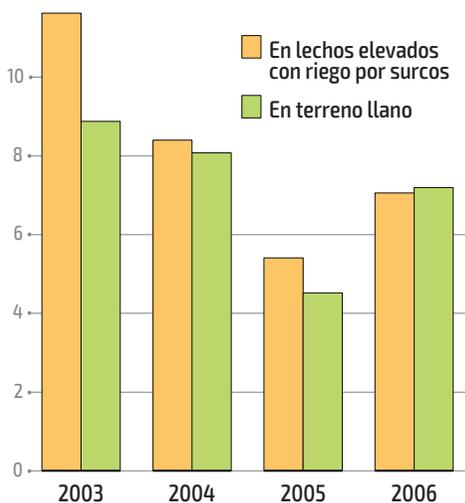
Los sistemas de lechos elevados mejoran la productividad del agua en el cultivo de maíz en zonas de secano. El sistema de “lechos anchos y surcos”, que promueve el ICRISAT, es una tecnología *in situ* de drenaje y conservación del suelo y la humedad apta para suelos arcillosos, que con frecuencia se ven anegados durante la estación de lluvias. Pueden sembrarse hasta cuatro hileras de cultivos con sembradoras de precisión en lechos en pendiente, que conservan el agua en el perfil del suelo y canalizan el exceso de escorrentía hacia pequeños tanques para su posterior uso⁹⁰.

Existen varias estrategias que pueden mejorar la eficiencia en el uso del agua en zonas de secano. Entre estas figura la aplicación de prácticas de AC que reducen las pérdidas por evaporación del suelo y mejoran la capacidad de retención de agua de los suelos. Aunque no es fácil aumentar esta capacidad, pueden lograrse pequeñas mejoras, pero a largo plazo, si se lleva a cabo una buena gestión del suelo y los cultivos. Las variedades de trigo con vigor temprano, que extraen agua del suelo a más profundidad, toleran cierto estrés hídrico del suelo y tienen un mayor porcentaje de grano en la cosecha, utilizan normalmente el agua de forma más eficiente^{64, 91}. Hoy en día, se dispone ampliamente de variedades de arroz y maíz más eficaces, así como híbridos. Niveles adecuados de nutrientes en los cultivos, especialmente potasio, mejoran asimismo la eficiencia en cuanto al uso del agua⁹².

En los casos en que las precipitaciones son insuficientes, la recogida y el almacenamiento del agua de escorrentía, y su posterior aplicación en cantidades limitadas durante las principales etapas de crecimiento agrícola, constituyen una opción viable. En la República Árabe Siria, este “riego complementario” aplicado de una a tres veces en primavera, con una capacidad de 100 a 300 mm, ha aumentado el rendimiento del trigo de 2 a 6 toneladas por hectárea y ha cuadruplicado la productividad del agua, lo que supone un rendimiento muy amplio para una pequeña cantidad de agua⁶⁴.

La misma estrategia facilita la plantación temprana de trigo a fin de evitar la sequía y las heladas a finales de la temporada agrícola. Investigaciones llevadas a cabo en Turquía y la República Islámica del Irán han demostrado que la siembra

Figura 2.7 Eficiencia en el uso del agua del cultivo intercalado de garbanzos de regadío con maíz, Madhya Pradesh (India) (kg/ha por mm)



Fuente: Adaptado del Cuadro 7, pág. 469⁹⁸

temprana de trigo, asistida por la aplicación de 50 a 70 mm de riego complementario, aumenta los rendimientos más de dos toneladas por hectárea⁹³.

La eficiencia en el uso del agua en los sistemas de riego es por lo general del 50 % o menor. La aplicación de la cantidad óptima de agua necesaria para un determinado cultivo o variedad, junto con buenas prácticas de gestión, tiene mayores posibilidades de mejorar la eficiencia en el uso del agua⁹⁴.

En un estudio reciente se estimó que la producción promedio de arroz en las llanuras indogangéticas ascendía a 0,7 kg de grano por cada metro cúbico de agua de riego utilizado. Sin embargo, en el estado indio de Punjab, con una infraestructura adecuada de riego y drenaje y buenas prácticas de gestión, la productividad del agua registró un promedio de 1,5 kg por metro cúbico⁹⁵.

La plantación en lechos elevados con riego por surcos, que aporta agua al suelo entre dos hileras de cultivos, aumenta de forma significativa la porosidad del suelo, su contenido de carbono y las tasas de infiltración, mejorando con ello la eficiencia en el uso del agua del trigo y otros cultivos⁶⁴. Los beneficios de los lechos elevados pueden ser incluso mayores si

no se labran. En Egipto, el ICARDA y los institutos nacionales han fomentado los lechos elevados como parte de un sistema de producción integrado en el delta del Nilo. Después de introducir sembradoras y mejorar la gestión de cultivos, los rendimientos del trigo aumentaron en términos generales un 25 % y la eficiencia en el uso del agua más del 50 %.⁹⁶

En Pakistán, los agricultores declararon un aumento del rendimiento del maíz del 30 % al 50 % en lechos elevados sin labranza con riego por surcos, en comparación con los terrenos llanos de regadío⁹⁷. En la India, el sistema permitió a los agricultores aumentar la productividad por unidad de tierra mediante el cultivo intercalado de maíz con garbanzo, guandú y soja [FIGURA 2.7]⁹⁸.

Para aumentar la eficiencia del uso del agua en la producción de arroz de regadío, los agricultores utilizan diversas técnicas del modelo "Ahorrar para crecer". En una superficie estimada de cuatro millones de hectáreas de tierras de regadío en Asia meridional, los agricultores han adoptado técnicas de nivelación de precisión del terreno por láser que, en comparación con la nivelación tradicional de los campos con tablas de madera, supone un ahorro de agua y un aumento de la productividad del 16 %^{12, 43}.

Otras tecnologías de ahorro de agua en relación con el arroz de regadío son, por ejemplo, la construcción de diques periféricos, lo que mejora el aprovechamiento del agua de lluvia y reduce la dependencia del suministro de agua proveniente de canales; la siembra en seco sin labranza; la alternancia humectación/secado; el riego intermitente; y el trasplante temprano de plántulas^{16, 99}.

En África occidental, donde la mayor parte del arroz se cultiva en pendientes y fondos de valles sin sistemas de riego y drenaje adecuados, AfricaRice está promoviendo un enfoque de bajo costo para el desarrollo de "valles inteligentes" que utiliza estructuras simples de tierra tales como lomos, junto con infraestruc-

turas básicas de riego y drenaje. Además de aumentar la resiliencia a la sequía, la construcción de lomos y la nivelación del terreno disminuyen el riesgo de que los fertilizantes que se apliquen se vean arrastrados por lluvias intensas^{100,101}.

El rendimiento medio oscila entre 3,5 y 4 toneladas por hectárea, lo que ha dado lugar a mejoras en los ingresos de los agricultores. El enfoque de “valles inteligentes”, que se desarrolló y validó con la participación plena de los agricultores en Benin y Togo, se ha incorporado a la estrategia nacional de Benin para el desarrollo de valles internos⁵².

En Asia, la alternancia humectación/secado, en la que los arrozales pueden permanecer sin riego hasta 10 días, ha reducido la necesidad de agua de un 15 % a un 30 %, sin registrarse pérdidas de rendimiento¹⁰². Esta alternancia, apta para zonas arroceras en tierras bajas con un abastecimiento de agua fiable, reduce el gasto en combustible para el bombeo de agua y disminuye también en hasta un 70 % las emisiones de gas metano procedentes de los campos de arroz¹⁰³. Esta práctica se ha integrado en los programas nacionales de Bangladesh, Filipinas, Myanmar y Viet Nam. Si se aplica de forma óptima, la alternancia humectación/secado podría permitir que en algunas zonas se pase de una única cosecha de arroz a una cosecha doble⁵².

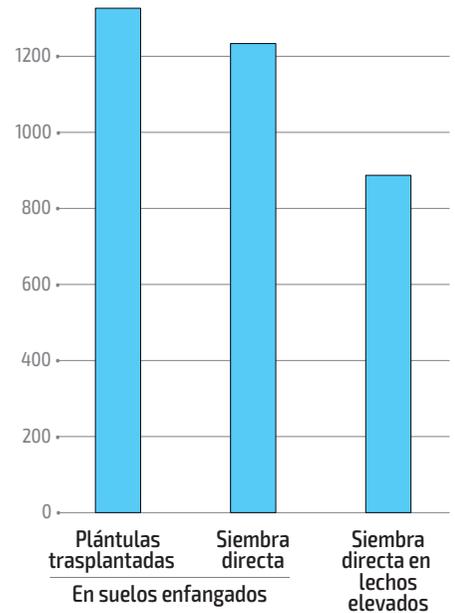
Las prácticas del Sistema de Intensificación del Arroz (SIA) reducen el consumo de agua, por hectárea, a casi la mitad del consumo de los arrozales anegados, pues permiten períodos secos entre riegos y disminuyen considerablemente el nivel de anegamiento (véase el Capítulo 3, pág. 44).

En muchas zonas, la práctica de trasplantar plántulas de arroz en suelos enfangados se ha sustituido por la siembra directa, donde las semillas pueden sembrarse a voleo en campos húmedos o enfangados, o bien sembrarse en surcos sin labranza previa. En comparación con la práctica del trasplante, la siembra directa genera rendimientos similares y, al mismo tiempo, reduce las aplicaciones de agua para riego hasta un tercio |FIGURA 2.8|¹⁶.

Otra práctica, apta para la producción de arroz en la estación seca, es el “arroz aeróbico”, que se cultiva en suelos secos con aplicación de riego solo en caso necesario. Esta tecnología, que han probado y adoptado agricultores de Filipinas y el norte de China, utiliza variedades adaptadas a suelos bien drenados, no enfangados y sin saturación en zonas de secano y con escasez de agua¹⁰⁴.

Con una buena gestión, el rendimiento del arroz aeróbico pueden alcanzar aproximadamente del 75 % al 80 % del rendimiento obtenido del arroz anegado, pero utilizando entre un 50 % y un 70 % menos de agua. Asimismo, la necesidad de mano de obra es menor⁵². En suelos negros en la India, la siembra en seco de arroz antes de la estación de los monzones a través de cubierta orgánica ha ofrecido una alternativa rentable a los agricultores, cuya práctica habitual había sido dejar la tierra en barbecho⁶².

Figura 2.8 Agua para riego aplicada en sistemas de producción de arroz trasplantado y mediante siembra directa (mm)*



* Obtenido de 44 estudios de países

Fuente: Adaptado del Cuadro 8, pág. 339¹⁶

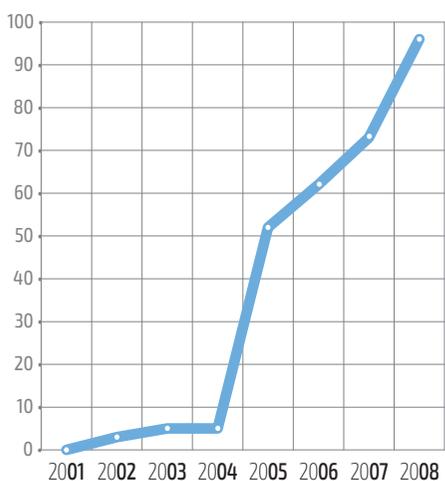
El manejo integrado de plagas

Las plagas de insectos, las enfermedades y las malas hierbas causan importantes pérdidas, de entre un 20 % y un 50 %, en los campos de maíz, arroz y trigo de los pequeños agricultores¹⁰⁵. También pueden hacer que disminuya la calidad del grano y se produzcan pérdidas posteriores a la cosecha por infestación y deterioro. En el caso de las malas hierbas, el control manual es uno de los trabajos en los que los pequeños agricultores invierten más tiempo y suele ser realizado por las mujeres.

La primera línea de defensa contra las plagas y enfermedades es un agroecosistema sano. El modelo “Ahorrar para crecer” utiliza el manejo integrado de plagas (MIP), esto es, una estrategia de protección de cultivos para evitar problemas que aprovecha y favorece los procesos biológicos y la biodiversidad asociada a los cultivos que sostienen la producción agrícola. Este método se elaboró en respuesta al uso abusivo generalizado de plaguicidas, que reduce las poblaciones de enemigos naturales de las plagas, provoca brotes de plagas secundarias, crea resistencia a los plaguicidas y aumenta los riesgos tanto para las personas como para el medio ambiente. En un estudio reciente se observó que al menos el 50 % de los plaguicidas utilizados son sencillamente innecesarios en la mayoría de agroecosistemas¹⁰⁶.

En los programas de MIP, se imparte formación a los agricultores para que basen sus decisiones sobre el manejo de plagas en un umbral económico, que establezca un nivel aceptable de daños por debajo del cual el incremento de la productividad no compensa el costo de las medidas de control. La estrategia básica consiste en prever y evitar los problemas y, si son inevitables, detectarlos en una etapa lo suficientemente temprana como para poder controlarlos por medios naturales, con menores cantidades de plaguicidas relativamente inocuos que se utilicen solo como último recurso¹.

Figura 2.9 Adopción del manejo integrado de plagas en la zona productora de arroz de la Provincia de An Giang (Viet Nam)
(% de la superficie total)



Fuente: Adaptado de la Figura 6, pág. 218¹⁰⁹

El **manejo integrado de plagas** se aplicó por vez primera en los arrozales de Asia para luchar contra el pulgón marrón del arroz, una de las principales causas de pérdidas de cosechas. Los brotes de pulgón marrón fueron desencadenados por las fumigaciones indiscriminadas con insecticidas de amplio espectro, que acabaron con los enemigos naturales de la plaga y permitieron el rápido crecimiento de sus poblaciones^{107, 108}.

En respuesta a un brote de este tipo en Viet Nam, la FAO brindó apoyo para el manejo comunitario de la plaga y sus enfermedades conexas utilizando el MIP. Entre las medidas aplicadas se encontraban el seguimiento por parte de los agricultores del número de pulgones y depredadores naturales en los campos de arroz, la eliminación de las plantas infectadas, la optimización de los tiempos de siembra y uso de fertilizantes, y la plantación de variedades más resistentes⁵². Los agricultores vietnamitas han reducido el uso de insecticidas hasta un 70 %, con el sólido apoyo del Gobierno, y la superficie de cultivo de arroz en la que se aplica el MIP en una provincia ha aumentado exponencialmente |FIGURA 2.9|¹⁰⁹.

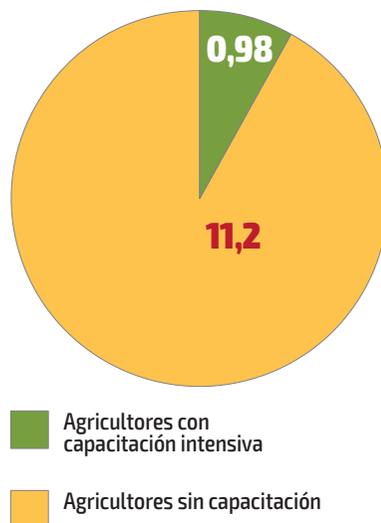
En los casos en que la producción de arroz se integra con la acuicultura, los peces se alimentan de insectos de las plagas, hongos causantes de enfermedades y malas hierbas, lo que reduce la necesidad de emplear la lucha química. Los agricultores que combinan el cultivo de arroz y la acuicultura aplican hasta un 68 % menos de plaguicidas por hectárea que los agricultores que producen únicamente arroz (véase el Capítulo 3, pág. 68).

En estudios realizados en toda Asia se han puesto de manifiesto las ventajas de llevar a cabo actividades de capacitación en cuanto al MIP a través de las escuelas de campo para agricultores, que constituyen una forma de educación para adultos que anima a los productores de arroz a que adapten las prácticas de MIP a condiciones ecológicas diversas y cambiantes. Los agricultores que asisten a escuelas de campo suelen reducir las aplicaciones de insecticidas de tres a una por temporada y dan cuenta de un aumento general de los rendimientos. En una zona de Indonesia, los agricultores prácticamente eliminaron los insecticidas y lograron aumentar el rendimiento un 21 %. También adquirieron habilidades sociales y mejoraron sus relaciones con los proveedores de servicios^{110, 111}.

La capacitación intensiva de los agricultores puede reducir significativamente la utilización de plaguicidas en la producción de maíz. En Nicaragua, los agricultores capacitados fumigaban sus cultivos mucho menos que los que no habían recibido capacitación y utilizaban menos del 10 % de la cantidad normal de insecticida |FIGURA 2.10|¹¹². Para la lucha contra las plagas del maíz se dispone también de métodos muy eficaces que no utilizan productos químicos. En los Andes de Bolivia, Ecuador y el Perú, los pequeños agricultores aplican aceites minerales o comestibles a los cogollos y sedas de maíz para reducir las infestaciones de plagas de insectos en hasta un 76 %¹¹³⁻¹¹⁵. Para luchar contra el gusano cogollero del maíz, científicos del Brasil han desarrollado dos plaguicidas biológicos muy eficaces, que son menos tóxicos y obtienen mejores resultados que los plaguicidas sintéticos de amplio espectro. Sus ingredientes activos son aislados de una bacteria y un virus que pueden reducir el número de gusanos cogolleros en más del 95 %¹¹⁶⁻¹¹⁸.

En los campos de maíz de África, se ha utilizado la rotación de cultivos y una gestión mejor del suelo para luchar contra la mala hierba parasítica *Striga*, que provoca importantes pérdidas en pequeñas explotaciones agrícolas¹¹⁹. En Madagascar, el maíz se planta con un cultivo de cobertura de leguminosas, que estimula la germinación de las semillas de *Striga*, eliminando luego con su sombra las malas hierbas que nacen⁵². El arroz se siembra más tarde a través de los residuos de leguminosas. La siembra directa evita que las semillas de maleza se mezclen en la zona de las raíces, aumenta la resiliencia general y la estabilidad del sistema y es particularmente eficaz si se combina con variedades de arroz Nerica de tierras altas^{66, 67, 120}. En África oriental, un novedoso sistema de MIP aprovecha las interacciones químicas entre dos plantas locales para impedir el crecimiento de la mala hierba *Striga* y acabar con los barrenadores del tallo del maíz (véase el Capítulo 3, pág. 48).

Figura 2.10 Efectos de la capacitación en el promedio de las aplicaciones de insecticidas por agricultores de maíz, Nicaragua (litros/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 1, pág. 196¹¹²

En la producción de trigo, el MIP se basa principalmente en las prácticas de gestión de cultivos y el uso de cultivares resistentes. El trigo se ve afectado por diversas enfermedades. El oidio provoca pérdidas agrícolas de hasta el 45 %¹²¹, mientras que el hongo *Septoria tritici* ha reducido cosechas de cereales a la mitad¹²². En Asia central y occidental y en el Norte de África, la roya amarilla ha provocado pérdidas de hasta el 80 %⁶⁴.

El desarrollo y rápida distribución de variedades de trigo resistentes ayudó a Etiopía a vencer un brote de roya del tallo que, en la región de Bale, prácticamente había arrasado la cosecha de trigo. Se estima que en un 80 % de la superficie de cultivo de trigo del país se han plantado variedades resistentes, a las que se atribuye la obtención de una cosecha de trigo sin precedentes en 2014⁶⁴.

Aunque las variedades resistentes, junto con la plantación temprana, son eficaces en la lucha contra el mosquito del trigo, para combatir otras plagas de insectos es necesario aplicar una estrategia de MIP más compleja. Algunas recomendaciones para luchar contra la plaga sunn son, por ejemplo, la pulverización terrestre dirigida, la plantación de plantas medicinales que atraen a los depredadores naturales y el uso de preparados antifúngicos que acaban con la plaga en sus refugios invernales. Se ha mejorado la lucha contra la mosca de sierra del trigo gracias al uso de variedades resistentes, el retraso en la siembra, la rotación de cultivos y los parasitoides⁶⁴.

Asimismo, se utilizan de forma generalizada métodos participativos como las escuelas de campo para agricultores a fin de dar a conocer opciones de MIP para las plagas del trigo. A raíz de los buenos resultados obtenidos tras su introducción para combatir las infestaciones de la plaga sunn, el MIP a través de escuelas de campo para agricultores se ha convertido en la estrategia de protección fitosanitaria predominante en la República Islámica del Irán¹²³.

La lucha contra las malas hierbas es también un elemento importante del modelo “Ahorrar para crecer” en relación con los cereales y lo será aún más en la medida en que aumente la resistencia a los herbicidas en las malas hierbas. Evitar la alteración del suelo, conservar la cubierta edáfica, practicar la rotación de cultivos e impedir la germinación de malas hierbas son medidas eficaces para reducir la presión de las malas hierbas en la producción agrícola.

Como se ha puesto de manifiesto en el examen anterior, los productores de cereales de todo el mundo han aumentado su productividad gracias a la aplicación de uno o más elementos del sistema agrícola “Ahorrar para crecer”, tales como la AC, el uso de variedades mejoradas, una gestión mejor de la salud del suelo, mayor eficacia en el uso del agua y el manejo integrado de plagas. Muchos han logrado que sus sistemas de producción sean más resistentes al diversificar los cultivos e integrar la agricultura, la actividad forestal y la producción animal. En el *Capítulo 3* a continuación, se presentan 11 ejemplos de “Ahorrar para crecer en la práctica”, esto es, sistemas de explotación agrícola de cereales que han integrado todos o la mayoría de los elementos y recomendaciones del modelo “Ahorrar para crecer”.



Capítulo 3

Sistemas agrícolas que permiten ahorrar y crecer

*¿“Cómo es” la intensificación sostenible de la producción agrícola?
Estos ejemplos, tomados de países en desarrollo de todo
el mundo, describen sistemas agrícolas orientados
a “Ahorrar para Crecer” en la práctica.*

Puntos clave

3 Maíz y silvicultura (América central): más maíz, menos erosión en las laderas tropicales.

En el sistema de "corta y abono orgánico" se cultivan maíz y frijoles en suelos sin labrar enriquecidos con podas de los árboles. Este sistema crea existencias de nutrientes en el suelo, reduce el tiempo necesario para la preparación de la tierra y el deshierbe, y produce rendimientos que duplican los obtenidos con la agricultura migratoria tradicional. Muchos agricultores que han aplicado el sistema de "corta y abono orgánico" han diversificado la producción hacia los huertos familiares y la ganadería.

[Página 48](#)



1 Maíz y ganado (África oriental): el sistema "atracción-repulsión" combate las plagas de maíz e

impulsa la producción láctea. Un sistema novedoso de MIP aprovecha las interacciones químicas entre dos



plantas locales para destruir los barrenadores del tallo del maíz e impedir el crecimiento de la mala hierba *Striga*. Además de proporcionar cubierta del suelo todo

el año, el sistema produce forrajes de alta calidad, lo que convierte la "atracción-repulsión" en la base de una producción agropecuaria sostenible con escasos insumos.

[Página 40](#)

4 Trigo y leguminosas (en todo el mundo): los beneficios adicionales del cultivo de leguminosas antes del trigo.

Los residuos de leguminosas añaden al suelo hasta 300 kg de nitrógeno por hectárea. Como resultado, el trigo que se cultiva después de las leguminosas produce mayores rendimientos de grano, con un contenido de proteínas más alto. Además, algunas leguminosas segregan ácidos que permiten que las raíces del trigo dispongan más fácilmente de fósforo y de un gas que mejora el desarrollo general de las plantas.



[Página 52](#)

2 Arroz (Asia): mayores rendimientos gracias a plantas sanas en suelos sanos.

A partir de plantas muy espaciadas en suelos oxigenados, el Sistema de intensificación del arroz ha generado rendimientos que duplican los obtenidos de los campos de arroz anegados. Su focalización en la salud del suelo mejora el acceso de la planta de arroz a los nutrientes, al tiempo que su menor necesidad de riego contribuye a disminuir las emisiones de metano. Las mayores exigencias en cuanto a mano obra del sistema podrían reducirse gracias a la innovación tecnológica.

[Página 44](#)



5 Maíz y ganado (América Latina): las "bombas de nutrientes" alimentan el ganado y nutren el maíz.

Un elemento fundamental de los sistemas sostenibles de maíz y ganado es el pasto *Brachiaria*, que impide la compactación del suelo y es más nutritivo que las gramíneas autóctonas de sabana. Los sistemas sin labranza que utilizan esta hierba producen hasta tres cosechas de cereales al año. El cultivo en relevo de *Brachiaria* con maíz aprovecha de manera óptima los recursos de la tierra y reduce el deterioro del terreno.

[Página 55](#)





6 Arroz y trigo (llanuras indogangéticas): la agricultura de conservación como clave de la seguridad alimentaria.

En el "granero" de Asia meridional, los agricultores practican el cultivo sin labranza para reducir costos y cultivar más trigo. La alternancia humectación/secado de los campos de arroz ayuda a reducir el consumo de agua hasta un 50 %. Los rendimientos de ambos cereales mejoran después de la nivelación del terreno asistida por láser. Los agricultores ahorran en fertilizantes gracias al manejo del nitrógeno "basado en las necesidades" y el uso de leguminosas para eliminar las malas hierbas. [Página 58](#)

9 Maíz y cultivo forestal (África austral): casos en los que el costo de los árboles y arbustos es menor que el de los fertilizantes.

Los arbustos y árboles leguminosos forman parte integrante de los sistemas de producción de maíz de Malawi y Zambia. En dos años, aumentan los niveles de nitrógeno del suelo en hasta 250 kg por hectárea, lo que contribuye a cuadruplicar la producción de maíz. El sistema maíz-cultivo forestal es resistente a las sequías y más rentable que el cultivo de maíz con fertilizantes. [Página 71](#)



7 Maíz y leguminosas (en todo el mundo): el sistema tradicional hace un uso más productivo de la tierra.

La rotación, el cultivo intercalado y el cultivo de relevo de leguminosas con maíz dan lugar a un aumento de la productividad de la tierra, lo que hace que los sistemas de maíz y leguminosas sean especialmente



adecuados para pequeños agricultores. Las leguminosas en rotación pueden aumentar los rendimientos del maíz en un 25 %. El cultivo de maíz intercalado

con leguminosas en el marco de una agricultura de conservación produce un 33 % más de grano que el monocultivo. [Página 64](#)

10 Trigo (Asia central): los agricultores dejan de arar en la estepa de Kazajistán.

Kazajistán es uno de los principales países del mundo que han adoptado la AC. La tierra sin labrar y con siembra directa genera mayores rendimientos del trigo que la tierra arada y supone menos costos de producción. La rotación de trigo con otros cultivos genera ingresos adicionales y deja residuos que conservan la humedad del suelo e impiden la germinación de semillas de malezas. [Página 75](#)



8 Arroz y acuicultura (Asia): cosechas más abundantes en los arrozales.

Un arrozal de una hectárea puede producir hasta nueve toneladas de arroz y 750 kg de pescado al año. El pescado criado en arrozales mejora la alimentación de las familias y proporciona una fuente natural de nutrientes vegetales y lucha contra las plagas. Gracias al aumento de los rendimientos del arroz, las ventas de pescado y el ahorro en productos químicos agrícolas, los ingresos obtenidos de la cría de peces en arrozales superan en hasta un 400 % los derivados del monocultivo de arroz. [Página 68](#)



11 Arroz y maíz (Asia): las variedades híbridas de alto rendimiento

contribuyen a la adaptación al cambio climático. Al cultivar maíz en lugar de arroz en la estación seca, los agricultores disminuyen la presión sobre las aguas subterráneas y duplican sus beneficios. Muchos han aumentado sus ingresos aún más mediante el cultivo intercalado de maíz y hortalizas. Los productores



de maíz con capacitación en gestión agrícola de conservación de recursos utilizan menos fertilizantes minerales y obtienen rendimientos que duplican el promedio nacional. [Página 79](#)

Zona agroecológica

Tropical, de secano

Cereal principal Maíz

Otros cultivos y productos

Carne, leche, forraje, leguminosas, hortalizas

1 · Maíz y ganado África oriental

El sistema “atracción-repulsión” impulsa la producción láctea

Dos de las plagas más graves del maíz en África se han superado mediante el cultivo de dos plantas autóctonas en campos de maíz. El sistema “atracción-repulsión” genera otros beneficios.

Los barrenadores del tallo y la hierba parasitaria *Striga* son la pesadilla de los campos de maíz en África. Las larvas de una polilla autóctona, esto es, los barrenadores del tallo, entran en los tallos del maíz y los devoran desde dentro, provocando pérdidas en las cosechas que van del 20 % al 80 %. Los ministerios de agricultura suelen recomendar el uso de plaguicidas sintéticos para luchar contra los barrenadores del tallo, pero la mayoría de pequeños agricultores no pueden permitírselo¹.

La *Striga*, una planta parasitaria que se prende a las raíces de los cultivos de cereales y sustrae agua y nutrientes, crece en un 40 % de las tierras

cultivables del África subsahariana. En Kenya occidental, infesta hasta el 76 % de las tierras plantadas con maíz y sorgo, lo que genera pérdidas anuales por valor de más de 40 millones de USD. En ocasiones, las infestaciones de *Striga* pueden hacer que se pierda totalmente una cosecha. La lucha contra la *Striga* es sumamente difícil, ya que cada planta produce miles de diminutas semillas que pueden seguir siendo viables en el suelo por muchos años. Cuando los agricultores abandonan zonas muy infestadas para cultivar tierras nuevas,

la *Striga* los persigue¹.

Los cinco principales productores de maíz, 2013
(millones de toneladas)

Etiopía	6,67
Kenya	3,39
Uganda	2,75
Burundi	0,16
Rwanda	0,67

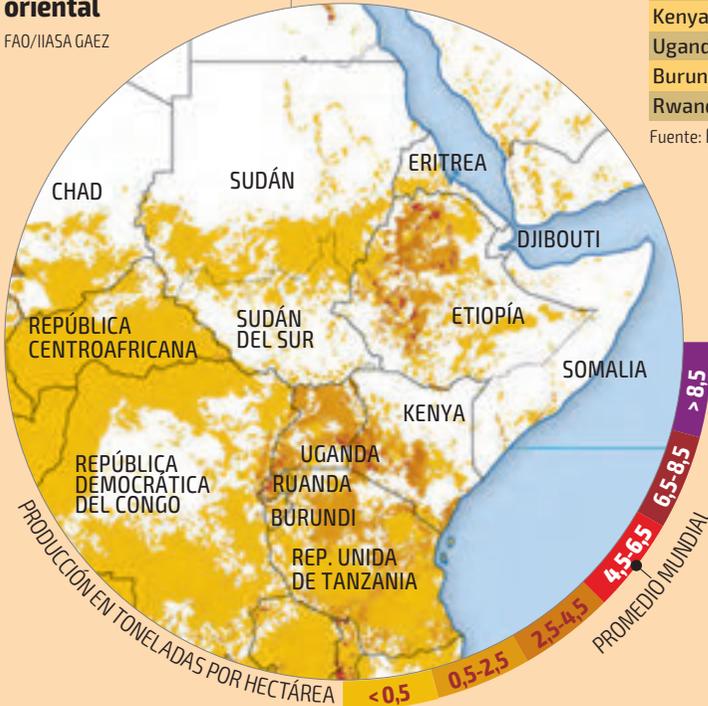
Fuente: FAOSTAT

En 1993, el Centro internacional de fisiología y ecología de los insectos (ICIPE), en Nairobi, comenzó a trabajar con el Instituto de Investigaciones Agrícolas de Kenya, Rothamsted Research (Reino Unido) y otros asociados para buscar métodos asequibles y respetuosos con el medio ambiente de luchar contra los barrenadores del tallo. El resultado de su trabajo es lo que actualmente se conoce como el sistema “atracción-repulsión” de manejo integrado de plagas, que lucha contra los barrenadores aprovechando las complejas interacciones químicas entre plantas e insectos en un agroecosistema de gran diversidad biológica¹.

En el sistema “atracción-repulsión”, el cultivo de maíz se intercala con el de la leguminosa *Desmodium*, al tiempo que se planta un cultivo forrajero popular, a saber, el pasto napier, que actúa de frontera que rodea el campo. La

Zonas productoras de maíz de África oriental

FAO/IIASA GAEZ





Desmodium produce sustancias químicas volátiles que atraen a depredadores de las plagas del maíz. Lo que es más, mediante la emisión de una falsa señal de peligro a las polillas para advertir de que la zona está ya infestada, estas sustancias químicas “repelen” a las polillas ponedoras de huevos a fin de que busquen hábitats en los que sus larvas encontrarán menos competencia por el alimento¹.

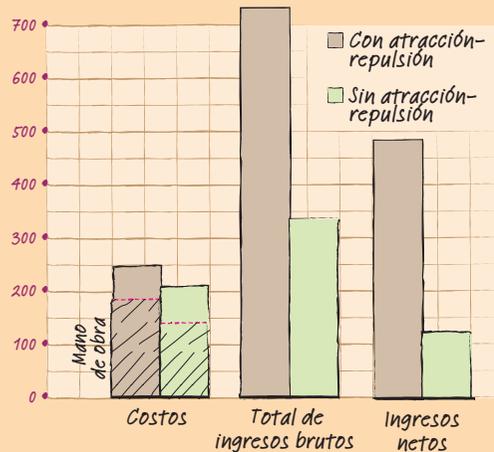
Es ahí donde interviene el pasto napier. Este produce también sustancias químicas volátiles que “atraen” las polillas hacia ellas y luego exuda una sustancia pegajosa que atrapa las larvas de barrenador mientras se alimentan de sus tallos. Son pocas las larvas que llegan a fase adulta. El pasto napier también atrae a depredadores del barrenador del tallo, tales como hormigas, tijeretas y arañas¹. En ensayos, se ha observado que el número de huevos de barrenador, y los daños que este causó a las plantas al alimentarse, han sido significativamente mayores en campos de monocultivo de maíz que en campos donde se aplicó el sistema “atracción-repulsión”².

En el transcurso de su trabajo, los investigadores del ICIPE hicieron un descubrimiento sorprendente, a saber, la *Desmodium* actúa también como “falso hospedante” para la *Striga*, ya que primero exuda sustancias químicas que inducen a la germinación de sus semillas y luego libera otras sustancias químicas que impiden el crecimiento de la raíz de esta mala hierba¹. Ensayos del sistema “atracción-repulsión” revelaron que las parcelas de maíz no solo sufrían menor daño a causa del barrenador del tallo, sino que al cabo de dos temporadas la *Striga* se eliminaba casi totalmente³. El sistema “atracción-repulsión” para combatir las plagas ofrece otros beneficios. Tanto la *Desmodium* como el pasto napier son cultivos perennes que proporcionan cubierta del suelo durante todo el año, lo que contribuye a retener la humedad del suelo, mejora su estructura, evita la erosión y aumenta la resiliencia de los agroecosistemas ante las sequías y otros fenómenos meteorológicos extremos. Al tratarse de una planta leguminosa, la *Desmodium* también

El pasto napier (a la izquierda) y la *Desmodium* (a la derecha) protegen el maíz de los barrenadores y las malas hierbas

EL SISTEMA APROVECHA COMPLEJAS INTERACCIONES QUÍMICAS ENTRE PLANTAS E INSECTOS

Figure 3.1 Aspectos económicos de la producción de maíz, distrito de Kisii (Kenya) (USD/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 1, pág. 61¹

fija el nitrógeno en el suelo y lo pone a disposición del cultivo de maíz.

A comienzos de 1997, el ICIPE y sus asociados introdujeron el sistema “atracción-repulsión” para los productores de maíz y sorgo en Kenya y Uganda oriental y utilizaron “agricultores instructores” que les ayudaron a darlo a conocer. En 2010, más de 25 000 agricultores en torno al Lago Victoria habían adoptado este sistema. En una evaluación de impacto llevada a cabo en 24 aldeas se determinó que el 19 % de los agricultores habían adoptado el sistema “atracción-repulsión” ante todo para luchar contra las plagas, especialmente la *Striga*, y aumentar la productividad agrícola. El 75 % de esos agricultores declaró que sus rendimientos eran de tres a cuatro veces mayores que antes. Algunos cosecharon cinco toneladas de maíz por hectárea en campos que anteriormente habían producido menos de una tonelada³. En el distrito de Kisii, los ingresos de los agricultores de maíz que aplicaron el sistema “atracción-repulsión”, por hectárea, triplicaron los de sus vecinos |FIGURA 3.1|¹.

Casi la mitad de los agricultores que aplicaron la “atracción-repulsión” habían adaptado el sistema para que permitiera el cultivo intercalado de maíz con frijoles y otras leguminosas de grano, tales como el cacahuete, la soja y el caupí, y hortalizas como la berza común. La integración de los frijoles en el sistema no reduce el efecto de la *Desmodium* en la *Striga* y los barrenadores del tallo³.

Además de ayudar a los agricultores a aumentar la producción de alimentos, el pasto napier empleado en este sistema ha aumentado el suministro de piensos para el ganado. De hecho, en la evaluación del ICIPE se observó que la producción forrajera era un importante factor que motivaba a los agricultores para adoptar el método de “atracción-repulsión”³. Por ejemplo, los agricultores de un distrito en el Lago Victoria solo podían satisfacer la mitad de la demanda local de leche debido a la escasez de piensos de buena calidad. Después de que 700 agricultores adoptaran el sistema de “atracción-repulsión”, la producción

El voraz barrenador del tallo del maíz causa pérdidas en los cultivos de hasta el 80 %



láctea se incrementó de siete a ocho millones de litros al año¹.

El aumento del forraje para el ganado supone que haya más estiércol disponible para que los agricultores lo apliquen en sus campos, lo que reduce la necesidad de fertilizantes minerales. Los agricultores que aplicaron el método de “atracción-repulsión” también han podido diversificar su producción de otras formas como, por ejemplo, mediante la venta de productos orgánicos y la cría de aves. Los agricultores entrevistados para la evaluación del ICIPE declararon que utilizaban los ingresos adicionales obtenidos del aumento de la producción para diversos fines, entre ellos el pago de las tasas escolares de sus hijos y la mejora de sus viviendas³.

Sin embargo, en la evaluación se puso de relieve que algunos agricultores no habían adoptado el sistema “atracción-repulsión” porque no tenían suficiente información sobre este. Aunque el sistema ahorra mano de obra al reducir la necesidad de eliminar las malas hierbas, algunos agricultores carecían de suficiente mano de obra familiar, o suficiente efectivo para contratar ayuda complementaria, que le permitiese implantar el sistema en sus campos. Además, los agricultores con arriendos de tierras por un año se mostraban reacios a invertir en una tecnología que no producía beneficios rápidos. Las tasas de adopción también se vieron limitadas por la falta de semillas de *Desmodium* y su elevado costo³.

En 2014, hasta 70 000 pequeños agricultores en Etiopía, Kenya, la República Unida de Tanzania y Uganda, de los cuales más de la mitad eran mujeres, utilizaron el cultivo intercalado de *Desmodium* para combatir la *Striga*⁴.

El ICIPE de los insectos y sus asociados han adaptado el sistema “atracción-repulsión” a zonas más secas y al cambio climático mediante la identificación e incorporación en el sistema

de dos plantas conjuntas tolerantes a la sequía, a saber, la desmodium de hoja verde como cultivo intercalado y la *Brachiaria* como planta de borde⁵.

El método “atracción-repulsión” se considera actualmente la base de un sistema de producción integrado cultivo-ganado que no requiere un volumen elevado de insumos externos y podría mejorar significativamente la seguridad alimentaria en África oriental. En una encuesta reciente realizada a 900 agricultores en Etiopía, Kenya y la República Unida de Tanzania se observó un gran potencial para la adopción del sistema, en especial entre las mujeres y quienes eran conscientes del daño causado por la *Striga* y tenían buen acceso a los insumos⁶.

Para establecer el sistema de “atracción-repulsión” como una parte permanente de la agricultura en la región será necesario el apoyo continuo de los servicios de extensión gubernamentales y el uso de estrategias de extensión comunitarias, tales como escuelas de campo para agricultores, actividades impartidas por agricultores instructores y reuniones públicas locales³.

También será preciso un suministro garantizado de semillas de *Desmodium* y *Brachiaria*, junto con semillas de variedades mejoradas del maíz e híbridos.

GRACIAS AL SISTEMA “ATRACCIÓN-REPULSIÓN”, LA PRODUCCIÓN LÁCTEA AUMENTÓ UN MILLÓN DE LITROS AL AÑO

Zona agroecológica
Monzón tropical, de regadío
y sistemas de tierras altas
Cereal principal Arroz

2 · Arroz Asia

Mayores rendimientos gracias a plantas sanas en suelos sanos

Los productores de arroz están adoptando prácticas de gestión de los cultivos, el suelo y el agua que, en conjunto, producen más arroz e ingresos con un menor uso de agua, fertilizantes y semillas.

Tradicionalmente, el arroz se ha cultivado en la mayor parte de Asia del modo siguiente: en primer lugar, se anegan los campos y, posteriormente, se aran para crear suelos blandos y fangosos que suelen cubrir una capa densa y compacta que limita la pérdida de agua hacia abajo¹. Luego las plántulas de arroz que tengan de 20 a 60 días se trasplantan a los campos en grupos de dos a cuatro plantas, distribuidas de forma aleatoria o en hileras con poca separación. Para eliminar las malas hierbas, el arrozal está continuamente anegado con 5 a 15 cm de agua hasta que el cultivo madura^{2,3}.

Este sistema ha permitido cultivar arroz durante miles de años con rendimientos bajos, pero relativamente estables⁴. Cuando la Revolución Verde introdujo las variedades de alto rendimiento, los fertilizantes minerales y la lucha contra las plagas con productos químicos, la productividad por hectárea en muchos arrozales de Asia se duplicó en el plazo de 20 años⁵.

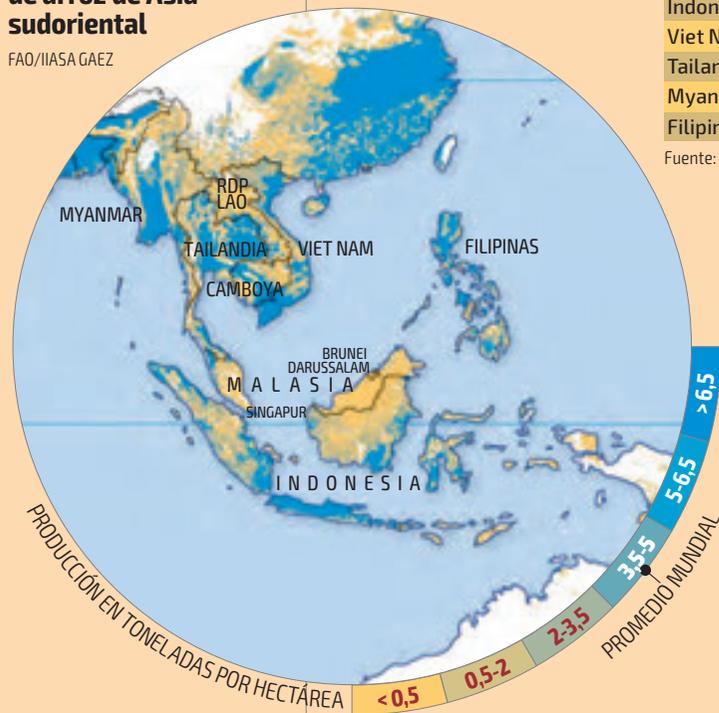
Un conjunto de prácticas de gestión de los cultivos, el suelo y el agua conocido como el Sistema de intensificación del arroz (SIA) adopta un enfoque notablemente distinto. Las plántulas de entre 8 y 15 días se trasplantan de forma individual, a menudo en patrones de cuadrícula con un espacado de 25 x 25 cm entre plantas. Para favorecer unas condiciones del suelo húmedas, pero aireadas, el riego intermitente

va seguido de períodos secos de tres a seis días de duración. La eliminación de malas hierbas se realiza a intervalos periódicos y se prefieren el compost, el estiércol de granja y los abonos verdes a los fertilizantes minerales. Una vez que brotan las plantas, el campo se mantiene bajo una fina capa de agua hasta 20 días antes de la cosecha^{3,6}.

Puesto que el SIA se desarrolló por primera vez en Madagascar en el decenio de 1980, numerosos ensayos han demostrado que este sistema supera en rendimiento a la producción tradicional de arroz anegado y, al mismo tiempo, reduce el uso de agua, semillas, fertilizantes y plaguicidas². Se

Zonas productoras de arroz de Asia sudoriental

FAO/IIASA GAEZ

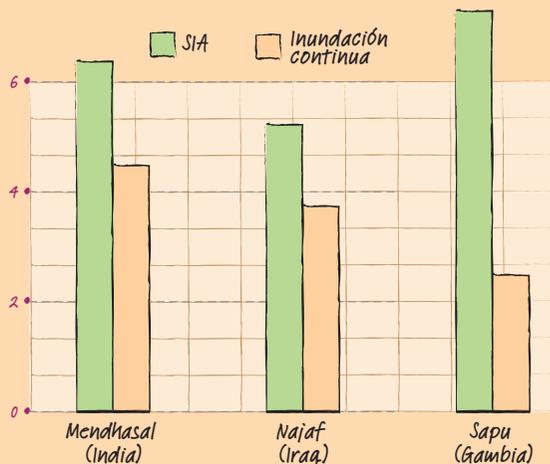


Los cinco principales productores de arroz, 2013 (millones de toneladas)

Indonesia	71,3
Viet Nam	44,0
Tailandia	38,8
Myanmar	28,0
Filipinas	18,4

Fuente: FAOSTAT

Figura 3.2 Rendimientos de grano del maíz cultivado con anegación continua y el Sistema de intensificación del arroz (SIA) (t/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 3, pág. 84⁷; Cuadro 9, pág. 127⁸; Cuadro 1, pág. 9⁹

observó que el sistema mejoraba los rendimientos del grano por encima de los obtenidos en los sistemas anegados en un 40 % en la India⁷ y en el Irak⁸ y en casi un 200 % en Gambia⁹ [FIGURA 3.2]. En ensayos comparativos con actuales prácticas mejoradas en China, los métodos del SIA aumentaron los rendimientos del arroz más del 10 %¹⁰. El arroz cultivado utilizando el SIA consumió entre un 25 % y un 47 % menos de agua que los sistemas anegados en la India¹¹ y China^{12,13}, y la cantidad de semillas necesarias fue de un 10 % a un 20 % inferior a la de los sistemas tradicionales en Nepal¹⁴.

Los gobiernos de Camboya, China, Indonesia y Viet Nam, donde se produce gran parte del arroz mundial, han apoyado los métodos del SIA en sus programas nacionales de seguridad alimentaria, y millones de productores de arroz han adoptado prácticas relacionadas con este². Se señala que más de un millón de productores de arroz de Viet Nam aplican el SIA y sus ingresos por hectárea han aumentado un promedio de 110 USD, gracias a una reducción del 40 % de los costos

de producción¹⁵. Los agricultores que recibieron capacitación en cuanto a la gestión de nutrientes en función de la ubicación en Viet Nam obtuvieron unos ingresos anuales adicionales de hasta 78 USD por hectárea¹⁶.

En el distrito de Morang (Nepal), un grupo de agricultores señaló que el Sistema de intensificación del arroz había duplicado a menudo los rendimientos obtenidos. Además, su arroz maduraba hasta cuatro semanas antes, lo que suponía el ahorro de agua, reducía el riesgo de pérdidas de las cosechas y permitía disponer de las tierras para otros cultivos¹⁴. En la región de Timbuktu en Malí, los agricultores que utilizaron el SIA produjeron el doble de arroz por hectárea que sus vecinos. Dado que las parcelas cultivadas con arreglo al SIA podían cosecharse de 10 a 15 días antes, los agricultores habían pasado de variedades de ciclo corto y menor rendimiento a variedades de duración media que producen más grano².

El SIA podría ayudar a superar muchos de los retos que afronta el sector arrocero. Haciendo hincapié en las fuentes orgánicas de nutrición de las

**LAS INNOVACIONES
TÉCNICAS PODRÍAN
REDUCIR LA
NECESIDAD DE
MANO DE OBRA
DEL CULTIVO
MEDIANTE SIA**

plantas y una eficiencia elevada en el uso de fertilizantes, el SIA constituye un medio de reducción de la contaminación ambiental provocada por las pérdidas de nitrato de los arrozales¹⁷. Puede permitir a los agricultores seguir cultivando arroz en zonas de secano, tales como el noreste de Tailandia, que se ven cada vez más afectadas por la sequía, así como en importantes zonas de arroz de regadío de China, Pakistán y la India en las que, para 2025, se prevé que el suministro de agua sea insuficiente para satisfacer la demanda¹⁸.

El Sistema de intensificación del arroz también podría reducir drásticamente las emisiones de metano provenientes de los sistemas de regadío¹⁹. En la actualidad, más del 90 % de la cosecha de arroz mundial procede de campos anegados, que emiten gases metano equivalentes a un total de unos 625 millones de toneladas de dióxido de carbono al año²⁰. Las emisiones podrían reducirse casi una sexta parte si todos los arrozales de anegación continua se drenasen al menos una vez durante la temporada de cultivo²¹. El SIA lo hace varias veces durante la temporada agrícola⁶.

Los científicos están buscando argumentos precisos que expliquen la disminución del uso de recursos y el aumento de la productividad en el SIA, además de examinar la forma en que los agricultores siguen las directrices de este sistema³.

Una importante esfera de atención de los sistemas de intensificación del arroz es la mejora de la salud del suelo. El riego intermitente y la aplicación de abono orgánico y cubierta vegetal aumentan de forma significativa el número de bacterias del suelo beneficiosas en la zona de raíces^{22, 23}. Dado que el arroz que se cultiva mediante el SIA se planta individualmente en suelos sanos y aireados con más espacio para absorber la energía solar, este puede desarrollar sistemas de raíces



más grandes, que aumentarían el número de tallos²⁴. Las plantas podrían tener también panículas más largas, un mayor número de granos por panícula y un porcentaje más elevado de granos maduros⁷.

El aumento de los rendimientos puede deberse a la mayor disponibilidad de nutrientes y condiciones de cultivo superiores, que favorecen el desarrollo fisiológico de la planta⁹. Una explicación más general que se ha ofrecido es que el SIA aprovecha más eficazmente el potencial genético de la planta del arroz^{2, 6}. Sin embargo, en un examen reciente de los altos rendimientos del SIA notificados se observó una “diversidad considerable” en las prácticas de este sistema, que dificultaba la extracción de conclusiones generales sobre su efecto como “paquete tecnológico singular”³.



Gran parte del debate en torno al SIA se centra en la mayor demanda de mano de obra en la producción bajo este sistema. En Gambia, los costos de mano de obra para realizar trasplantes eran de dos a tres veces superiores a los del arroz anegado convencional⁹. En un estudio reciente llevado a cabo en la India se observó que, al requerir mucha mano de obra, el sistema comportaba costos de producción mucho más altos y resultaba “realmente poco económico”²⁵.

No obstante, los partidarios del SIA responden que genera empleo. En Tami Nadu (India), se determinó que la producción con el SIA era la opción más conveniente para emplear durante la estación seca a aquellos miembros de la familia que, de no ser así, estarían sin trabajo¹¹.

Las necesidades de mano de obra del cultivo con el SIA podrían reducirse gracias a innovaciones técnicas, tales como las bandejas con plántulas que simplifican la preparación de plántulas y su trasplante⁹. Otra opción es sustituir completamente el trasplante por la siembra directa, que en Nepal generó rendimientos un 50 % superiores a los obtenidos del arroz trasplantado¹⁴. En la provincia de Sichuan (China), se están plantando plántulas en lechos elevados permanentes, sin labranza y con riego por surcos bajo cubierta orgánica o plástico²⁶.

Más de un millón de productores de arroz de Viet Nam aplican prácticas del Sistema de intensificación del arroz

Zona agroecológica

Ladera tropical, de secano

Cereal principal Maíz

Otros cultivos y productos

Carne, leche, madera, leña, fruta, leguminosas, hortalizas

3 · Maíz y silvicultura América central

Más maíz, menos erosión en las laderas tropicales

Los agricultores han desarrollado un sistema de producción de “corta y abono orgánico” que preserva los árboles y arbustos, conserva el suelo y el agua, duplica los rendimientos del maíz y de los frijoles, e incluso resiste ante los huracanes.

En las escarpadas laderas del suroeste de Honduras, el cultivo tradicional “de corta y quema” de maíz, frijoles y otros cultivos alimentarios ha llevado a una deforestación generalizada y el deterioro ambiental. Muchos agricultores han abandonado la antigua práctica de permitir que los terrenos desbrozados queden en barbecho lo suficiente como para que vuelva a crecer cubierta forestal y el suelo se recupere.

Sin la presencia de árboles que fijen el suelo degradado, la erosión ha aumentado, reduciendo así la calidad del agua

y su disponibilidad para los usuarios aguas abajo. Al disminuir la productividad agrícola, los índices de malnutrición y pobreza en las zonas rurales se han incrementado^{1,2}.

Habida cuenta de que el cultivo de corta y quema no era sostenible, los agricultores del departamento hondureño de Lempira desarrollaron un sistema de bajo costo de conservación de recursos para sus cultivos¹. En vez de desbrozar el bosque y quemar la vegetación, adoptaron un enfoque de “corta y abono orgánico”. Comienzan con la siembra a voleo de sorgo

Los cinco principales productores de maíz, 2013

(millones de toneladas)

México	22,66
Guatemala	1,73
El Salvador	0,87
Honduras	0,60
Nicaragua	0,55

Fuente: FAOSTAT

Zonas productoras de maíz de América central

FAO/IIASA GAEZ



o frijoles en una zona de bosque secundario bien desarrollado y regenerado de forma natural. Después de plantar, cortan y podan selectivamente los árboles y arbustos, y esparcen las hojas y pequeñas ramas sobre la superficie del suelo para crear una capa de cubierta vegetal. Los árboles de madera, frutales y para leña de alto valor se dejan crecer^{1,2}.

Una vez que el sorgo y los frijoles se han cosechado, se planta el maíz (el maíz no se utiliza como “especie colonizadora” porque la cubierta vegetal ralentiza la aparición de sus plántulas). Los agricultores siguen podando los árboles para garantizar que los cultivos tengan suficiente luz solar, en tanto que las hojas, las ramas y los residuos de las cosechas se utilizan para mantener una cubierta del suelo semipermanente. No se labra el suelo y solo se aplican fertilizantes en caso necesario².

A comienzos del decenio de 1990, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura empezó a trabajar estrechamente con agricultores y grupos de agricultores locales a fin de desarrollar y difundir dichas prácticas, que han pasado a conocerse como el Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ)¹. Desde entonces han adoptado este sistema más de 6 000 agricultores de bajos ingresos en el suroeste de Honduras².

Al utilizar el SAQ, estos agricultores han podido duplicar la productividad del cultivo migratorio, esto es, los rendimientos del maíz han aumentado de 1,2 toneladas a 2,5 toneladas por hectárea y los rendimientos de los frijoles de 325 kg a 800 kg¹. El aumento de la productividad ha mejorado la seguridad alimentaria y ha permitido a los agricultores reservar espacio en sus campos a fin de estudiar distintas opciones para la producción de alimentos. Casi la mitad de los agricultores que han adoptado el SAQ utiliza alguna parte de



Más de 6 000 agricultores en pequeña escala han adoptado el sistema de “corta y abono orgánico”

Al aplicar el SAQ, los agricultores aumentaron la producción de frijoles de 325 kg a 800 kg por hectárea



sus tierras, y sus ingresos adicionales, para diversificar la producción, fundamentalmente a huertas familiares y la cría de ganado².

Los agricultores de Honduras han adoptado este sistema porque se fundamenta en consabidas prácticas agrícolas autóctonas, es más productivo y rentable que la agricultura de corta y quema y ofrece muchos otros beneficios. Al retener la humedad del suelo y prevenir la erosión, el SAQ ha aumentado la resiliencia de los agricultores ante fenómenos meteorológicos extremos, tales como la sequía sufrida en 1997 y el Huracán Mitch en 1998. El sistema reduce asimismo el tiempo necesario para preparar el terreno y eliminar las malas hierbas, lo cual es importante tener presente en una zona en la que la escasez de mano de obra constituye uno de los principales obstáculos para la mejora de la productividad agrícola.

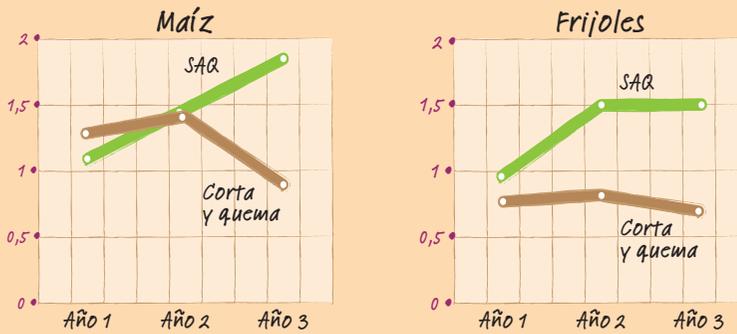
Las comunidades rurales también se benefician de la mejora de la calidad del agua, así como del aumento de la disponibilidad de agua durante la estación seca de noviembre a abril. Los árboles que se conservan en explotaciones agrícolas que utilizan el SAQ satisfacen en torno al 40 % de las necesidades de leña de los hogares².

El éxito de este sistema también se debió al hecho de que se animó a las comunidades y trabajadores de extensión locales a intercambiar ideas y aprender unos de otros. Gracias a ese proceso participativo, la repercusión del SAQ ha llegado más allá de los campos de los agricultores. Las instituciones comunitarias, tras haber tomado más consciencia de los problemas generados por la deforestación, prohibieron el uso de la corta y quema².

En 2005, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) llevó a cabo un proyecto de cuatro años con el objetivo de impulsar el desarrollo del SAQ y mejorar los medios de vida de la población pobre en las zonas rurales. El CIAT pretendía determinar los principios de la gestión del SAQ, los beneficios biofísicos que hacen de este un sistema resistente, los factores sociales que llevan a su aceptación y otras zonas productoras de maíz en las que podría adoptarse.

En ensayos realizados en 15 parcelas, se apreciaron con claridad las diferencias entre la “corta y quema” y la “corta y abono orgánico” en los índices de sostenibilidad y resiliencia. Un ciclo de producción con arreglo al SAQ permite alrededor de 10 a 12 años

Figura 3.3 Rendimiento medio del grano obtenido en sistemas de "corta y quema" y sistemas SAQ, Somotillo (Nicaragua) (t/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 3.4, pág. 48²

de producción de cultivos anuales, seguido de siete años de barbecho. En cambio, los rendimientos de la corta y quema comienzan a disminuir a partir del segundo año de cultivo [FIGURA 3.3]. En la agricultura de corta y quema, el contenido de nitrógeno del suelo disminuye con el tiempo, pero aumenta significativamente en las parcelas en las que se aplica el SAQ. Al medir las emisiones de metano y óxido nítrico y las existencias de carbono retenido en el suelo y los árboles, el CIAT observó también que el potencial de calentamiento global del SAQ es solo la cuarta parte del de la agricultura de corta y quema².

El sistema de producción de maíz se ha extendido a otras regiones de Honduras así como El Salvador, Guatemala y Nicaragua, donde en varios casos los agricultores han adaptado sus prácticas básicas, tales como podas progresivas, la cubierta permanente del suelo, la alteración mínima del suelo y el uso eficiente de fertilizantes minerales, a las condiciones locales³.

En ensayos realizados en Guatemala, los rendimientos del maíz aumentaron de un 11 % a un 25 % en suelos enriquecidos con la poda de árboles *Gliricidia sepium*. Las tasas de adopción llegaron

al 88 % en zonas en las que se fomentó el sistema².

En Nicaragua, donde los agricultores conocieron el sistema de corta y abono orgánico gracias a la visita de agricultores hondureños, los rendimientos del maíz en áreas de validación duplicaron con creces los obtenidos con el sistema de corta y quema, en tanto que la rentabilidad se incrementó un 83 %. Como resultado, en 2010 más de la mitad de los agricultores de una comunidad nicaragüense habían adoptado el SAQ. En la actualidad, el Instituto de Tecnología Agropecuaria de Nicaragua promueve este sistema⁴.

El Sistema Agroforestal Quesungual de corta y abono orgánico se considera una alternativa a la agricultura de corta y quema para zonas de ladera subhúmedas de los trópicos³. Se calcula que en 18 países de África, América Latina y Asia hay un 50 % de probabilidades de hallar condiciones similares a las de las zonas de ensayo del SAQ y las zonas de mayor extensión se encontrarían en el Brasil, El Salvador y la República Democrática del Congo⁴.

EL SISTEMA SE CONSIDERA ADECUADO PARA ZONAS DE LADERAS SUBHÚMEDAS EN LOS TRÓPICOS

Zona agroecológica

Templada, subtropical de secano y de regadío

Cereal principal Trigo**Otros cultivos**

Leguminosas de grano y forrajeras

4. Trigo y leguminosas En todo el mundo

Los beneficios adicionales del cultivo de leguminosas antes del trigo

Los productores de trigo cultivan leguminosas para mejorar la salud del suelo y proporcionar una fuente natural de nitrógeno, que mejora los rendimientos. Es necesaria una agricultura de conservación para aprovechar plenamente los beneficios de la rotación.

El cultivo de leguminosas puede ser una inversión muy buena de por sí. Puesto que obtienen entre el 70 % y el 80 % de sus necesidades de nitrógeno de la atmósfera, a través de la fijación biológica del nitrógeno en sus nódulos radiculares, las leguminosas de grano y forrajeras no necesitan por lo general fertilizantes nitrogenados para lograr rendimientos óptimos¹. Las leguminosas de grano, como las lentejas, tienen un alto contenido de proteínas, fibra dietética, vitaminas, minerales, antioxidantes y fitoestrógenos² y pueden venderse para generar ingresos. Las leguminosas forrajeras, como la alfalfa, pueden aprovecharse

en la explotación agrícola para alimentar el ganado.

Al cultivar leguminosas antes del trigo, estas producen otro gran beneficio, ya que el nitrógeno de sus residuos reduce la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados al cultivo de trigo³. Se estima que, en todo el mundo, unos 190 millones de hectáreas de leguminosas de grano aportan entre cinco y siete millones de toneladas de nitrógeno a los suelos⁴. Gracias a esa “fertilización natural”, el trigo que se

cultiva después de las leguminosas produce rendimientos de grano más altos y tiene un mayor contenido proteínico que el trigo cultivado después de otra cosecha de trigo⁵.

La elevada productividad de las rotaciones de trigo y leguminosas ha sido reconocida por los productores de trigo desde hace tiempo, e incluso hace 2 000 años en Asia occidental y el Norte de África. Entre las rotaciones habituales de secano basadas en el trigo figuran las leguminosas de grano, como garbanzos, lentejas y habas, y las leguminosas forrajeras como la veza, el trébol alejandrino y las especies de *Medicago*⁶⁻⁸.

Es muy importante escoger la leguminosa adecuada para un sistema de cultivo de trigo determinado, ya que las distintas especies y variedades de leguminosas que se cultivan en un mismo lugar pueden presentar variaciones considerables en cuanto a la producción de materia seca, la fija-

Zonas productoras de trigo y leguminosas* de Europa occidental

FAO/IIASA GAEZ



* Se incluyen el frijol, el garbanzo, el caupí, el guisante seco, el guandul

Los cinco principales productores de trigo, 2013

(millones de toneladas)

Francia	38,61
Alemania	25,01
Reino Unido	11,92
Bélgica	1,80
Austria	1,59

Fuente: FAOSTAT

ción y acumulación de nitrógeno, y la calidad de los residuos. Los valores de nitrógeno residual derivados de las leguminosas de grano varían considerablemente, pero pueden cubrir del 20 % al 40 % de las necesidades de nitrógeno del trigo³. Aunque las leguminosas de grano pueden añadir al suelo de 30 a 40 kg de nitrógeno por hectárea, las leguminosas producidas como cultivos de abono verde o forraje para el ganado acumulan nitrógeno con más rapidez y pueden fijar hasta 300 kg de nitrógeno por hectárea⁹.

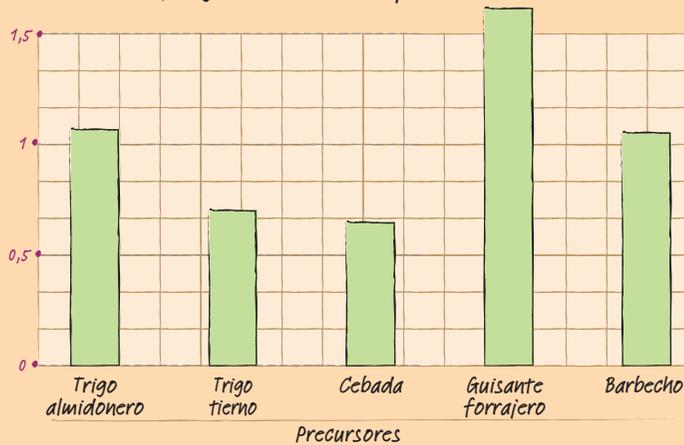
Las leguminosas favorecen la absorción de otros nutrientes por parte del trigo.

El trigo que se cultiva después de leguminosas suele tener un sistema de raíces más sano que el trigo cultivado después de otra cosecha de trigo, mejorando así su capacidad de utilizar otros nutrientes disponibles. Las raíces de garbanzo y guandul segregan ácidos orgánicos que pueden movilizar formas fijas de fósforo del suelo y facilitan su obtención⁵.

Las leguminosas liberan asimismo gas hidrógeno en el suelo, a razón de hasta 5 000 litros por hectárea al día. Los microbios del suelo que rodean el sistema radicular de la planta oxidan el hidrógeno, un subproducto de la fijación de nitrógeno, lo que provoca cambios en la biología del suelo que mejoran el desarrollo de la planta de trigo^{1, 5}. Las leguminosas de raíces profundas, como el guandul, el frijol de tierra y el frijol de terciopelo, ayudan a construir la estructura del suelo y bioporos, que mejoran el drenaje y la aireación¹⁰.

El trigo sembrado en otoño y seguido de un período de barbecho en verano es el sistema de producción predominante en las zonas secas. En Oriente Medio y el Norte de África, los campos se dejan normalmente en barbecho debido a la falta de suficiente humedad para mantener una producción fiable de cultivos de secano de verano.

Figura 3.4 Rendimiento del trigo tierno cultivado como segunda cosecha tras algunos cultivos precursores seleccionados, Región de Bale (Etiopía) (t/ha)



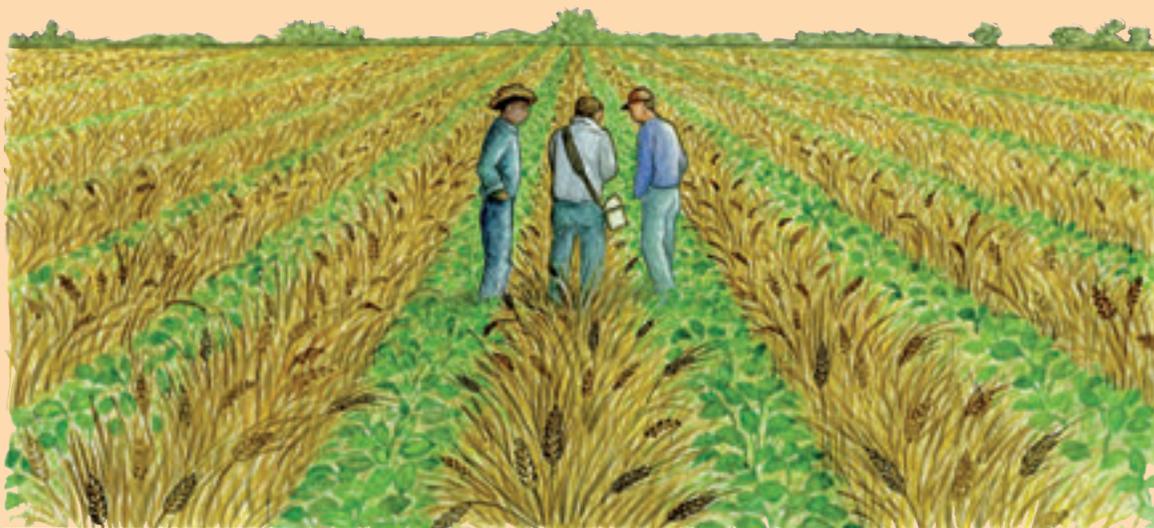
Fuente: Adaptado del Cuadro 4, pág. 140¹⁷

No obstante, gracias a la obtención de variedades de leguminosas de maduración temprana, los agricultores pueden ahora sustituir largos períodos de barbecho por cultivos de leguminosas, lo que supone una utilización más productiva de la tierra^{11, 12}. El cultivo de leguminosas de consumo humano en verano no solo contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y la eficiencia en el uso del agua, sino que también aumenta los rendimientos de la cosecha de trigo posterior¹³.

En las tierras altas de Etiopía, las legumbres se cultivan en rotación con los cereales, o como cultivos intercalados, para dispersar los riesgos de sequías y mejorar la fertilidad del suelo¹⁴⁻¹⁶. En la región de Bale, los rendimientos del trigo cultivado después de guisantes forrajeros superan significativamente los de las rotaciones trigo-trigo y trigo-cebada [FIGURA 3.4]¹⁷. Un sistema de rotación de haba y trigo generó un incremento del rendimiento del trigo de hasta un 77 % y redujo a su vez la necesidad de fertilizantes nitrogenados¹⁸. En la República Islámica del Irán, el cultivo intercalado de cereales y leguminosas ha demostrado ser más productivo y rentable que el monocultivo de trigo¹⁹.



Después de un cultivo de guisantes forrajeros, los rendimientos del trigo mejoran significativamente



La soja que se planta en cultivos en pie de trigo es más productiva

LA SIEMBRA EN SURCO DE TRIGO CON RESIDUOS DE LEGUMINOSAS CONSERVA LA ESTRUCTURA, LA HUMEDAD Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO

El manejo de leguminosas para lograr resultados doblemente positivos,

esto es, una leguminosa rentable y máximos beneficios para la posterior cosecha de trigo, resulta complicado para muchos agricultores. Por lo general, se considera que el cultivo de leguminosas entraña más riesgo que el cultivo de trigo u otros cereales. Ello se debe en parte a que las leguminosas suelen ser más susceptibles a las tensiones bióticas y abióticas, que pueden reducir los rendimientos y la biomasa de las plantas. Si la leguminosa no produce suficiente biomasa para lograr un buen rendimiento y dejar nitrógeno residual en la paja y los residuos radiculares, el pequeño productor pierde ingresos en una campaña agrícola sin recibir compensación en la siguiente. Además, los precios de las leguminosas de grano suelen ser más volátiles que los de los cereales.

Debido a que su temporada de crecimiento es más corta, algunos cultivos de leguminosas no extraen tanta agua del suelo como el trigo, y dejan más humedad residual para el cultivo de este último. Sin embargo, esta humedad puede perderse fácilmente si los resi-

duos de las leguminosas se someten a un pastoreo intenso o se eliminan para otros fines. Así pues, se recomienda dejar los residuos como cobertura superficial y sembrar el trigo en surcos alterando lo menos posible el suelo⁵.

Para gestionar los riesgos, se aconseja a los agricultores que planten leguminosas solo si hay suficiente humedad almacenada en el perfil del suelo, o si se dispone de esta en forma de riego. Aunque la plantación temprana mejora la producción de biomasa y la fijación de nitrógeno, también puede aumentar la susceptibilidad a los patógenos. Para aprovechar todos los beneficios de la rotación de trigo y leguminosas, los residuos deberían conservarse en la superficie del suelo y eliminarse la labranza del cultivo tanto de leguminosas como de trigo a fin de conservar la estructura, el agua y los nutrientes del suelo.

5. Maíz/ganado América Latina

Las “bombas de nutrientes” alimentan el ganado y nutren el maíz

Los agricultores brasileños han integrado la *Brachiaria*, un pasto autóctono del África tropical, en un sistema de maíz de siembra directa en sustitución del monocultivo de soja.

La producción ganadera reviste particular importancia en los sistemas agrícolas en pequeña escala de las praderas de sabana de América Latina. No obstante, el rendimiento por unidad animal en zonas tropicales es muy inferior al obtenido en regiones templadas. Uno de los principales obstáculos es la cantidad y la calidad del forraje, que constituye una fuente fundamental de alimento en los sistemas de rumiantes. Las prácticas agrícolas de sobrepastoreo que agotan los nutrientes del suelo y la falta de especies forrajeras que se adapten mejor a las tensiones bióticas y abióticas contribuyen a la baja productividad. Una mejora de la productividad y la calidad de pastos y forrajes contribuiría a aumentar la producción de carne y leche¹.

Numerosos productores ganaderos en América Latina han adoptado un sistema de producción ganadera sostenible que integra forrajes con cereales. Un elemento clave del sistema es la *Brachiaria*, una hierba autóctona del África subsahariana que crece bien en suelos pobres, resiste el pastoreo intensivo y está relativamente exenta de plagas y enfermedades.

Gracias a sus fuertes y abundantes raíces, la *Brachiaria* es muy eficaz para restablecer la estructura del suelo y ayuda a evitar su compactación, lo que disminuye la infiltración de agua de lluvia y reprime el crecimiento de raíces. Tiene asimismo capacidad para convertir el fósforo residual del suelo

en formas orgánicas fácilmente disponibles para una cosecha posterior de maíz².

Investigaciones recientes del CIAT han identificado otra característica especial de la *Brachiaria*, a saber: un mecanismo químico encontrado en las raíces de una especie de *Brachiaria* inhibe las emisiones de óxido nitroso del suelo, que se deriva principalmente de los fertilizantes minerales y constituye uno de los más potentes gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático³.

Esta versátil hierba se cultiva actualmente en unos 80 millones de hectáreas de tierra en América Latina⁴. Aunque

Los cinco principales productores de maíz, 2013

(millones de toneladas)

Brasil	80,54
Argentina	32,12
Paraguay	4,12
Venezuela	2,25
Colombia	1,77

Fuente: FAOSTAT

Zona agroecológica

Sabana tropical

Cereal principal Maíz

Otros cultivos y productos

Carne, leche, forraje, arroz, mijo, sorgo

Zonas productoras de maíz de América del Sur

FAO/IIASA GAEZ

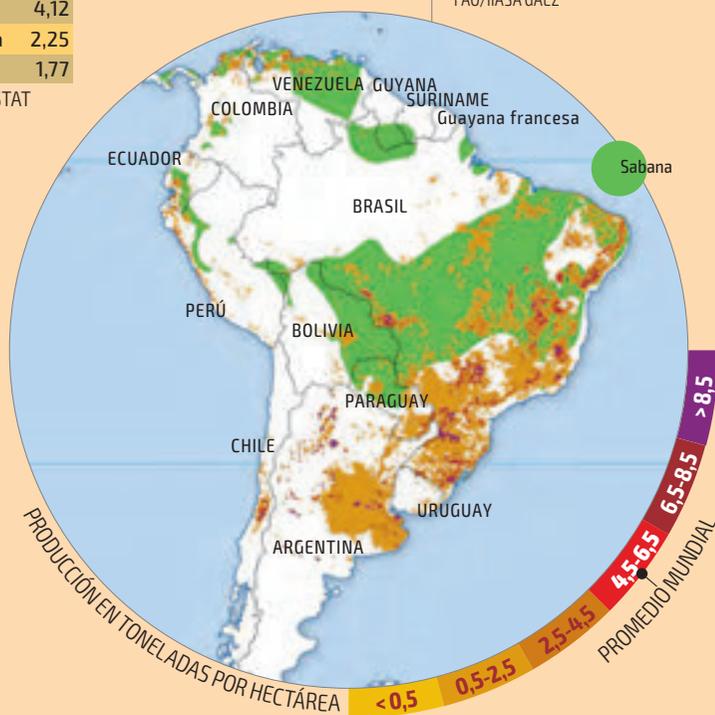
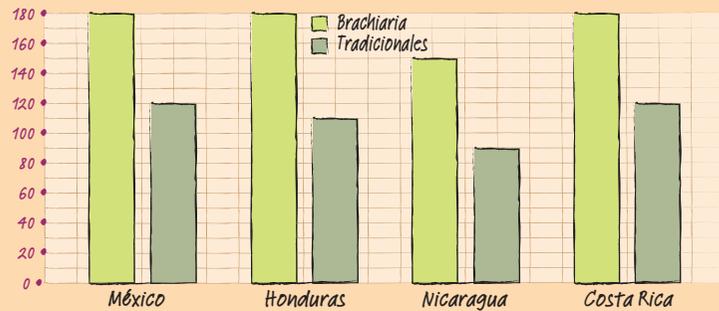


Figura 3.5 Niveles de productividad de la carne de bovino en pastos tradicionales y de *Brachiaria* (kg/ha/año)



Fuente: Adaptado del Cuadro 1⁵

la adaptación de la *Brachiaria* a suelos poco fértiles ha llevado a su uso para pastos extensivos con pocos insumos, también es adecuada para pastos de manejo intensivo¹.

En América central y México, la productividad de los animales que se alimentan de pastos de *Brachiaria* es hasta un 60 % mayor que la de los que se alimentan de vegetación autóctona [FIGURA 3.5]. El valor de la producción adicional se ha estimado en mil millones de USD al año⁵. En el Brasil, los beneficios económicos anuales se han valorado en 4 000 millones de USD⁶.

La rotación de cultivos anuales con praderas de pasto va en aumento en la ecorregión del Cerrado en el Brasil, donde el ganado vacuno constituye una importante fuente de ingresos para muchos agricultores. Años de gestión deficiente de los rebaños, el sobrepastoreo y la falta de un reemplazo adecuado de los nutrientes del suelo han llevado a una disminución de la producción y han reducido la rentabilidad de los sistemas de producción ganadera tradicionales^{1, 7, 8}.

En los casos en que los ecosistemas naturales se han reemplazado por el monocultivo intensivo de soja, gran parte del suelo se ha compactado y es susceptible a la erosión provocada por las fuertes lluvias. En esas condiciones, técnicas tradicionales de lucha

contra la erosión del suelo, tales como la plantación en fajas, han demostrado resultar ineficaces⁹.

En respuesta a ello, muchos agricultores han adoptado sistemas de cultivo sin labranza, que aumentan la cubierta del suelo y aportan otros beneficios ambientales. A comienzos del decenio de 1990, el cultivo sin labranza se practicaba en menos del 10 % de la ecorregión del Cerrado; en 1996, este porcentaje había aumentado al 33 %. Con inclusión de la ampliación de la superficie cosechada, la superficie total de cultivo sin labranza en El Cerrado se multiplicó por 17¹⁰.

Se ha estimado que en alrededor del 50 % de la superficie total cultivada en el Brasil se aplican sistemas agrícolas de siembra directa en cubierta vegetal, que normalmente soportan tres cultivos anuales, todos ellos mediante siembra directa continua¹¹. En El Cerrado, se cultivan más de 4 millones de hectáreas en las que se utilizan sistemas diversificados de siembra directa en cubierta vegetal, que han sustituido al ineficaz monocultivo de soja basado en la labranza. Una secuencia típica es maíz (o arroz), seguido de otro cereal, como el mijo o el sorgo, o la especie herbácea *Eleusine*, que se cultiva de manera intercalada con una especie forrajera como la *Brachiaria*^{11, 12}.

Los forrajes funcionan como “bombas de nutrientes”, al producir grandes

DESPUÉS DEL MONOCULTIVO INTENSIVO DE SOJA, LOS SUELOS QUEDAN COMPACTADOS Y SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN



cantidades de biomasa en la estación seca que pueden pastorearse o utilizarse como abono verde. La combinación de maíz y *Brachiaria* al final de la estación de lluvias aprovecha el agua del suelo desde niveles de más de 2 m de profundidad, y promueve la fotosíntesis activa posteriormente durante la estación seca. Ello da como resultado un sólido restablecimiento vegetativo después de las primeras lluvias de la estación siguiente, o después de las lluvias durante la estación seca, garantizando así la cobertura de suelo permanente¹³.

Puesto que la *Brachiaria* proporciona un forraje excelente, los agricultores pueden optar por convertir la zona en pasto, o bien mantenerla para producción de cereales un año más. Estos sistemas se encuentran bajo riego y en regiones más húmedas con fuertes lluvias frecuentes que recargan las reservas de aguas profundas. En los mejores sistemas de siembra directa en cubierta vegetal, la producción anual total de materia seca, por encima y por debajo del suelo, alcanza en promedio alrededor de 30 toneladas por hectárea, en

comparación con una producción de cuatro a ocho toneladas que se observan en los sistemas de monocultivo¹⁴.

Para reducir la competencia entre cultivos, se han desarrollado novedosos sistemas de cultivo intercalado. En el sistema “Santa Fé” para maíz y *Brachiaria*, desarrollado en el Brasil, la hierba se hace germinar después del cultivo de maíz, bien demorando su plantación o plantándola a mayor profundidad. Las plantas jóvenes de *Brachiaria* quedan a la sombra del maíz y apenas suponen competencia para el cereal. Sin embargo, al cosechar el maíz, la sombra se reduce y el pasto crece con mucha rapidez sobre los residuos del maíz¹⁵.

Esta estrecha integración entre cultivos de forrajes y cereales redundará en un mejor aprovechamiento de la superficie agrícola total y un uso más intensivo de los pastos, con menor degradación de los prados. Se están probando sistemas similares de siembra directa en cubierta vegetal en otras partes del mundo, en particular en el África subsahariana¹¹.

La hierba *Brachiaria* restaura la estructura del suelo y contribuye a evitar su compactación

Zona agroecológicaMonzón subtropical
y de regadío**Cereales principales**

Arroz, trigo

Otros cultivosMaíz, patatas, caña de azúcar,
algodón, leguminosas**6 · Arroz/trigo Llanuras indogangéticas**

La agricultura de conservación como clave de la seguridad alimentaria

En el “granero” de Asia meridional, las tecnologías de conservación de recursos generan altos rendimientos del trigo, al tiempo que reducen los costos de los agricultores en un 20%.

A lo largo de 2,25 millones de km² en Asia meridional, desde Bangladesh, pasando por la India y Nepal, hasta Pakistán, las llanuras indogangéticas son el “cuenco de arroz” y el “granero” de 1 800 millones de personas^{1, 2}. En los últimos 30 años, gracias sobre todo a las variedades mejoradas y los paquetes de tecnologías de la Revolución Verde, los agricultores de la zona han desarrollado un sistema de rotación de cultivos que produce arroz durante el monzón de verano, y trigo durante el corto invierno. Hoy en día, el sistema de arroz y trigo abarca en torno a 13,5 millones de hectáreas

y produce anualmente una cantidad estimada de 80 millones de toneladas de arroz y 70 millones de toneladas de trigo^{3, 4}.

En la parte más productiva de la llanuras, esto es, los estados noroccidentales de Punjab, Haryana y Uttar Pradesh occidental en la India, la expansión de la superficie de arroz y trigo y el aumento del rendimiento del 3 % anual permitieron a la India impulsar la producción de trigo de 20 millones

Los cinco principales productores de arroz y trigo, 2013

(millones de toneladas)

India	252,71
Bangladesh	52,76
Pakistán	34,03
Rep. Islámica del Irán	16,54
Nepal	6,23

Fuente: FAOSTAT

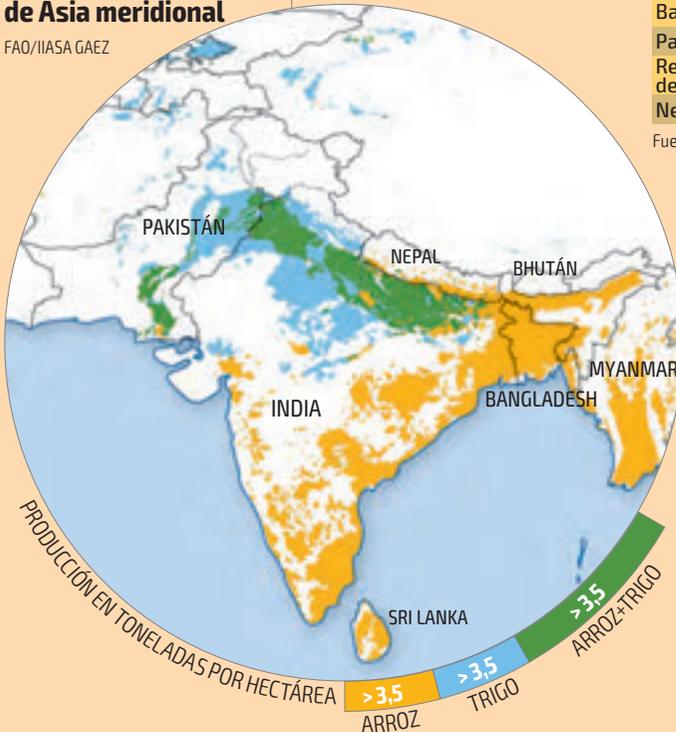
de toneladas en 1970 a 65 millones de toneladas en 1995. Sin embargo, fue entonces cuando la productividad del arroz y el trigo comenzó a estancarse y los rendimientos disminuyeron entre el 30 % y el 70 % por debajo de su potencial. Se culpó de esta disminución a la “fatiga del suelo” provocada por decenios de cultivo intenso,

la caída continua de la eficiencia en el uso de insumos, el agotamiento de las aguas subterráneas y el aumento de las temperaturas^{5, 6}.

En respuesta a ello, el Consorcio del Arroz y el Trigo, una iniciativa ecoregional de los sistemas nacionales de investigación agrícola y el CGIAR, emprendieron una labor concertada en 1995 para fomentar tecnologías de conservación de recursos en relación con la producción de cereales. Entre estas tecnologías figuraba el cultivo sin labranza, la nivelación del terreno por láser, la retención de residuos agrícolas, la plantación en lechos permanentes, la

Zonas productoras de arroz y trigo de Asia meridional

FAO/IIASA GAEZ





siembra en seco de arroz y la siembra en superficie de trigo³.

En la India y Pakistán, la tasa de adopción de muchas de esas tecnologías ha sido “exponencial”^{1, 5}. En el estado de Haryana, por ejemplo, la superficie de cultivo de trigo sin labranza aumentó de cero a 300 000 hectáreas entre los años 1997 y 2002. En la India en su conjunto, se estimó que el cultivo sin labranza o con labranza reducida para la producción de trigo se practicaba en 1,6 millones de hectáreas en 2005⁷.

Uno de los principales obstáculos para la productividad del trigo, en las llanuras orientales, es la siembra tardía. El arroz empieza a trasplantarse en julio, pero en muchos casos sigue hasta finales de agosto, debido a la incertidumbre de las lluvias, el elevado costo del bombeo de aguas subterráneas y la escasez de mano de obra. Estas demoras provocan una cosecha tardía del arroz, que a su vez retrasa la siembra del cultivo de trigo posterior mucho más allá de la fecha óptima de plantación. También se pierde un tiempo precioso debido a la práctica de los agricultores

de arar minuciosamente los arrozales de cosecha, que suelen sufrir una grave compactación por el repetido enfangado y el peso de las cosechadoras^{1, 6}.

En muchas zonas, la fecha de plantación del trigo se ha adelantado gracias a la siembra directa, pues esta se realiza después de cosechar el arroz sin labrar previamente el terreno^{6, 8}. Las semillas y fertilizantes se depositan con el espaciamiento y la profundidad adecuados, alterando mínimamente el suelo y utilizando para ello sembradoras montadas en tractores de fabricación local¹.

El cultivo sin labranza contribuye a aumentar el rendimiento del trigo, entre un 6 % y un 10 %, ya que permite sembrar en el momento oportuno, da lugar a una mejor densidad de cultivo y genera importantes ahorros en cuanto a trabajo con tractores, tiempo y combustible [FIGURA 3.6]⁹. Se estima asimismo que los agricultores ahorran en agua de 50 USD a 70 USD por hectárea^{6, 10}. En algunas zonas, la productividad del agua para riego ha mejorado hasta un 65 % por encima de la obtenida con prácticas convencionales².

La productividad del agua mejora aún más si el trigo se planta en lechos

El sistema arroz-trigo en las llanuras indogangéticas produce 150 millones de toneladas de cereales al año

Las llanuras indogangéticas, que discurren paralelas a las montañas del Himalaya, son el granero y el “cuenco de arroz” de 1 800 millones de personas



elevados sin labranza⁶. El riego en surcos alternos entre los lechos ahorra agua y permite también el uso de aguas más salinizadas, dado que la sal se queda acumulada en los laterales de los surcos secos, manteniendo la zona de las raíces relativamente libre de sal¹¹. Otras ventajas del cultivo de trigo en lechos elevados son, por ejemplo, la reducción del anegamiento, la disminución de la cantidad de semillas y el aumento del espacio para depositar de forma precisa los fertilizantes, realizar un deshierbe mecanizado, practicar cultivos intercalados y plantar cultivos en relevo de frijol mungo¹².

En las llanuras indogangéticas occidentales, la adopción del cultivo sin labranza en la producción de trigo ha reducido los costos de los agricultores por hectárea un 20 % y ha aumentado

La siembra en seco de arroz reduce la utilización de agua, los gastos energéticos y las necesidades de mano de obra



los ingresos netos un 28 %, reduciendo a su vez las emisiones de gases de efecto invernadero¹³.

En las llanuras orientales, donde el drenaje es deficiente, actualmente algunos agricultores siembran a voleo o con sembradoras de tambor semillas de trigo previamente remojadas, sin labranza. Esta “siembra superficial” es una tecnología de bajo costo especialmente apta para los pequeños agricultores, que carecen de los recursos necesarios para la preparación de la tierra, pues les permite cultivar maíz en campos que, de no ser así, permanecerían en barbecho^{6,11}. Aunque los rendimientos no son más altos que los de la siembra a voleo de trigo en tierras con labranza convencional, hay un aumento de los ingresos gracias al ahorro en los costos de labranza¹⁴.

En el caso del arroz, el Consorcio fomentó la sustitución de cultivares de temporada larga por los de temporada corta, y la siembra en seco directa que, al eliminar la necesidad de trasplante, reduce el uso de agua, los gastos energéticos y la necesidad de mano de obra. En la siembra en seco, los campos se preparan en junio y se siembra un cultivo de arroz de temporada corta después del riego para asentarlos antes del inicio del monzón en julio⁶.

Durante el crecimiento del cultivo, se promueven varios métodos para ayudar a los agricultores a aumentar la producción de arroz con la misma cantidad de agua, o utilizar menos agua sin reducir el rendimiento. Uno de estos métodos es la alternancia humectación/secado, en la que el arrozal se anega y el agua se deja secar antes de volver a anegar. Otro es el arroz aeróbico, donde las semillas se siembran directamente en el suelo seco, y luego se riega. Ambos métodos permiten ahorrar de un 30 % a un 50 % de agua⁶. La plantación en lechos elevados también genera un aumento significativo de los rendimientos del arroz¹².

Figura 3.6 Aspectos económicos de la ausencia de labranza y la labranza convencional en la producción de trigo, Haryana (India) (por ha)



Fuente: Adaptado de los Cuadros 1 y 2, pág. 93⁹

Otra tecnología de conservación de los recursos introducida en las llanuras indogangéticas es la nivelación del terreno por láser. Muchos campos presentan superficies irregulares, que provocan la pérdida de agua, una germinación incompleta y menores rendimientos. Tradicionalmente, los agricultores han utilizado traillas y tablas de madera para nivelar sus terrenos. En la actualidad, tractores guiados por láser, manejados por contratistas privados, ofrecen una nivelación más precisa del terreno a precios que los pequeños productores se pueden permitir. En estudios recientes en la India noroccidental se determinó que la tecnología es mucho más eficaz que la nivelación tradicional, pues reduce las aplicaciones de agua hasta un 40 %, mejora la eficiencia de los fertilizantes y aumenta los rendimientos del arroz y el trigo de un 5 % a un 10 %. Su rentabilidad es la misma en todos los tamaños de explotación agrícola^{1,14-16}.

Los agricultores también han introducido nuevas rotaciones de cultivos que interrumpen los ciclos vitales de las plagas de insectos y las malas hierbas, y fomentan la salud del suelo. En la

provincia de Punjab (Pakistán), los pequeños agricultores cultivan arroz en rotación con trébol de Alejandría, un forraje que mejora la fertilidad del suelo y elimina las malas hierbas que, de no ser así, podrían infestar los cultivos siguientes de cereales¹⁷. En las llanuras orientales, donde los campos permanecen generalmente en barbecho durante 80 días después de cosechar el trigo, la plantación de un cultivo de frijol mungo de verano en suelo sin labrar produce 1,45 toneladas por hectárea, por un valor de 745 USD. El frijol mungo añade asimismo nitrógeno al suelo gracias a la fijación biológica del nitrógeno¹⁴.

Para reducir el uso innecesario de fertilizantes, el Consorcio del Arroz y el Trigo fomentó la gestión del nitrógeno “basada en las necesidades” e introdujo una carta analítica de colores de las hojas que indica los mejores momentos para la fertilización. Estas cartas se diseñaron en un principio para el arroz, pero los agricultores las adaptaron al trigo de manera espontánea¹⁸. Gracias al uso de estas cartas, los agricultores han reducido las aplicaciones de fertilizantes hasta un 25 % sin disminuir el rendimiento¹.

CONTRATISTAS PRIVADOS OFRECEN SISTEMAS DE NIVELACIÓN DEL TERRENO POR LÁSER A PRECIOS ASEQUIBLES PARA LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES

En encuestas realizadas en aldeas de las llanuras en 2009 se observó que uno de cada tres hogares agrícolas había adoptado al menos una tecnología de conservación de recursos y era en el noroeste donde se registraban las tasas más elevadas, de casi el 50 %. Los agricultores tuvieron conocimiento de estas tecnologías por diversas fuentes, como por ejemplo otros agricultores y fabricantes de equipos, y la mayoría las han integrado en sus prácticas tradicionales de gestión de cultivos. En el noroeste de la India, las sembradoras en líneas sin labranza eran el artículo más frecuente de maquinaria agrícola después de los tractores¹⁸. Su alto índice de adopción fue posible por la rápida disponibilidad de sembradoras en líneas desarrolladas por el sector privado, con el apoyo firme de los gobiernos estatales y locales⁷.

La repercusión de las tecnologías y prácticas del modelo “Ahorrar para crecer” se refleja en el reciente aumento de la producción de trigo en la India. Después de los escasos rendimientos registrados entre 2003 y 2007 en el estado de Punjab, por ejemplo, se ha producido un aumento continuado de la productividad del trigo y, en 2012,

el promedio de la producción superó las cinco toneladas por hectárea¹⁹. En 2014, la producción global de trigo de la India alcanzó la cifra récord de 96 millones de toneladas⁴.

Aún queda mucho por hacer para lograr una transición plena a la intensificación sostenible de la producción de cereales en las llanuras indogangéticas, pero las posibles recompensas son enormes. Hasta la fecha, el cultivo sin labranza se ha adoptado principalmente para el componente del trigo en el sistema arroz-trigo. Si se aplica al arroz, daría lugar a mayores reducciones, tan urgentemente necesarias, en el uso del agua para riego⁷. Numerosos ensayos de siembra en seco de arroz sin labranza han demostrado que el enfangado no es indispensable para obtener rendimientos altos¹².

Se han propuesto varias estrategias para aumentar la adopción de siembra en seco en la producción de arroz, en particular el cultivo intercalado con *Sesbania*, que reduce las infestaciones de malas hierbas y aumenta los rendimientos en arrozales no anegados⁹.

Cultivo sin labranza en acción: la sembradora “Happy Seeder” introduce semillas de trigo a través de cargas pesadas de residuos de las cosechas de arroz



Sin embargo, la adopción a gran escala de la siembra en seco se ve frenada por la falta de acceso de los agricultores a equipos adecuados. En un estudio reciente llevado a cabo en el nordeste de la India se observó que el 57 % de los agricultores empleó la siembra en seco en 2012. Así todo, dado que solo el 10 % de los agricultores tenía sembradoras en líneas, la mayoría dependía de los proveedores de servicios. Muchos agricultores no pudieron realizar la siembra en seco porque la demanda de servicios fue superior a la oferta²⁰.

En cuanto al cultivo de arroz, un cambio decisivo a prácticas de AC, en particular la retención de residuos agrícolas, daría lugar a sinergias positivas en la producción de ambos cereales. Aunque muchos agricultores han adoptado la siembra en surco del trigo en residuos del cultivo de arroz anterior, la mayoría sigue quemando la paja de arroz después de la cosecha, lo que provoca una grave contaminación del aire¹⁹. Para disuadir de la quema y promover el cultivo sin labranza basado en la cubierta vegetal, los Gobiernos de los estados de Punjab y Haryana están ampliando actualmente el alcance de una nueva tecnología, a saber, la sembradora denominada "Happy Seeder"

(sembradora feliz), que puede sembrar semillas de trigo en pesadas cargas de residuos de arroz^{21, 22}. La agilización de la adopción de tecnologías de conservación de los recursos depende asimismo de las mejoras en el apoyo en materia de políticas, los conocimientos técnicos, las infraestructuras y el acceso a los mercados de insumos y productos. Se necesita un enfoque de sistemas, y no tecnologías centradas en el producto que hagan un uso intensivo e insostenible de mano de obra, agua y energía. Una convergencia entre tecnologías y prácticas probadas aprovecharía todos los beneficios posibles de la AC²³.

Por último, tal vez sea el momento de que los agricultores en las llanuras indogangéticas diversifiquen más la producción, sin limitarse únicamente al arroz y el trigo. La diversificación del monocultivo de cereales a otros cultivos de alto valor reduciría las presiones bióticas y abióticas sobre el sistema y conservaría el suelo y las aguas^{6, 24}. La diversificación de cultivos aumenta también las oportunidades de los pequeños agricultores de obtener ingresos⁷.

En el noroeste, la caña de azúcar, los frijoles mungo, la menta, el maíz y las patatas se cultivan actualmente como parte de rotaciones en el sistema arroz-trigo. En las llanuras orientales, donde los inviernos son de menor duración, existe una tendencia creciente a reemplazar totalmente el trigo por patata y maíz, que ofrecen rendimientos económicos más altos¹.

LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS OFRECE A LOS PEQUEÑOS AGRICULTORES MÁS OPORTUNIDADES DE OBTENCIÓN DE INGRESOS



Zona agroecológica

Templada, subtropical de secano y de regadío

Cereal principal Maíz**Otros cultivos**

Leguminosas de grano y forrajeras

7 · Maíz/leguminosas En todo el mundo

El sistema tradicional hace un uso más productivo de la tierra

El guandú, el caupí, el maní y la canavalia son muy comunes en los campos de maíz de los agricultores. La elevada productividad de los sistemas de cultivo de maíz y leguminosas hace que sean especialmente adecuados para los pequeños productores.

Los sistemas de maíz y leguminosas se presentan en tres configuraciones básicas. Una es el cultivo intercalado, en el que el maíz y las leguminosas se plantan simultáneamente en las mismas hileras o hileras alternas. Otro enfoque es el cultivo de relevo, donde el maíz y las leguminosas se plantan en fechas distintas y crecen juntos durante al menos una parte de su ciclo vital. El maíz y las leguminosas también se pueden cultivar como monocultivos en rotación, donde el maíz se planta en el mismo campo después de cosechar las leguminosas.

Estos sistemas son habituales en todo el mundo en desarrollo. Entre las leguminosas que

se plantan habitualmente figuran el frijol, el guandú, el caupí, el cacahuate y la soja, que se cultivan sobre todo para consumo humano, y leguminosas no comestibles, tales como el frijol de terciopelo y el frijol de playa, que se utilizan como pienso para el ganado. Todas ellas fijan el nitrógeno en el suelo y son útiles como fuente de residuos que pueden retenerse en la superficie del suelo como cubierta vegetal.

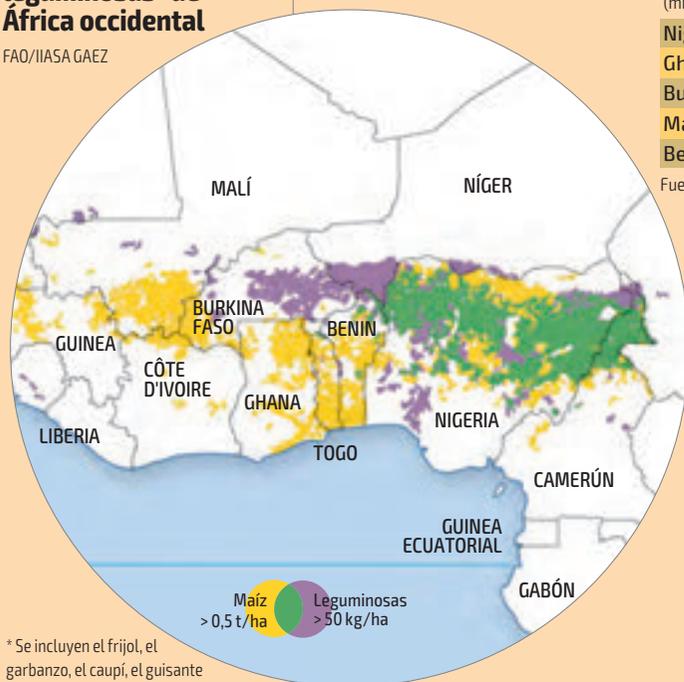
El cultivo intercalado de maíz y frijol es una práctica tradicional entre los pequeños agricultores de América La-

tina, sobre todo en las tierras altas con escasos terrenos. En el Perú, prácticamente todos los frijoles se plantan junto con el maíz, y en Ecuador la cifra alcanza en torno al 80 %. En zonas de América central donde la tierra es limitada y las precipitaciones escasas, el maíz suele cultivarse de forma intercalada con haba caballar^{1,2}.

Si se cultivan maíz y frijoles de forma intercalada, sus rendimientos son por lo general inferiores a los del maíz o los frijoles plantados en monocultivo. En diversos estudios se ha determinado que el maíz producía 5,3 toneladas por hectárea en situación de monocultivo, 5,2 toneladas en cultivo intercalado con judía enana y 3,7 toneladas en cultivo intercalado con judía de enrame³. Sin embargo, en el caso de los cultivos intercalados, los costos de producción por unidad de producto suelen ser menores y, dado que los frijoles se venden

Zonas productoras de maíz y leguminosas* de África occidental

FAO/IIASA GAEZ



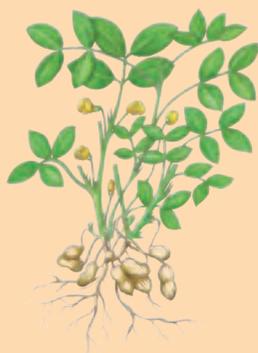
* Se incluyen el frijol, el garbanzo, el caupí, el guisante seco, el guandul

Los cinco principales productores de maíz, 2013

(millones de toneladas)

Nigeria	10,40
Ghana	1,76
Burkina Faso	1,71
Malí	1,50
Benin	1,35

Fuente: FAOSTAT



a un precio hasta cuatro veces superior al del maíz, los ingresos de los agricultores son más altos y más estables⁴.

Al ser resistente a la sequía, el guandú suele cultivarse de forma intercalada con cereales en sistemas agrícolos en pequeña escala de África, Asia y el Caribe. El guandú es también de raíz profunda, por lo que no compite con el maíz por el agua, y tiene un crecimiento lento en sus etapas iniciales, lo que permite al maíz asentarse debidamente.

Como ocurre con el maíz y los frijoles, tanto el maíz como el guandú, si se plantan juntos, obtienen unos rendimientos ligeramente inferiores a los obtenidos si se cultivan solos. No obstante, el rendimiento global del cultivo intercalado supera al que se habría obtenido con los monocultivos correspondientes —en un estudio exhaustivo del cultivo intercalado maíz-guandú en Sudáfrica se observó que el sistema era casi el doble de productivo que los monocultivos por unidad de superficie⁵. En los sistemas maíz-guandú en la India y Sri Lanka, el rendimiento neto más alto se obtenía con la plantación de cuatro hileras de maíz por dos de guandú⁶.

Un estudio de tres años llevado a cabo en la zona central de Malawi determinó que el cultivo intercalado de maíz y guandú en el marco de una AC producía casi el doble de biomasa vegetativa, y en años más secos se obtenía un 33 % más de grano de maíz que en el monocultivo de maíz con labranza convencional⁷. En Mozambi-

que, el cultivo intercalado de maíz y leguminosas a largo plazo y la ausencia

de labranza mejoraron en cinco veces la infiltración del agua de la lluvia, gracias a la producción de biomasa de buena calidad, que proporcionó cubierta vegetal⁸. En Panamá, la plantación de maíz en cubierta vegetal de frijol de playa permitió a los agricultores ahorrar 84 kg por hectárea en aplicaciones de nitrógeno⁹.

El cultivo de relevo se emplea en América central, el Brasil y Colombia, donde se planta el maíz en los meses de mayo y junio y los frijoles se siembran entre las plantas de maíz entre agosto y septiembre. Este método permite al maíz crecer lo suficiente para ofrecer un soporte a las judías de enrame³. En el norte de Ghana, la plantación de caupí en los campos, entre tres y seis semanas antes de sembrar el maíz, ofrece un alimento nutritivo en un momento en el que otros cultivos aún no están maduros y, con la retención de residuos, proporciona nitrógeno al suelo¹⁰.

Las rotaciones de maíz y leguminosas también contribuyen a mantener la fertilidad del suelo. En México, los pequeños agricultores han desarrollado un sistema para el cultivo de frijoles de terciopelo fuera de la estación del maíz, que tiene como resultado un aumento significativo de los niveles de pH, materia orgánica y nitrógeno del suelo. A su vez, ello contribuye a que el cultivo siguiente de maíz aumente su rendimiento un 25 %. En el estudio se

Cada año, los agricultores africanos cosechan una cantidad estimada de 11,5 millones de toneladas de cacahuets

POR UNIDAD DE SUPERFICIE, EL CULTIVO INTERCALADO MAÍZ-GUANDÚ ES CASI EL DOBLE DE PRODUCTIVO QUE EL MONOCULTIVO

LA ROTACIÓN MAÍZ-SOJA REDUCE LA EROSIÓN DEL SUELO Y ALIVIA LA PRESIÓN DE LAS PLAGAS EN AMBOS CULTIVOS

concluyó que el sistema de rotación era más eficaz que el cultivo intercalado¹¹.

Un programa dirigido por el CIMMYT en relación con la intensificación sostenible de los sistemas de cultivo de maíz y leguminosas en África oriental y austral determinó que, en la AC, el mayor aumento del rendimiento del maíz se logró cuando se cultivó este cereal en rotación con leguminosas tales como el frijol, el caupí y la soja. En Malawi, los rendimientos del maíz obtenidos con la práctica habitual de los agricultores fueron de 3,7 toneladas por hectárea; con la AC, los rendimientos aumentaron a 3,9 toneladas; con AC y después del cultivo de soja, los rendimientos alcanzaron las 4,5 toneladas [FIGURA 3.7]¹².

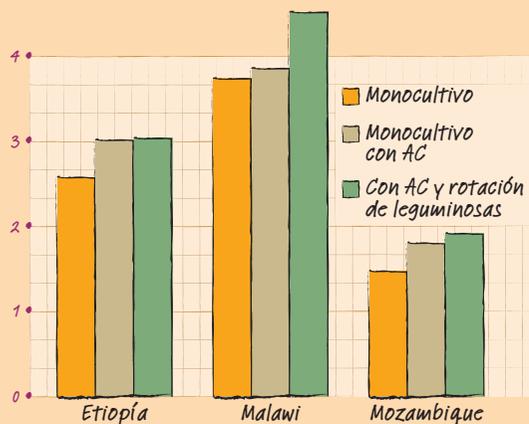
En Nigeria se emplea un sistema de rotación de maíz y soja muy productivo. La soja, que se planta antes del maíz, reduce las infestaciones de *Striga* al inducir la germinación prematura de sus semillas. La soja produce en torno a 2,5 toneladas de grano y 2,5 toneladas de forraje por hectárea, así como residuos que proporcionan de 10 a 22 kg de nitrógeno por hectárea. El nitrógeno es utilizado por el cultivo de maíz siguiente, que genera rendimientos hasta 2,3 veces superiores a los obtenidos con el monocultivo.

La producción de soja de los agricultores nigerianos se incrementó de menos de 60 000 toneladas en 1984 a 600 000 toneladas en 2013¹³, alentados por unos ingresos brutos que son entre el 50 % y el 70 % más altos que los obtenidos del cultivo continuo de maíz. El aumento de los rendimientos de la soja y la superficie plantada en la sabana seca de Nigeria generaron una fijación adicional de nitrógeno que se ha valorado en 44 millones de USD al año¹⁴.

En el Brasil, la soja suele cultivarse en rotación con el maíz. En los estados meridionales de Mato Grosso y Paraná, el maíz es un cultivo de segunda campaña que se planta sobre la cubierta vegetal de la soja de maduración temprana, lo cual mejora la disponibilidad de humedad para el maíz y reduce la erosión del suelo. La rotación permite obtener dos cosechas de la misma parcela y atenúa la presión de las plagas sobre ambos cultivos, lo que da lugar a una producción más sostenible y mejoras de los ingresos y medios de vida de los agricultores¹⁵.

Aunque los beneficios de los sistemas de maíz y leguminosas son de sobra conocidos, los pequeños productores que dependen de cultivos alimentarios para la seguridad alimentaria de

Figura 3.7 Efectos de la agricultura de conservación (AC) y la rotación de leguminosas en los rendimientos del maíz (t/ha)



Fuente: Adaptado de los Cuadros 1-3, pág. 380¹²



sus hogares, especialmente en África, suelen mostrarse reacios a ocupar sus campos con leguminosas no comestibles durante medio año o un año entero, independientemente de los beneficios a largo plazo que comporte¹⁶. La adopción de estos sistemas en África también se ve limitada por la disfuncionalidad de los mercados de cultivos de rotación, la falta de disponibilidad de semillas y la percepción de riesgo de los agricultores¹⁷.

Los gobiernos pueden invertir en el desarrollo de sistemas de maíz y leguminosas en pequeña escala como medio para garantizar la seguridad alimentaria, mejorar los ingresos de los agricultores y mejorar la salud del suelo. Dado que las leguminosas no comestibles como el frijol de terciopelo tienen un potencial muy alto de almacenamiento del carbono, podría disponerse de los fondos destinados a la mitigación del cambio climático para alentar su adopción por los pequeños agricultores.

Las variedades de maíz y leguminosas que producen rendimientos altos en régimen de monocultivo también tienen, por lo general, rendimientos altos cuando se cultivan de forma intercalada. Sin embargo, se han observado diferencias en cuanto a la idoneidad de determinadas variedades para los sistemas de maíz y leguminosas. Las actividades de mejoramiento deberían aprovechar interacciones productivas, como el maíz de tallo fuerte que soporta mayores pesos de los frijoles. En general, los sistemas de maíz y leguminosas muestran también una considerable especificidad en cuanto a la ubicación. Así pues, el sistema y sus variaciones requieren amplia validación en los campos de los agricultores.

Las variedades de maíz de tallo fuerte soportan pesos mayores de las judías de enrame

Zona agroecológica

Sistemas de arrozales

en zonas monzónicas

Cereal principal Arroz**Otros productos**

Peces de escama, crustáceos, caracoles

8 · Arroz y acuicultura Asia

Cosechas más abundantes en los arrozales

Muchos productores de arroz crían peces para producir alimentos, combatir las plagas y fertilizar sus cosechas. El resultado es un aumento de los rendimientos y una mejora de la nutrición.

Un campo de arroz en agua estancada es algo más que un cultivo, a saber, es un ecosistema lleno de vida, que incluye patos, peces, ranas, camarones, caracoles y docenas de otros organismos acuáticos. Durante miles de años, los productores de arroz han recolectado esa riqueza de biodiversidad acuática para proporcionar a sus hogares una gran variedad de alimentos con alto contenido energético y de nutrientes. El agroecosistema tradicional de cultivo de arroz y cría de peces suministraba micronutrientes, proteínas y ácidos grasos

esenciales que revisten especial importancia en la alimentación de mujeres embarazadas y niños pequeños¹.

Durante los decenios de 1960 y 1970, los sistemas agrícolas tradicionales que combinaban la producción de arroz con la acuicultura empezaron a desaparecer, ya que las políticas en favor del cultivo de variedades modernas de arroz de alto rendimiento, y el corres-

pondiente aumento del uso de productos químicos agrícolas, transformaron la agricultura en Asia. A medida que las consecuencias sociales y ambientales se han ido haciendo más evidentes, se ha renovado el interés por la cría de peces en los campos de arroz^{2,3}.

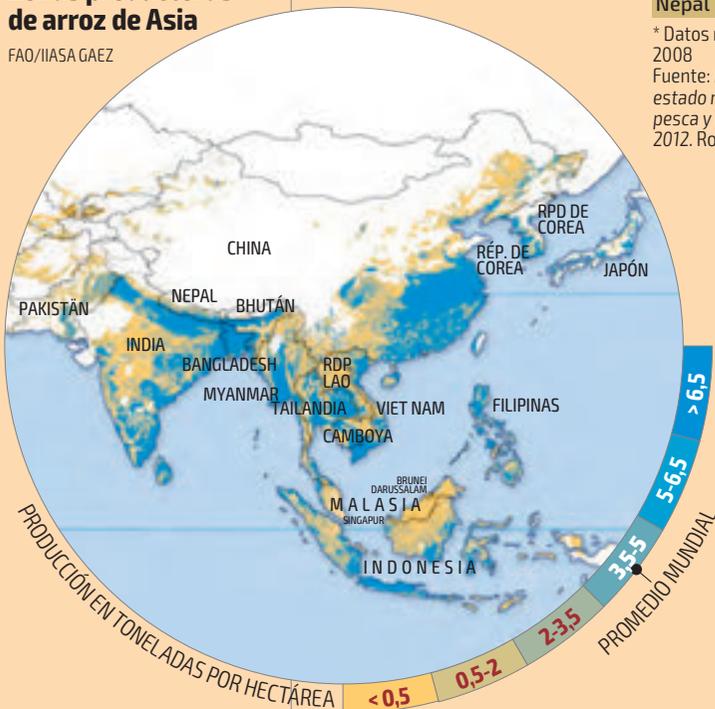
Existen dos sistemas de producción de arroz y peces principales. El más habitual es el cultivo simultáneo, en el que se crían peces y se cultiva arroz

en el mismo campo y al mismo tiempo; el cultivo de rotación, en el que se producen peces y arroz en momentos diferentes, es menos común. Pueden cultivarse tanto variedades de arroz modernas de corto plazo como tradicionales de largo plazo, y también pueden criarse casi todas las especies de peces de acuicultura de agua dulce importantes y varias especies de crustáceos^{2,4}.

En China, los productores de arroz crían peces en zanjas de hasta 100 cm de ancho y 80 cm de profundidad, que se cavan en torno a los arrozales y a través de estos y ocupan aproximadamen-

Zonas productoras de arroz de Asia

FAO/IIASA GAEZ

**Producción acuícola en arrozales, 2010**

(toneladas)

China	1 200 000
Indonesia	92 000
Tailandia	21 000*
Filipinas	150
Nepal	45

* Datos relativos a 2008

Fuente: FAO, 2012. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012*. Roma.



te un 20 % de la superficie del arrozal. Pantallas o redes de bambú impiden que los peces se escapen. Mientras que en los sistemas tradicionales de arroz y peces estos últimos se alimentan de malas hierbas y subproductos del procesamiento de cultivos, para la producción más intensiva suelen ser necesarios piensos comerciales. Con una buena gestión, un arrozal de una hectárea puede producir de 225 a 750 kg de pez de escama o crustáceos al año y mantener al mismo tiempo unos rendimientos del arroz de 7,5 a 9 toneladas⁵.

La combinación de diferentes especies de plantas y animales hace que los sistemas de cultivo de arroz y peces sean productivos y tengan gran riqueza nutricional. Igual importancia revisten las interacciones entre especies de plantas y animales, que mejoran la sostenibilidad de la producción. En estudios realizados en China se observó que la presencia de barrenador blanco del arroz era alrededor de un 50 % menos en los campos de cultivo combinado de arroz y peces. Una única carpa puede consumir hasta 1 000 caracoles dorados juveniles al día y la carpa herbívora se alimenta de un hongo que provoca el añublo de la vaina y el tallo².

Por lo general, es más fácil combatir las malas hierbas en los sistemas de

arroz y peces porque los niveles de agua son mayores que en los campos de cultivo de solo arroz. Los peces también pueden ser más eficaces para combatir las malas hierbas que los herbicidas o el deshierbe manual². Al utilizar peces para el manejo integrado de plagas, los sistemas de cultivo combinado de arroz y peces logran rendimientos comparables a los del monocultivo de arroz, o incluso mayores, en tanto que utilizan hasta un 68 % menos de plaguicidas. Ello protege la calidad del agua así como la biodiversidad⁶.

Las interacciones entre especies de plantas y animales en los campos de arroz y peces también mejoran la fertilidad del suelo. Los nutrientes en el pienso para peces se reciclan nuevamente en los campos a través de los excrementos y están disponibles de inmediato para el arroz. Informes de China, Filipinas e Indonesia señalan que el gasto en fertilizantes de los productores de arroz y peces es menor².

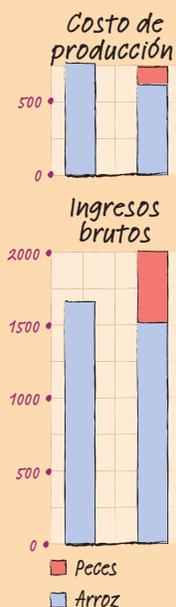
La cría de peces reduce la superficie disponible para la plantación de arroz. Sin embargo, el aumento de los rendimientos del arroz, los ingresos derivados de la venta de pescado y los ahorros en fertilizantes y plaguicidas dan lugar a una rentabilidad neta mayor que la del monocultivo de arroz |FIGURA 3.8². Los márgenes de beneficio pueden ser

Un arrozal de una hectárea produce hasta 750 kg de pescado y 9 toneladas de arroz al año



Los caracoles recolectados de los campos de arroz de Indonesia son un manjar local

Figura 3.8 Aspectos económicos del cultivo de arroz con acuicultura y el monocultivo de arroz, Indonesia (USD/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 15, pág. 50²

de más del 400 % para los productores de arroz que crían especies acuáticas de alto valor⁶.

La cría de peces en arrozales tiene beneficios para la salud en el ámbito comunitario. Los peces se alimentan de los vectores de enfermedades graves, en particular mosquitos que transmiten la malaria. En encuestas sobre el terreno realizadas en China se observó que la densidad de larvas de mosquito en los campos de cultivo combinado de arroz y peces era solo un tercio de la encontrada en los monocultivos de arroz. En una zona de Indonesia, la prevalencia de la malaria descendió del 16,5 % a casi cero después de que se integrara la producción de peces en los arrozales².

La combinación del cultivo de arroz y la acuicultura también hace un uso más eficiente del agua.

Sin embargo, la cría de peces en arrozales requiere en torno a un 26 % más de agua que el monocultivo de arroz². En zonas donde el suministro de agua es limitado, la introducción de sistemas de arroz y peces no está pues recomendada. No obstante, la FAO ha estimado que casi el 90 % del arroz mundial se planta en entornos que son adecuados para la cría de peces y otros organismos acuáticos⁶.

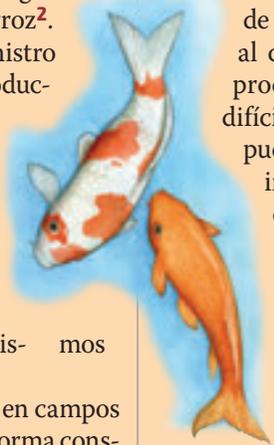
En China, la acuicultura en campos de arroz ha aumentado de forma constante durante los dos últimos decenios y la producción alcanzó los 1,2 millones de toneladas de peces y otros animales acuáticos en 2010⁶. Están abriéndose nuevas oportunidades para diversificar la producción en Indonesia, donde el caracol *tutut*, un elemento tradicional en la alimentación de las zonas rurales, se está convirtiendo en un saludable alimento solicitado por los consumidores de zonas urbanas⁴. El Gobierno de Indonesia está promo-

viendo el resurgir de la piscicultura en los arrozales y recientemente puso en marcha un “programa de cultivo combinado de arroz y peces en un millón de hectáreas”⁷.

Aunque hay datos convincentes de los beneficios sociales, económicos y ambientales de la acuicultura en los sistemas de cultivo de arroz, su tasa de adopción sigue siendo baja fuera de China. En otras partes de Asia, la superficie de producción de pescado y arroz corresponde a poco más de un 1 % de la superficie total de arroz de regadío. Curiosamente, la superficie de cultivo combinado de arroz y peces es proporcionalmente mayor fuera de Asia, esto es, en Madagascar, donde es casi del 12 %².

Existen muchos motivos para la marginación del cultivo combinado de arroz y peces, como por ejemplo la falta de conocimiento de sus beneficios, la disponibilidad de plaguicidas de bajo costo y el escaso acceso de los pequeños agricultores al crédito para invertir en la producción de pescado². Es difícil superar estos obstáculos, pues hay múltiples sectores involucrados en la formulación de las políticas.

El cultivo combinado de peces y arroz debe ser promovido por los responsables de la formulación de políticas y los agrónomos que reconocen las ventajas de integrar arroz y acuicultura, y pueden hacer llegar este mensaje a las comunidades productoras de arroz. Tal y como en su momento las estrategias de desarrollo agrícola fomentaron el monocultivo de arroz a gran escala, pueden ahora contribuir a sacar provecho del potencial de los sistemas intensivos, pero sostenibles, de producción de arroz y peces.



9 · Maíz y cultivo forestal **Africa austral**

El costo de los árboles es menor que el de los fertilizantes

Los árboles y arbustos de leguminosas proporcionan residuos de gran calidad y alto contenido en nitrógeno que mejoran la fertilidad del suelo y incrementan sus rendimientos.

Zona agroecológica
Tropical, de secano
Cereal principal Maíz
Otros cultivos y productos
Carne, leche, forraje, leña

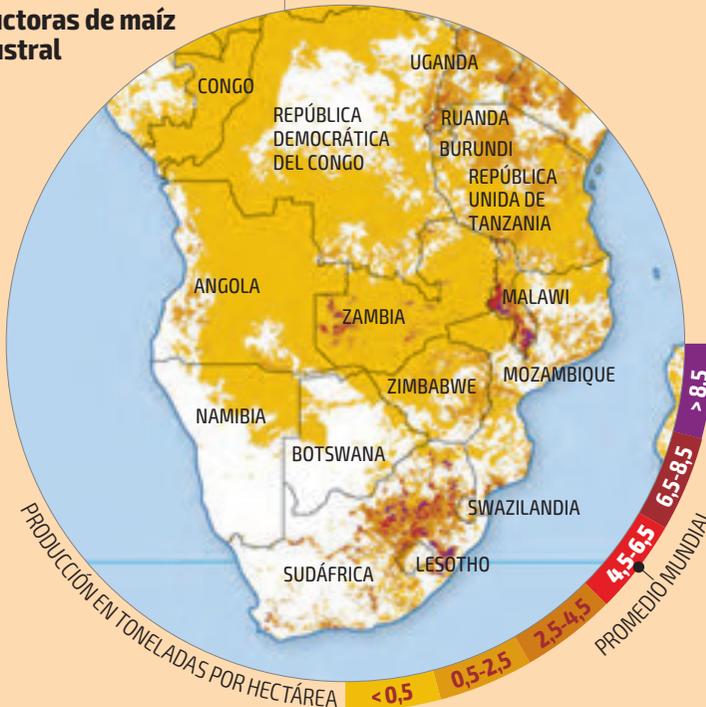
La seguridad alimentaria en Malawi y Zambia depende de la producción de maíz. Sin embargo, en ambos países, el promedio del rendimiento corresponde a unas escasas 1,2 toneladas por hectárea. Solo uno de cada cuatro agricultores en pequeña escala en Zambia y uno de cada cinco en Malawi cultivan suficiente maíz para vender en los mercados. Dado que la producción de maíz es casi totalmente de secano, este cultivo muestra una gran vulnerabilidad a las fluctuaciones de las precipitaciones y las temperaturas, y es probable que esa vulnerabilidad aumente a medida que cambie el clima. En Malawi, una sequía sufrida en 2004-05 hizo que los rendi-

mientos promedio del maíz se redujeran a solo 0,76 toneladas por hectárea, y cinco millones de malawianos, esto es, casi el 40 % de la población, necesitaron ayuda alimentaria¹.

Uno de los principales obstáculos que afrontan los agricultores para aumentar la producción de maíz es la baja fertilidad del suelo. Muchos productores de maíz no pueden permitirse comprar fertilizantes minerales ni obtener cantidades suficientes de fertilizantes orgánicos, como estiércol animal. Decenios de cultivo intensivo sin fertilización han agotado los nutrientes, en particular el nitrógeno, del suelo¹. Para abordar el problema, el Sindicato Nacional de Agricultores de

Zonas productoras de maíz del África austral

FAO/IIASA GAEZ



Los cinco principales productores de maíz, 2013

(millones de toneladas)

Sudáfrica	12,37
Rep. Unida de Tanzania	5,36
Malawi	3,64
Zambia	2,53
Mozambique	1,63

Fuente: FAOSTAT

Las hojas de *Faidherbia* que caen enriquecen el suelo con nitrógeno y materia orgánica

Zambia ha estudiado formas de integrar árboles fijadores del nitrógeno en los sistemas de producción de maíz². El candidato más prometedor parecía ser la *Faidherbia albida*, una especie de acacia africana, que tiene un hábito de crecimiento singular. Al inicio de la estación de las lluvias el árbol está inactivo y pierde sus hojas justo cuando se están asentando los cultivos en los campos; las hojas solo vuelven a crecer al final de la estación húmeda. El maíz puede sembrarse directamente bajo las copas sin hojas de la *Faidherbia*, ya que los árboles no compiten con el cultivo por la luz, los nutrientes o el agua mientras crece el maíz³.

Gracias a las hojas en descomposición, el suelo que se encuentra bajo los árboles contiene hasta el doble de materia orgánica y nitrógeno que el suelo fuera del dosel arbóreo. Se produce asimismo un notable aumento de la actividad microbiológica del suelo, y un incremento de la capacidad de retención de agua⁴.

En numerosos estudios se han observado aumentos del rendimiento en los casos en que el maíz se cultiva en asociación con *Faidherbia*, y esos aumentos tienden a ser mayores cuando la fertilidad del suelo es baja. En Zambia, el maíz plantado fuera de las copas de los árboles generaba un rendimiento medio de 1,9 toneladas por hectárea, frente a las 4,7 toneladas si el cultivo crecía bajo las copas [FIGURA 3.9]⁵; en Malawi, los rendimientos del maíz aumentaron entre un 100 % y un 400 % cuando el cultivo se plantó en combinación con *Faidherbia*¹.

Ambos países promueven la *Faidherbia* como parte de sistemas de AC que ofrecen a los pequeños agricultores una forma de aumentar la productividad del maíz y obtener mayores ingresos a partir de las ventas. Según las recomendaciones nacionales, han de plantarse 100 árboles por hectárea en cuadrículas de 10 m x 10 m¹.

La *Faidherbia* se planta actualmente en sistemas de maíz de AC que abarcan unas 300 000 hectáreas en Zambia. En Malawi, existen en torno a medio millón de explotaciones agrícolas con estos árboles. Los agricultores han podido asentar la mayoría de las formaciones de *Faidherbia* ayudando simplemente a la regeneración natural de plántones de árboles en sus tierras⁶.

Aunque la *Faidherbia* es una de las especies de acacia de crecimiento más rápido, no es una solución inmediata para la baja fertilidad del suelo. En una encuesta realizada a 300 agricultores de Zambia, un tercio señaló que los rendimientos aumentaron durante un período de uno a tres años, en tanto

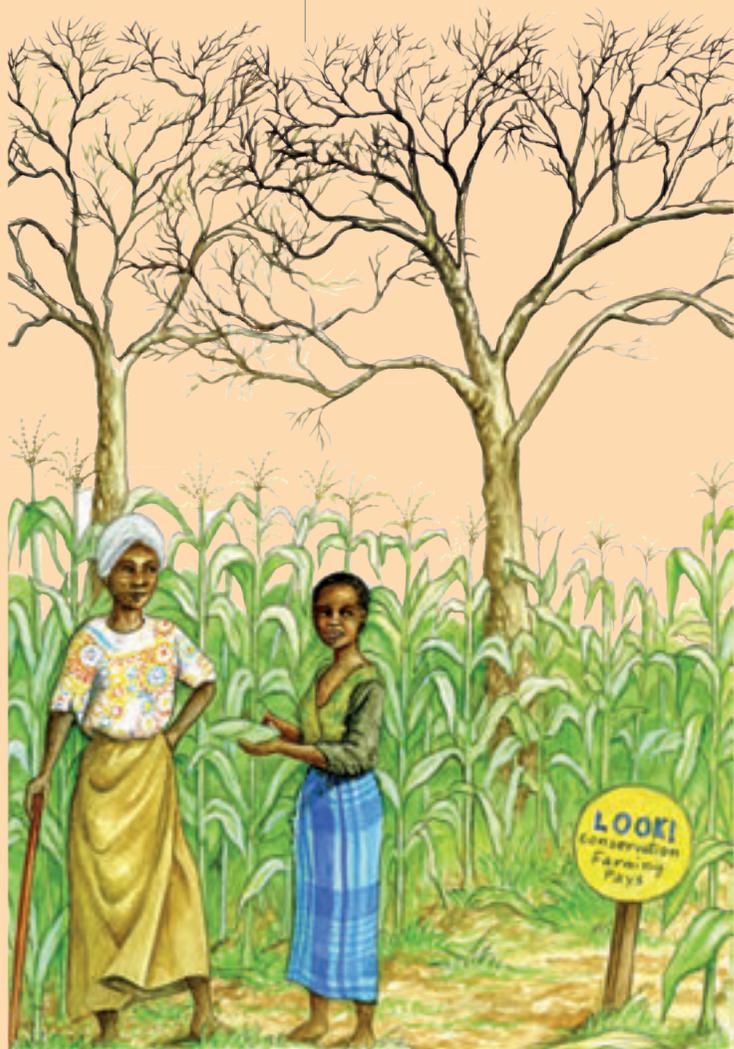
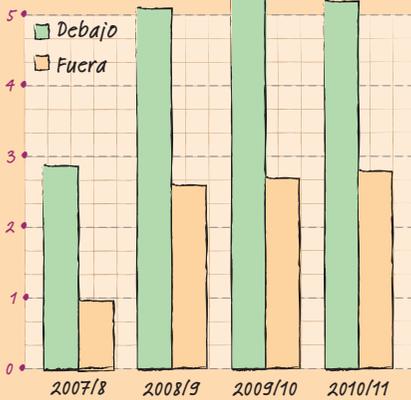


Figura 3.9 Rendimiento medio del maíz dentro y fuera de la cubierta arbórea de *Faidherbia albida* (t/ha)

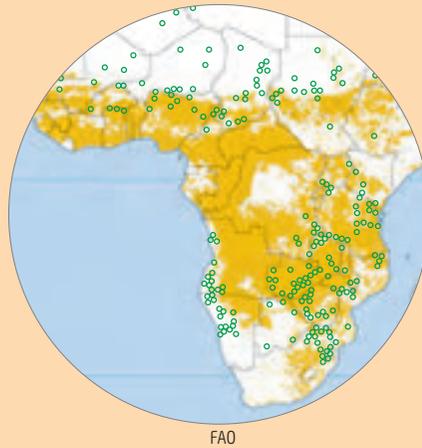


Fuente: Adaptado de la Figura 3, pág. 11⁵

que el 43 % manifestó que pasaron hasta seis años antes de observar beneficios en la producción⁶.

La plantación de árboles leguminosos regenerantes, como *Gliricidia sepium*, que tarda menos tiempo en asentarse, es otra forma de aumentar la producción de maíz de forma sostenible. En pequeñas parcelas en el sur de Malawi, el Centro Mundial de Agrosilvicultura está fomentando un sistema en el que los agricultores plantan *Gliricidia* en hileras en sus campos de maíz, los podan dos o tres veces al año y mezclan las hojas en el suelo. Las conclusiones de un estudio de diez años de duración indican que en parcelas sin fertilizar en las que la *Gliricidia* se planta de forma intercalada con el maíz, los rendimientos obtienen un promedio de 3,7 toneladas por hectárea y, en años de bonanza, llegan a alcanzar las cinco toneladas por hectárea. En parcelas sin fertilizar en las que no se plantó *Gliricidia*, los rendimientos medios fueron únicamente de 0,5 a 1,0 tonelada por hectárea¹.

En zonas en las que las fincas tienen un tamaño superior a una hectárea, el cultivo de arbustos leguminosos como *Sesbania sesban* en campos en



○ Distribución de *Faidherbia albida* en zonas productoras de maíz de África

barbecho constituye otra opción para revitalizar el suelo y aumentar los rendimientos del maíz. Los árboles y arbustos leguminosos añaden de 100 a 250 kg de nitrógeno por hectárea al suelo en campos que se dejan en barbecho durante dos o tres años. Aunque los campos no sean productivos dos de cada cinco años, la producción y la rentabilidad globales de la inversión son mayores cuando el maíz se cultiva en rotación con arbustos y árboles fijadores de nitrógeno¹.

En Zambia oriental, un estudio determinó que el beneficio promedio neto era de 130 USD por hectárea cuando los agricultores cultivaban maíz sin fertilizantes; 309 USD cuando se cultivaba en rotación con *Sesbania*; y 327 USD cuando se intercalaba con *Gliricidia*. Por cada unidad de inversión, los agricultores que integraron árboles con maíz obtuvieron rendimientos más altos que los que utilizaron fertilizantes minerales, subvencionados o no, para la producción continua de maíz⁷. En el estudio se confirmó que la producción de maíz en sistemas basados en la agroforestería es beneficiosa desde el punto de vista social y competitiva desde el punto de vista financiero, en comparación con la producción de maíz que solo utiliza fertilizantes minerales⁸.



El arbusto leguminoso *Sesbania sesban* revitaliza los suelos y mejora el rendimiento del maíz

La adopción de prácticas agroforestales ha ayudado a los pequeños agricultores

en África oriental y austral a superar un obstáculo para la adopción de la AC, a saber, la falta de residuos de las cosechas para mantener una cubierta del suelo constante. Puesto que la mayoría de pequeños productores africanos también cría ganado, suele utilizarse biomasa de residuos agrícolas como forraje animal. Al plantar árboles en sus explotaciones, disponen ahora de suficiente biomasa para cubrir las necesidades del ganado y mejorar los rendimientos del maíz.

Los árboles también proporcionan combustibles para los hogares rurales —en Zambia, los agricultores podían reunir 15 toneladas de leña por hectárea después del segundo año de barbecho con *Sesbania* y 21 toneladas después del tercero¹.

La agrosilvicultura mejora la estructura del suelo y la filtración de agua, lo que aumenta la resiliencia de las explotaciones agrícolas, sobre todo las que dependen de las precipitaciones, ante la sequía y los efectos del cambio climático. Además, puede desempeñar una importante función en la mitigación del cambio climático. La AC con árboles almacena de dos a cuatro toneladas de carbono por hectárea al año, frente a una cantidad de 0,2 a 0,4 toneladas en el caso de la AC sin árboles. Por otro lado, al aumentar la producción de maíz y el suministro de leña, los sistemas agrícolas que inte-

gran árboles con maíz pueden reducir la necesidad de convertir los bosques en tierras agrícolas, que supone una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero.

En países sahelianos, como Burkina Faso y el Níger, la agrosilvicultura ha demostrado mejorar los rendimientos de otros cereales, como el mijo y el sorgo. Con más investigación y mayor compromiso por parte de los agricultores, la AC con árboles podría ampliarse a una gama mucho más amplia de sistemas de cultivos alimentarios en toda África¹.

La agrosilvicultura no exige grandes inversiones financieras.

En realidad, los agricultores con bajos ingresos suelen adoptarla con más rapidez que los agricultores en mejor situación económica. Aunque se necesita más mano de obra durante el cambio inicial a un sistema combinado de cultivo de maíz y cultivo forestal, la mano de obra agrícola puede utilizarse de forma más eficiente una vez que los agricultores dominan las nuevas prácticas. Así todo, la incorporación de árboles a la producción agrícola es una actividad que requiere muchos conocimientos. El apoyo en materia de políticas, la investigación continuada y los servicios de asesoramiento rurales que involucran a pequeños agricultores son fundamentales para la ampliación a largo plazo de sistemas agrícolas que integran maíz, arbustos y árboles¹.

**LOS AGRICULTORES
CON BAJOS
INGRESOS SUELEN
ADOPTAR SISTEMAS
AGROFORESTALES
CON MAYOR
RAPIDEZ QUE LOS
AGRICULTORES EN
MEJOR SITUACIÓN
FINANCIERA**

10 · Trigo Asia central

Los agricultores dejan de arar en la estepa de Kazajstán

El cultivo sin labranza, la cobertura del suelo y la rotación de cultivos ayudarían a muchos países de la región a detener el deterioro de los suelos y producir más alimentos.

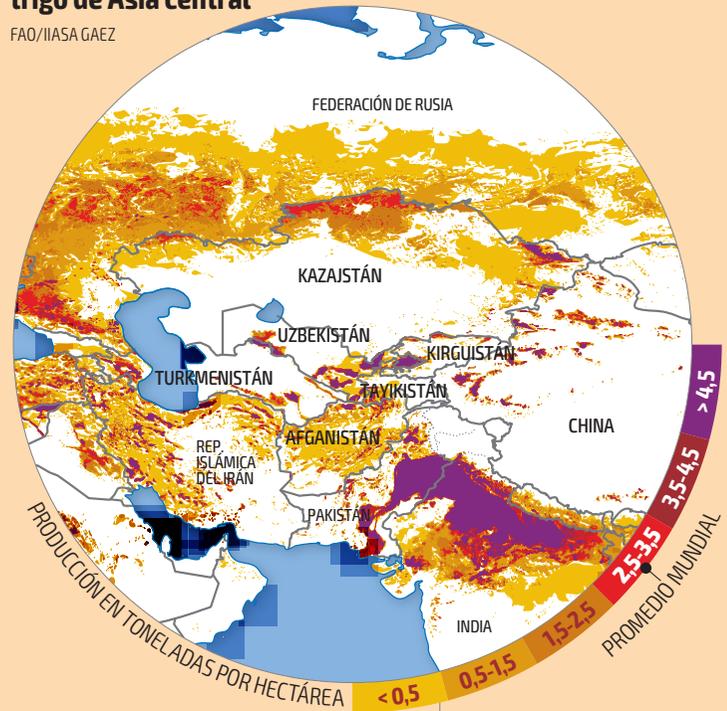
En la primavera de 2012, cuando los agricultores en las estepas semiáridas del norte de Kazajstán sembraban su cosecha anual de trigo, la región registró una de sus peores sequías. En muchas zonas, no se produjeron precipitaciones de abril a septiembre. Para empeorar las cosas, en verano las temperaturas diurnas aumentaron varios grados por encima de lo habitual¹. Ese año, muchos agricultores perdieron todos sus cultivos y la cosecha de trigo de Kazajstán, que había llegado a 23 millones de toneladas en 2011, se desplomó a menos de 10 millones de toneladas².

Sin embargo, hubo algunos agricultores que no perdieron sus cultivos. Se encontraban entre el número cada vez mayor de productores de trigo kazakos que habían adoptado plenamente una AC, en particular el cultivo sin labranza, la retención de residuos de las cosechas en la superficie del suelo y la rotación de cultivos¹. Esas prácticas han aumentado los niveles de carbono orgánico del suelo y han mejorado la estructura del suelo en sus campos, permitiendo una mejor infiltración y la conservación de la humedad capturada del derretimiento de las nieves del invierno³. Como resultado, algunos agricultores en la provincia de Kostanay obtuvieron rendimientos en 2012 de dos toneladas por hectárea, lo que supone casi el doble del promedio nacional de los últimos años¹.

En aproximadamente dos de los 19 millones de hectáreas de tierras agrícolas de Kazajstán se aplica una

Zonas productoras de trigo de Asia central

FAO/IIASA GAEZ



AC íntegra. En 9,3 millones de hectáreas, los agricultores han adoptado una labranza mínima, que utiliza arados de cincel estrecho a poca profundidad [FIGURA 3.10]^{4, 5}. La adopción generalizada de la AC en la zona de cultivo de trigo del norte de Kazajstán viene apremiada por la necesidad. Aunque el país tiene vastos recursos de tierras para la producción de trigo, y es uno de los principales productores y exportadores mundiales de trigo y harina de alta calidad⁶, el cultivo depende plenamente de las precipitaciones y, por consiguiente, es muy vulnerable a la pérdida de humedad del suelo¹.

Zona agroecológica
Templada continental, de
secano y alimentada por nieve

Cereal principal Trigo

Otros cultivos

Avena, trigo sarraceno,
sorgo, semillas oleaginosas,
leguminosas

Los cinco principales productores de trigo, 2013

(millones de toneladas)

Kazajstán	13,94
Uzbekistán	6,84
Afganistán	5,16
Turkmenistán	1,25
Tayikistán	0,92

Fuente: FAOSTAT

Figura 3.10 Cambios en la superficie agrícola según diferentes tecnologías de labranza en Kazajstán (millones de ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 2, pág. 4⁴

Los productores de trigo empezaron a reducir la labranza en el decenio de 1960 para hacer frente a las fuertes pérdidas de suelo debido a la erosión del viento. A finales del siglo XX, la labranza mínima era práctica común. En el año 2000, el CIMMYT y la FAO, junto con científicos y agricultores kazakos, pusieron en marcha un programa destinado a introducir la agricultura de conservación en zonas de secano y la plantación en lechos elevados de trigo con sistemas de riego en el sur del país⁷.

Ensayos realizados en el norte mostraron que la tierra sin labrar producía rendimientos del trigo un 25 % mayores a los de las tierras aradas, en tanto que los costos de mano de obra se reducían un 40 % y los gastos en combustible hacían lo propio en un 70 %. Los ensayos también demostraron las ventajas de cultivar avena en verano en lugar de dejar las tierras en barbecho. Con un cultivo de avena, la producción total de grano obtenida de la misma superficie de tierra aumentaba un 37 %, al tiempo que la erosión del suelo se reducía considerablemente⁷.

Hoy en día, Kazajstán figura entre los principales países del mundo que han adoptado el cultivo sin labranza. La superficie de tierra que ya no es objeto de labranza en absoluto aumentó de cero en el año 2000 a 1,4 millones de hectáreas en 2008⁸. Este aumento se atribuyó a las muy elevadas tasas de adopción en grandes explotaciones agrícolas de más de 50 000 hectáreas, en las que los administradores tratan de incrementar la producción y reducir al mismo tiempo los costos⁹. Sin embargo, este método se ha adoptado también en pequeñas y medianas explotaciones, una categoría que, en un país escasamente poblado como Kazajstán, abarca de 500 hectáreas a 2 500 hectáreas¹⁰. El índice de adopción ha sido particularmente elevado en explotaciones con ricos suelos negros,

en las que los elevados rendimientos proporcionan el capital necesario para invertir en maquinaria de AC⁷.

En las zonas sin labranza, suelen combatirse las malas hierbas con herbicidas¹¹. No obstante, muchos agricultores han observado que la combinación de la ausencia de labranza y una cobertura permanente del suelo contribuye también a eliminar las malas hierbas. Sin labranza, el almacén natural de semillas de maleza en el suelo disminuye con el tiempo y los residuos en descomposición liberan ácidos húmicos, que bloquean la germinación de estas semillas. Aunque la ausencia de labranza suele exigir un mayor uso de herbicidas en los primeros años de adopción, una vez transcurridos cuatro o cinco años la presencia de malas hierbas, así como el uso de herbicidas, disminuye considerablemente⁵.

Otra ventaja de conservar los residuos de las cosechas en el norte de Kazajstán es que aumenta la disponibilidad de agua para el cultivo de trigo. Las precipitaciones anuales van de 250 mm a 350 mm, y las nieves del invierno representan el 40 % de estas; cuando el viento arrastra la nieve, la superficie del suelo queda seca y al descubierto. La conservación de los rastrojos de cosechas previas de trigo atrapa la nieve que, con la llegada del buen tiempo, se derrite en el suelo. Ello conlleva dos beneficios, a saber, hay más humedad disponible a lo largo del perfil del suelo, y se reduce o incluso se elimina la erosión. En investigaciones llevadas a cabo en explotaciones agrícolas se ha observado que el uso de residuos para capturar la nieve, junto con la ausencia de labranza, puede aumentar los rendimientos un 58 %⁹.

Los avances en la adopción del tercer pilar de la AC, esto es, la diversidad de rotaciones de cultivos, que aumentaría la productividad de la tierra y ayudaría a los agricultores a manejar mejor las enfermedades y plagas del trigo, han llevado un ritmo más lento. El período



vegetativo en las estepas del norte en verano es corto, con una alta frecuencia de años secos¹².

Sin embargo, las zonas de barbecho tradicional en verano están disminuyendo, ya que los agricultores aprovechan el agua disponible de la lluvia, en ocasiones abundante, para plantar avena, girasol y nabina⁷. Hay estudios que demuestran el potencial de otros cultivos de rotación, como son por ejemplo el guisante forrajero, la lenteja, el trigo sarraceno y el lino¹³.

En un estudio de tres años se determinó que el sorgo forrajero sembrado a finales de mayo y cosechado en agosto no solo proporcionaba forraje para la venta o el ensilado, sino que también dejaba rastrojos duraderos que resultaban muy eficaces para atrapar la preciada nieve de invierno⁹.

La adopción de la AC en Kazajstán ha permitido aumentar la producción de trigo anual casi 2 millones de toneladas, lo que supone una cantidad suficiente para alimentar a unos cinco millones de personas¹⁰. Serán posibles nuevos aumentos si se obtienen variedades de trigo de alto rendimiento mejor adaptadas al cultivo sin labranza y a los duros inviernos del norte y las temperaturas cada vez más altas del

verano. Está estudiándose esa posibilidad a través de un programa con el CIMMYT, que cruza en México variedades de trigo locales de Kazajstán con cultivares del Canadá, los Estados Unidos y México⁴.

La agricultura de conservación se considera muy adecuada para todos los principales sistemas agrícolas de Asia central, desde las zonas productoras de trigo del norte de Kazajstán hasta los campos de trigo, arroz y algodón de regadío de Tayikistán y Uzbekistán. Mediante la reducción de la erosión y la generación de suelos sanos, ayudaría a combatir la desertificación y la degradación de la tierra que supone un costo estimado para los países de Asia central de 2 500 millones de dólares anuales. Al optimizar la eficiencia en el uso del agua, podría resultar especialmente beneficiosa en zonas de regadío, ya que la salinización, provocada sobre todo por el uso excesivo de riego, afecta al 11 % de las tierras de regadío en la República Kirguisa, el 50 % en Uzbekistán y el 96 % en Turkmenistán¹⁴.

En los últimos años, agricultores de toda la región han obtenido información sobre la AC y en sus campos empiezan a aplicarse algunas prácticas de

Kazajstán es uno de los principales productores y exportadores mundiales de trigo y harina de alta calidad

EL CULTIVO SIN LABRANZA Y LOS RESIDUOS DE LAS COSECHAS QUE CAPTURAN LA NIEVE DEL INVIERNO PUEDEN AUMENTAR LOS RENDIMIENTOS DEL TRIGO UN 58 %

Los productores de trigo de Kazajstán han invertido 200 millones de USD en equipos de cultivo sin labranza



LA MAYORÍA DE PAÍSES DE ASIA CENTRAL SIGUE SIN CONTAR CON POLÍTICAS QUE FOMENTEN LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

este tipo de agricultura. En Uzbekistán, por ejemplo, se planta trigo de invierno en cultivos en pie de algodón en unas 600 000 hectáreas. En Tayikistán, la siembra directa de trigo de invierno después de la cosecha de algodón, con una alteración mínima del suelo, se utiliza en unas 50 000 hectáreas⁵. Los ensayos realizados recientemente en un proyecto de la FAO en Azerbaiyán convencieron a pequeños agricultores para adoptar sistemas de AC en 1 800 hectáreas de tierras de regadío¹⁵.

Sin embargo, la adopción íntegra de este tipo de agricultura sigue siendo escasa fuera del norte de Kazajstán. Incluso en el sur de Kazajstán, la adopción del cultivo de trigo sin labranza, en lechos elevados y con riego se ve limitada por la falta de equipos de siembra adecuados y la carencia general de conocimientos de los agricultores acerca de las tecnologías de la AC. En la mayoría de países de Asia central no hay políticas que fomenten la AC. Al contrario, los agricultores suelen tener poco interés en adoptar prácticas de ahorro de agua, pues no pagan por el agua para riego³. En algunos países hay incluso regulaciones de la labranza que impiden a los agricultores dejar residuos de las cosechas en los campos⁵. Aunque las sembradoras en líneas se han probado con resultado satisfactorio en Uzbekistán, no están disponibles en el mercado¹¹.

Una transición a la agricultura de conservación en Asia central debería empezar por aumentar la concienciación sobre sus ventajas entre todas las partes interesadas, en particular los agricultores, los investigadores, los agentes de extensión agraria y los responsables de la formulación de políticas¹⁴. Los gobiernos pueden apoyar la transición facilitando el desarrollo de medios locales para fabricar equipos de AC, en particular sembradoras en líneas que se adapten a las condiciones locales del clima y el suelo¹⁵.

Muchos gobiernos podrían aprender del ejemplo de Kazajstán, donde las políticas estatales fomentan la AC y la principal prioridad en investigación agrícola es el desarrollo y difusión de tecnologías de ahorro de agua. En 2011, Kazajstán introdujo subvenciones para equipos de AC que triplicaban o cuadruplicaban las concedidas para tecnologías convencionales³. El apoyo gubernamental ha animado a los agricultores del norte de Kazajstán a invertir unos 200 millones de USD para equipar sus explotaciones con maquinaria de cultivo sin labranza¹⁶.

11 · Arroz y maíz Asia

Las variedades híbridas contribuyen a la adaptación al cambio climático

Muchos productores de arroz han optado por cultivar maíz durante la estación seca, utilizando variedades híbridas que reducen el consumo de agua y generan ingresos más altos. Primer plano: Bangladesh.

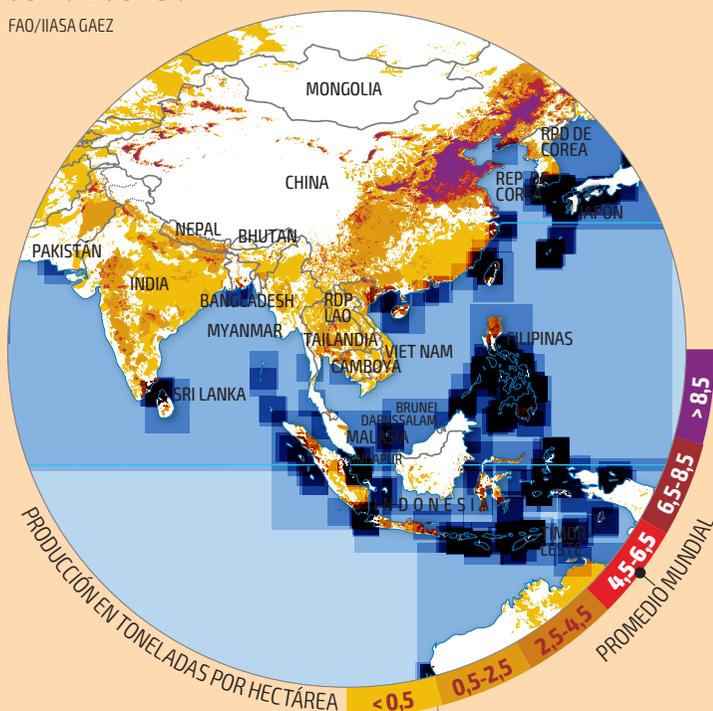
Tradicionalmente, muchos productores de arroz de Asia han mantenido la producción durante todo el año cultivando trigo o arroz en la estación seca de invierno, después de la cosecha de arroz de la estación de los monzones. En los dos últimos decenios, sin embargo, los sistemas de cultivo arroz-maíz se han extendido con rapidez por toda Asia, impulsados por una fuerte demanda de maíz y la obtención de variedades híbridas de este cereal aptas para zonas sin agua suficiente para el cultivo continuo de arroz¹.

En el último recuento, los sistemas de cultivo arroz-maíz se emplearon en más de 3,3 millones de hectáreas de terreno en Asia y las mayores zonas productoras se encontraban en Indonesia (1,5 millones de ha), la India (0,5 millones) y Nepal (0,4 millones). La ampliación reciente de la superficie cultivada con arroz y maíz en rotación ha sido más rápida en Bangladesh, donde los agricultores comenzaron a cultivar maíz para venderlo como pienso a la pujante industria avícola del país. De 2000 a 2013, la producción de maíz aumentó de solo 10 000 toneladas a 2,2 millones de toneladas y la superficie cosechada de 5 000 hectáreas a 320 000 hectáreas^{1,2}.

El maíz se da bien en los fértiles suelos aluviales de Bangladesh y los rendimientos en la zona figuran entre los más altos de la región. Este cultivo se siembra al comienzo de la fría temporada *Rabi*, que va de noviembre a abril, tras cosechar el arroz cultivado duran-

Zonas productoras de maíz de Asia

FAO/IIASA GAEZ



te la estación de los monzones (*Aman*), de julio a diciembre. Aunque el maíz de temporada *Rabi* se produce por lo general como cultivo único, muchos agricultores han comenzado a cultivarlo de forma intercalada con patatas y con hortalizas de maduración temprana, como por ejemplo el amaranto rojo, la espinaca, el rábano, el cilantro y la judía con hilo. Los guisantes también se cultivan de forma intercalada con el maíz, ya que no compiten por la luz solar, los nutrientes o el espacio³.

Los agricultores suelen utilizar maíz híbrido de alto rendimiento, para el

Zona agroecológica

De secano en período de monzones y de regadío en invierno

Cereales principales

Arroz, maíz

Otros cultivos y productos

Hortalizas, patatas, leguminosas, carne, huevos

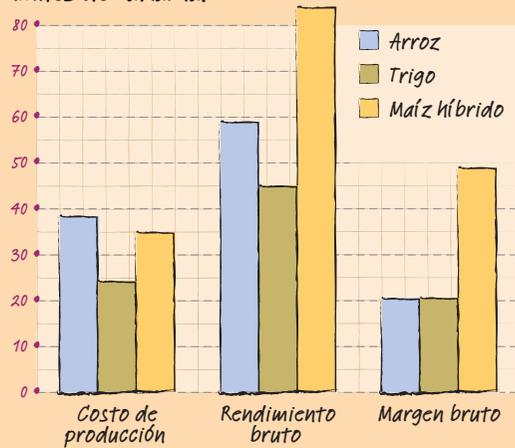
Los cinco principales productores de maíz, 2013

(millones de toneladas)

China	217,7
India	23,3
Indonesia	18,5
Filipinas	7,4
Viet Nam	5,2

Fuente: FAOSTAT

Figura 3.11 Aspectos económicos de la producción de arroz, trigo y maíz híbrido en la estación seca en Bangladesh (miles de Taka/ha)



Fuente: Adaptado del Cuadro 2, pág. 41³

cual se necesitan importantes aportaciones de nutrientes. El costo de la producción de maíz es realmente mayor que el de otros cereales de invierno tradicionales y, en consecuencia, los agricultores más pobres suelen plantar maíz solo en pequeñas superficies de tierra. Sin embargo, el margen bruto de las ventas de maíz, por hectárea, es 2,4 veces mayor que el del trigo o el arroz [FIGURA 3.11]. El maíz tiene asimismo menos problemas relacionados con las plagas y las enfermedades³.

La diversificación al maíz podría ser también una buena estrategia de adaptación al cambio climático, pues el maíz es más tolerante a las altas temperaturas, que suponen un problema cada vez mayor para el trigo, y consume menos agua —en Bangladesh, 850 litros de agua producen un kilogramo de grano de maíz, frente a los 1 000 litros por kg de trigo y los más de 3 000 litros para la misma cantidad de arroz. Al disminuir la extracción de aguas subterráneas para riego, la producción de maíz también ayuda a reducir la contaminación por arsénico del suelo, un grave problema en muchas zonas de Bangladesh³.

Los agricultores y agrónomos en Bangladesh han señalado que los rendimientos del grano tienden a disminuir en campos en los que el maíz se ha producido como cultivo de estación seca durante cinco años o más. Para garantizar la sostenibilidad de los sistemas arroz-maíz, los agricultores deben calcular de forma minuciosa el momento de plantación y cosecha de cada cultivo, mejorar sus prácticas de gestión del suelo y el agua, y utilizar semillas de calidad³.

Las necesidades del arroz y el maíz en cuanto a los suelos son muy diferentes, lo que hace difícil establecer los tiempos de plantación del maíz. El arroz Aman trasplantado suele cultivarse en suelos arcillosos húmedos, bien anega-

LOS LECHOS ELEVADOS SIN LABRAR PRODUCEN RENDIMIENTOS MÁS ALTOS DEL ARROZ Y EL MAÍZ QUE LAS TIERRAS LABRADAS



dos, mientras que el maíz crece mejor en suelos limosos bien aireados³. Por tanto, después de la cosecha de arroz, la preparación convencional de los campos para el cultivo de maíz suele requerir de tres a cinco pasadas con un cultivador rotativo en la parte trasera de un motocultor. La labranza exige una inversión considerable de tiempo, combustible y mano de obra, y los agricultores tienen que esperar hasta tres semanas antes de que los arrozales estén lo suficientemente secos para labrarse⁴. La plantación tardía de maíz puede, a su vez, reducir los rendimientos hasta un 22 %³.

Las prácticas de AC están disminuyendo la necesidad de labranza y, con ello, las demoras en la plantación de maíz. Plantar arroz y maíz en lechos



■ Zonas que se determinan adecuadas para la producción de maíz en Bangladesh



permanentes sin labrar, utilizando paja como cubierta vegetal, ha generado rendimientos del grano más altos, con un uso menor de insumos, que los cultivos sembrados en terrenos labrados. El aumento de la productividad se ha atribuido al incremento de los niveles de nitrógeno del suelo y a las condiciones generalmente mejores de este último. En la India, las investigaciones demostraron que los lechos permanentes no solo producían mayores rendimientos que los terrenos labrados, sino que lo hacían utilizando hasta un 38 % menos de agua para riego⁴. En Bangladesh, el ahorro de agua es fundamental durante los meses de sequía de febrero a mayo, cuando los pozos entubados suelen estar secos³.

El Instituto de Investigaciones Agrícolas de Bangladesh y el CIMMYT han adaptado y fomentado las cosechadoras en líneas desarrolladas originalmente para el trigo, de manera que puedan usarse para sembrar maíz y arroz sin labranza. En el noroeste de Bangladesh, los agricultores que utilizaron estas sembradoras obtuvieron rendimientos del arroz similares a los del arroz trasplantado, pero con menor

LA CAPACITACIÓN DE LOS AGRICULTORES ES FUNDAMENTAL PARA LA ADOPCIÓN RÁPIDA Y GENERALIZADA DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE MAÍZ

uso de agua y mano de obra, y pudieron recoger la cosecha dos semanas antes³.

En un estudio llevado a cabo en Bangladesh se comparó los rendimientos y la rentabilidad del cultivo con labranza y sin labranza. Con la plantación de maíz en lechos permanentes, la productividad combinada de arroz y maíz era de 13,8 toneladas por hectárea, frente a las 12,5 toneladas de los terrenos labrados. El costo anual de la producción de arroz-maíz en lechos permanentes ascendía a 1 532 USD por hectárea, frente a los 1 684 USD del cultivo con labranza convencional⁴.

El maíz híbrido exige grandes cantidades de nitrógeno para obtener altos rendimientos. Pero las reservas de gas natural de Bangladesh, que se utiliza para producir fertilizantes de urea, son limitadas y no renovables. Una solución alentadora para el agotamiento de nutrientes del suelo es la aplicación de estiércol de ave, que está resultando abundante, pues en la actualidad el sector avícola de Bangladesh genera en torno a 1,6 millones de toneladas de estiércol al año³.

Se han obtenido buenos rendimientos del maíz al sustituir por estiércol de ave el 25 % del fertilizante mineral que se aplica normalmente. El nitrógeno del suelo también puede reponerse parcialmente mediante el cultivo de leguminosas, tales como el frijol mungo, después de la cosecha de maíz³. En climas monzónicos tropicales, el cultivo de frijol mungo de verano absorbe también el nitrógeno residual e impide la contaminación por nitratos de los acuíferos⁵.

La plantación de variedades de arroz de corta duración permitiría a los agricultores plantar el maíz antes. Sin embargo, esas variedades de arroz generan menos rendimientos y los agricultores, por lo general, no están dispuestos a sacrificar la producción de su principal cultivo alimentario. El Instituto de Investigación sobre el

Arroz de Bangladesh está pues desarrollando variedades de arroz *Aman* de mayor rendimiento y menor duración. El futuro del cultivo sostenible de arroz y maíz en Asia meridional depende asimismo de la obtención de variedades híbridas de maíz de alto rendimiento que maduren rápidamente y toleren tanto el anegamiento como la sequía³.

El cultivo de maíz en Bangladesh sigue siendo un territorio nuevo para muchos agricultores y les llevará tiempo integrarlo plenamente en sistemas agrícolas que optimicen la producción y mejoren la salud de los suelos. Para la adopción rápida y generalizada de la producción sostenible de maíz es fundamental capacitar a los agricultores acerca del calendario preciso de siembra y una gestión más eficaz del riego y los fertilizantes minerales^{6,7}.

La producción interna de maíz ha disminuido la dependencia de Bangladesh con respecto a las importaciones. El cambio hacia el maíz ha proporcionado asimismo a los agricultores una forma de diversificar sus ingresos y su alimentación. Muchos agricultores no venden toda su cosecha de maíz, pues con él alimentan algunas de sus aves para la venta de huevos y carne en los mercados locales. El maíz se utiliza cada vez más para consumo humano, y no solo como pienso para aves de corral. Puesto que el precio de la harina de trigo ha aumentado, muchas familias están mezclando harina de maíz en sus chapatis⁸.



Capítulo 4

El camino por recorrer

*La adopción del modelo “Ahorrar para crecer”
por parte de los pequeños agricultores exige la aplicación
de medidas concertadas en todos los niveles, con la participación
de gobiernos, organizaciones internacionales,
el sector privado y la sociedad civil.*

Los perfiles del modelo “Ahorrar para crecer” en la práctica, presentados en el Capítulo 3, han demostrado de qué forma los sistemas agrícolas integrados de conservación de los recursos, al adaptarse a contextos específicos agroecológicos y socioeconómicos, generan importantes beneficios sociales, económicos y ambientales. Los pequeños agricultores han aumentado la producción de cereales y su productividad y han mejorado sus medios de vida e ingresos, al tiempo que han conservado los recursos naturales, han mejorado los servicios ecosistémicos y se han adaptado al cambio climático y han mitigado sus efectos. Los sistemas agrícolas del modelo “Ahorrar para crecer” suelen ser más eficaces en condiciones agrícolas difíciles de escasez de agua, agotamiento de los nutrientes del suelo y fenómenos climáticos extremos.

Actualmente, el alcance de la intensificación de la producción agrícola sostenible debe aumentarse con urgencia, a través del modelo “Ahorrar para crecer”, a fin de afrontar la “confluencia de presiones sin precedentes” que amenaza el medio ambiente, el desarrollo socioeconómico y la seguridad alimentaria a largo plazo en el mundo.

Hoy en día, casi 800 millones de personas padecen hambre crónica¹ y 2 000 millones sufren carencia de micronutrientes². Las actividades agrícolas están agotando los mismos recursos naturales de los que dependen nuestros sistemas alimentarios. A nivel mundial, un tercio de todas las tierras agrícolas sufre un deterioro de moderado a grave por la pérdida de materia orgánica, la tala de bosques, el agotamiento de nutrientes y la erosión³. La parte de las extracciones de agua dulce mundiales que se destina a la agricultura afronta una intensa competencia pues, en 2025, dos terceras partes de la población mundial podrían vivir en condiciones de estrés por falta de agua⁴. Aproximadamente un 75 % de la biodiversidad de los cultivos se ha perdido y el resto está en peligro, mientras que la base genética cada vez más reducida de las principales variedades de cultivos los expone a los efectos del cambio climático⁵.

La “confluencia de presiones” no se considera uniforme. En algunos países y comunidades parece ser más acentuada que en otros, y es particularmente así en las zonas rurales de países en desarrollo, donde vive al menos el 70 % de la población muy pobre del mundo⁶. La pobreza en sí ha demostrado ser una de las principales causas del deterioro de los recursos naturales. La distribución de tierras aptas para el cultivo también es poco favorable para los países que tienen la mayor necesidad de aumentar la producción³.

El reto al que nos enfrentamos es satisfacer la demanda actual de la cantidad más elevada de alimentos y otros productos agrícolas de la historia y hacerlo de modo tal que conserve los recursos naturales y no ponga en peligro la capacidad de futuras generaciones de atender sus propias necesidades. Está en juego no solo la seguridad alimentaria mundial, sino también las perspectivas de la paz y la estabilidad mundiales.

La transición hacia la sostenibilidad, a fin de garantizar la seguridad alimentaria mundial, proporcionar oportunidades económicas y sociales, reducir el ritmo del cambio climático y proteger los recursos naturales y los servicios ecosistémicos, requiere cambios fundamentales en la gobernanza de la alimentación y la agricultura⁷. Es necesario hallar un equilibrio entre las necesidades tanto de los sistemas humanos como naturales, entre los múltiples objetivos de la agricultura y entre la agricultura y otros sectores.

Ello requiere, a su vez, una evaluación realista de los costos íntegros de afrontar las transiciones, incluida la necesidad de crear instituciones y políticas propicias. También requiere una cuidadosa selección de los sistemas agrícolas integrados que se adapten a las condiciones específicas de cada lugar. La consecución de la sostenibilidad depende de un entorno normativo, jurídico e institucional propicio que establezca el justo equilibrio entre las iniciativas de los sectores público y privado, y garantice la rendición de cuentas, la equidad, la transparencia y el estado de derecho⁸.

Algunas enseñanzas aprendidas

Se examinan primeramente algunas de las “enseñanzas aprendidas” de los sistemas agrícolas “Ahorrar para crecer” presentados en el *Capítulo 3*. El objetivo es determinar los agentes, y las medidas normativas e institucionales, que hicieron posible y sustentaron la adopción de la producción de cereales basada en los ecosistemas, así como los obstáculos que han impedido avanzar.

Las organizaciones nacionales e internacionales han desempeñado un importante papel en el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles. Por ejemplo, la FAO fomentó la introducción de la AC en Kazajstán y respaldó la capacitación de agricultores en cuanto al Sistema de intensificación del arroz (SIA) en Viet Nam. La AC en las llanuras indogangéticas ha contado con el apoyo de un programa ecorregional del CGIAR e institutos de investigación nacionales en cuatro países. Asociaciones similares a largo plazo han proporcionado financiación, investigación y asesoramiento técnico para el desarrollo de sistemas agroforestales del maíz en África meridional y América central.

Los agricultores y las organizaciones de agricultores han estado a menudo a la cabeza de la innovación en la producción basada en los ecosistemas. En Honduras, los pequeños agricultores han promovido la producción de maíz de “corta y abono orgánico”, que desde entonces se ha adoptado en países vecinos. Los agricultores han introducido prácticas de AC, como el cultivo sin labranza, en el SIA. En la India, adaptaron al trigo una herramienta de manejo del nitrógeno desarrollada inicialmente para el arroz, en tanto que agricultores de Kenya han adaptado el sistema de “atracción-repulsión” de manejo integrado de plagas para cultivar frijoles y proporcionar alimento al ganado.

El apoyo de los gobiernos, en todos los niveles, ha sido fundamental para ampliar el alcance de las iniciativas de producción agrícola. Kazajstán ha sido uno de los principales países del mundo que ha adoptado el cultivo sin labranza gracias a una política nacional que fomenta la AC. Con el apoyo de la FAO, el Gobierno de Indonesia ha puesto en marcha un “programa para el cultivo de arroz y peces en un millón de hectáreas”, que contribuirá de forma importante a la nutrición y el desarrollo rural. Los gobiernos estatales han financiado la difusión de sistemas de cultivo de maíz sin labranza en el Brasil y han prestado apoyo para el suministro de equipos de cultivo sin labranza para el trigo en la India.

El sector privado ha sido un facilitador clave de una agricultura más sostenible y productiva en algunos países. En la India, empresas locales fabrican cosechadoras para el cultivo sin labranza y contratistas privados prestan servicios de nivelación de terrenos por láser. En Kazajstán, comerciantes de maquinaria agrícola suministran de forma inmediata equipos de AC, tales como cosechadoras arrastradas por tractor. Las asociaciones entre los sectores público y privado están mejorando el suministro de semillas en el Brasil, China y la India.

Al mismo tiempo, se han determinado obstáculos para la adopción de la intensificación sostenible de la producción agrícola. Aunque la AC ayudaría a aumentar la producción de cereales en Asia central, la mayoría de gobiernos de la región no tiene políticas que la fomenten, no se dispone por lo general de equipos adecuados y los agricultores tienen pocos incentivos para mejorar la productividad del agua.

A pesar del efecto positivo del MIP de “atracción-repulsión” en la producción, los ingresos y la sostenibilidad en África oriental, su adopción se ve obstaculizada por una tenencia insegura de la tierra que desanima a los agricultores a realizar inversiones. La introducción de cultivos de leguminosas mejoraría el rendimiento del maíz y la salud de los suelos en el África subsahariana, pero los agricultores carecen de acceso a las semillas y a mercados rentables para sus productos.

Muchos gobiernos siguen subvencionando el precio de los plaguicidas y los fertilizantes minerales, inclinando la ventaja económica comparativa en contra de sistemas más sostenibles, tales como la producción integrada de acuicultura y cultivo de arroz, que utiliza peces para eliminar las malas hierbas y las plagas de insectos, y sistemas de cultivo combinado de cereales y leguminosas, que aprovechan fuentes naturales de nitrógeno. En general, el sector privado no ha invertido suficiente en el desarrollo de tecnologías sostenibles y, en muchos casos, se ha opuesto activamente a medidas de fomento del manejo integrado de plagas.

Una condición previa importante para la adopción de prácticas dirigidas a “ahorrar para crecer” es su adaptación a condiciones agroecológicas y socioeconómicas específicas, incluida la disponibilidad de mano de obra. Los costos de mano de obra, por ejemplo, han resultado ser un factor que limita la adopción más amplia del SIA en algunas zonas.

Otro obstáculo importante es el tiempo necesario para concretar los beneficios de cambiar a prácticas de producción sostenibles y restaurar servicios ecosistémicos. En Kazajstán, los problemas de malas hierbas en los campos de trigo disminuyen en un plazo de cuatro a cinco años después de la adopción del cultivo sin labranza y la retención de residuos de las cosechas. En Zambia, los agricultores necesitaron seis años para percibir los beneficios de producción del cultivo de maíz con *Faidherbia albida*. Ello hace patente la necesidad de un compromiso institucional firme, que incluya entre otras cosas la financiación, en apoyo de la transición al modelo de “Ahorrar para crecer”, por un cierto período^{9,10}.

Diez recomendaciones para llevar a cabo la transición al modelo “Ahorrar para crecer”

Tomando como base las enseñanzas adquiridas de los sistemas agrícolas dirigidos a “Ahorrar para crecer” que se presentan en el Capítulo 3, y otros enfoques basados en los ecosistemas que se están aplicando en el mundo en desarrollo, se recomiendan las siguientes 10 medidas para que los países las tengan en consideración al llevar a cabo la transición a una intensificación sostenible de la producción de maíz, arroz y trigo.

1 Fomentar el modelo “Ahorrar para crecer” en la transformación estructural

Un reto fundamental para los responsables de la formulación de políticas al gestionar la transición a una agricultura sostenible, y la transformación estructural más amplia de las economías y sociedades, es el establecimiento y fortalecimiento de instituciones y asociaciones y la armonización de sus acciones. Se necesita un marco de políticas multisectoriales que contemple la agricultura y el crecimiento agrícola dentro del contexto de la gestión de los recursos naturales, las políticas de urbanización, los modelos de inversión pública, la reducción del desperdicio de alimentos, un cambio a regímenes alimenticios más sostenibles y la creación de empleo fuera de las explotaciones agrícolas en zonas rurales.

En esta visión de la sostenibilidad, el modelo “Ahorrar para crecer” se convierte en parte de la transición mundial hacia las “economías verdes”, que tienen por objeto mejorar el bienestar de las personas y la igualdad social, y reducir al mismo tiempo de forma significativa los riesgos ambientales, las escaseces ecológicas y el ritmo del cambio climático. Se prevé que la adopción de un enfoque ecológico en la agricultura aumente los rendimientos y los ingresos de los agricultores, mientras se crean sinergias y efectos adicionales positivos en esferas sociales, económicas y ambientales, tales como la mejora de la nutrición, la reducción de la dependencia de las importaciones de alimentos y la disminución de la contaminación ambiental¹¹. Un enfoque así requerirá cooperación e integración entre los ministerios públicos a fin de garantizar la compatibilidad de las políticas y programas sectoriales^{12, 13}.

En muchos países en desarrollo, las instituciones necesarias para la transición al modelo “Ahorrar para crecer”, en los ámbitos de la educación agrícola, la investigación, la extensión, la formulación de políticas y la producción y certificación de semillas, son deficientes o no existen. Estas instituciones deben crearse o fortalecerse. En la mayoría de países, los ministerios e instituciones nacionales no suelen coordinar medidas que incidan en la sostenibilidad y productividad agrícolas. De hecho, con frecuencia promueven políticas y medidas contradictorias.

Los ministerios cruciales para la promoción de la producción de cultivos sostenibles, tales como los de agricultura, ganadería, medio ambiente, recursos naturales, sector forestal, pesca, elaboración y comercialización de alimentos y trabajo, deben alinear sus estrategias y medidas para obtener los máximos beneficios y efectos. Los responsables de la formulación de políticas deben asimismo desarrollar y fortalecer la capacidad de analizar y compensar los desequilibrios entre sectores agrícolas, y en muchos casos dentro del subsector de cultivos.

Muchos órganos no gubernamentales también participan en la producción, elaboración y comercialización de cereales. Las organizaciones de la sociedad civil (Osc) representan un abanico de partes interesadas, en particular agricultores, trabajadores agrícolas, personas sin tierras, mujeres, jóvenes y pueblos indígenas. Llegan a los grupos más vulnerables de la sociedad e incorporan sus preocupaciones al diálogo sobre políticas y la formulación de programas y proyectos. Las Osc, incluidos los movimientos sociales de pequeños agricultores, han logrado establecer un diálogo con los gobiernos y otros agentes a nivel regional y mundial, y han contribuido al desarrollo de nuevos modelos de gobernanza. Deberían tomar parte en los diálogos nacionales de múltiples partes interesadas y participar plenamente en la planificación y aplicación de las políticas públicas.

El sector privado, incluidas las organizaciones de agricultores, pequeñas y medianas empresas, compañías internacionales y fundaciones privadas, es también un importante asociado. Dado que la agricultura es una actividad básica de empresa privada, el sector puede apoyar iniciativas de agricultura en pequeña escala y contribuir a garantizar la seguridad alimentaria a través de inversiones responsables y productivas y la creación de empleo.

Deberían fortalecerse las asociaciones entre las Osc y el sector privado, y entre estos e instituciones nacionales, y sus actividades deberían alinearse para una aplicación eficaz del modelo “Ahorrar para crecer”. Para obtener los máximos beneficios, los planes nacionales de desarrollo deberían formularse en consulta con las principales partes interesadas, utilizando procesos participativos, a fin de garantizar su apoyo y compromiso y facilitar medidas coordinadas.

2 Fomentar políticas que faciliten la adopción del modelo “Ahorrar para crecer” por parte de los agricultores

Los responsables de la formulación de políticas tienen una importante función que desempeñar en la creación de un entorno propicio para la intensificación sostenible de la producción agrícola. Deben apoyar actividades de investigación y extensión adecuadas, el acceso al crédito y a los mercados de insumos y productos, y la creación de capacidad para partes interesadas a lo largo de las cadenas de valor del maíz, el arroz y el trigo. Asimismo, deberían crear incentivos para que los agricultores diversifiquen sus sistemas de producción mediante el fortalecimiento de los mercados de cultivos de rotación y productos animales y forestales⁵. El acceso oportuno a los fertilizantes se ha revelado de modo sistemático como uno de los principales efectos positivos en los rendimientos agrícolas, en tanto que la disponibilidad de semillas de variedades adaptadas y el acceso a las mismas facilitan la diversificación^{14,15}.

Las políticas e inversiones adecuadas pueden reducir el riesgo que en ocasiones afrontan los agricultores en la transición hacia el modelo “Ahorrar para crecer”¹⁶. Algunas de estas son, por ejemplo, exenciones fiscales a instituciones financieras que presten servicios en zonas rurales en apoyo de la agricultura sostenible; políticas relacionadas con los seguros agrícolas; protección social para mitigar el riesgo y fortalecer la resiliencia; pagos por servicios ambientales; y financiación pública de actividades de investigación, desarrollo y extensión en el sector agrícola¹⁷.

La adopción del modelo “Ahorrar para crecer” tendrá repercusiones positivas en el medio ambiente que deberían reconocerse y recompensarse. Los pagos por servicios ambientales en la agricultura siguen siendo relativamente nuevos,

pero en los últimos años se ha realizado una importante labor al respecto. Por ejemplo, China está vinculando sistemas agrícolas de conservación de recursos con la financiación para la mitigación del cambio climático. Con el apoyo de la FAO, Viet Nam está elaborando estrategias de financiación que proporcionarían pagos por servicios ambientales¹³.

A través de programas de compras institucionales, los gobiernos pueden mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de los grupos vulnerables e integrar a los pequeños productores en los mercados como proveedores. Gracias a la capacitación en materia de gestión, las compras al por mayor de insumos y la comercialización colectiva, algunas organizaciones de pequeños agricultores en Kenia son capaces de competir con empresas más grandes en licitaciones para el suministro de maíz al Programa Mundial de Alimentos¹⁸. Programas de protección social bien concebidos pueden estimular la producción de alimentos en pequeña escala, creando una situación en la que todos se benefician, tanto consumidores como productores^{19,20}. Por ejemplo, el Brasil compró en 2013 unas 270 000 toneladas de alimentos, procedentes de 95 000 agricultores familiares, para su distribución gratuita a personas con inseguridad alimentaria y a la red de asistencia social del país²¹.

Tal vez las políticas deban abordar también la escasez de mano de obra en las zonas rurales. Para sacar a las personas de la pobreza a través de la agricultura también es necesario aumentar la rentabilidad de la mano de obra, no solo incrementar los rendimientos. Es poco probable que los agricultores adopten prácticas dirigidas a “ahorrar para crecer” si no obtienen rentabilidades que sean competitivas con las de otros sectores. Una transición satisfactoria al modelo de “Ahorrar para crecer” dependerá de tecnologías y políticas que fortalezcan los pilares ambiental, económico y social de la sostenibilidad, reduzcan los riesgos y ahorren mano de obra¹³.

Los países tal vez deban examinar también sus actuales programas de apoyo a la agricultura con miras a eliminar “subsidios perjudiciales” que fomenten prácticas nocivas, tales como el uso excesivo de fertilizantes, plaguicidas y agua, y la deforestación que provoca mayores pérdidas de biodiversidad, y proporcionar en su lugar incentivos para la adopción de prácticas sostenibles.

3 Aumentar la inversión en agricultura

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ha instado al establecimiento de una nueva estrategia de inversión agrícola que centra los recursos públicos, a todos los niveles, en torno al suministro de bienes públicos e incentiva a los agricultores para que inviertan en la intensificación sostenible. Los agricultores son ya los mayores inversores en agricultura. Sin embargo, ante la falta de una buena gobernanza, incentivos adecuados y bienes públicos fundamentales, no invierten en manera suficiente y, en muchos casos, no invierten en sistemas de producción sostenible^{17,22}.

Las inversiones de gobiernos y asociados para el desarrollo, cuando se enfocan adecuadamente hacia la mejora sostenible de la productividad agrícola y beneficios para los agricultores, constituyen una medida importante para fomentar el crecimiento económico y la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria y nutricional y la sostenibilidad medioambiental. Las inversiones en infraestructuras rurales, en servicios de crédito, en educación, extensión y capacitación, y en investigación y desarrollo específicos de la agricultura en pequeña escala, pueden

contribuir a impulsar el aumento del suministro de alimentos y la mejora de la eficacia de los mercados agrícolas¹⁷.

Es especialmente necesario realizar inversiones en carreteras, cadenas de frío, elaboración, envasado, almacenamiento y comercialización a fin de reducir las pérdidas y desperdicio de alimentos que, según estimaciones, ascienden a un tercio de la producción mundial. A largo plazo, estas inversiones obtendrían beneficios mucho mayores, en cuanto a productividad y crecimiento económico, que otros gastos, como por ejemplo las subvenciones a insumos¹⁷.

Para llevar a cabo la transición al modelo “Ahorrar para crecer” tal vez sea necesario que los países inviertan de forma significativa en la creación de un entorno propicio y que los agricultores hagan lo propio para adoptar prácticas que pueden tardar varios años en ofrecer rendimientos positivos. Habida cuenta de la aceleración del cambio climático, la necesidad de abordar debidamente la mayor exposición de los agricultores al riesgo requiere el establecimiento de estrategias de inversión que otorguen más prioridad a la gestión de riesgos^{9,10,14}.

4 Establecer y proteger los derechos de los agricultores a los recursos naturales

La transición al modelo “Ahorrar para crecer” requiere asimismo que se tomen medidas para proteger y fortalecer el acceso de los pequeños productores a los recursos naturales, especialmente la tierra, el agua y la agrobiodiversidad. En amplias zonas del mundo persisten acuerdos de tenencia de tierras deficientes y desiguales, que pueden llevar a expropiaciones, desplazamientos y desalojos²³. Se necesitan derechos de tenencia claros que fomenten la igualdad de acceso a los recursos productivos así como su gestión sostenible. Los agricultores adoptarán prácticas dirigidas a “ahorrar para crecer” solo si pueden obtener beneficios, durante un período suficiente, derivados del incremento del valor del capital natural¹⁷.

A menudo, los derechos de los agricultores están mal definidos, se solapan o no se formalizan. La mejora de los derechos de los agricultores sobre las tierras y el agua, especialmente en el caso de las mujeres, a quienes cada vez corresponde más tomar decisiones en materia de producción, es un incentivo fundamental para adoptar una producción agrícola sostenible. Los programas de tenencia de la tierra de muchos países en desarrollo se han centrado en la formalización y privatización de los derechos de tierras sin apenas tener en cuenta los sistemas de tenencia consuetudinarios y colectivos. Los gobiernos deben reconocer en mayor medida esos sistemas, pues cada vez se tienen más indicios de que, cuando aportan cierto grado de seguridad, pueden aportar también incentivos eficaces para la inversión⁵.

Los gobiernos y sus asociados en el desarrollo deberían hacer uso de las *Directrices voluntarias sobre la gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, la pesca y los bosques en el contexto de la seguridad alimentaria nacional*²⁴ del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, si procede, en sus políticas y estrategias de fomento de la producción agrícola sostenible. Estas directrices sirven de referencia autorizada para la elaboración de leyes y la formulación de políticas relacionadas con los derechos de acceso y tenencia. Ofrecen a los inversores y promotores indicaciones precisas sobre las mejores prácticas y facilitan a las organizaciones de la sociedad civil normas de referencia que pueden aprovechar en sus actividades en favor de las comunidades rurales.

Otras directrices de utilidad son, por ejemplo, los *Principios para la inversión responsable en la agricultura y los sistemas alimentarios*²², elaborados también por el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, y los *Principios para una inversión agrícola responsable que respete los derechos, medios de vida y recursos*²⁵, elaborados en 2009 por la FAO, el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) y el Banco Mundial.

El acceso a la biodiversidad y su utilización sostenible también son fundamentales para “Ahorrar para crecer”. Los agricultores necesitan acceso no solo a varias especies para la diversificación de sus sistemas agrícolas, sino también a recursos genéticos mejorados dentro de las especies, a fin de producir más con menos y hacer frente a los desafíos del cambio climático. Los países deberían reforzar sus programas relativos a la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, adherirse a instrumentos internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (TI/RFGAA) y la Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, así como colaborar estrechamente con los centros del CGIAR.

5 Fomentar cadenas de valor y mercados más eficientes

Las cadenas de valor eficientes son fundamentales para la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios y agrícolas. Para ser sostenibles desde un punto de vista económico, social y medioambiental, las cadenas de valor deben crear valor añadido y mayores ingresos, facilitar una distribución más equitativa de los beneficios y reducir las huellas ecológicas a lo largo de la cadena²⁶.

Las cadenas de valor alimentarias sostenibles se basan en la colaboración entre todos los interesados, incluidos los pequeños agricultores, los agronegocios, los gobiernos y la sociedad civil. Inicialmente, el desarrollo de cadenas de valor alimentarias debería centrarse sobre todo en una mejora de la eficiencia, en particular la reducción de pérdidas posteriores a las cosechas, que dé lugar a una disminución de los precios de los alimentos y un aumento de la disponibilidad de estos últimos, permitiendo así a los hogares comprar más alimentos. Cambiar la demanda de los consumidores se vuelve pues un factor clave para impulsar la innovación y la creación de valor, que lleve a una mejora continua del suministro de alimentos y al aumento de los beneficios para los consumidores²⁶.

Los gobiernos pueden apoyar “modelos empresariales inclusivos” a través de marcos jurídicos que determinen, por ejemplo, buenas prácticas en la agricultura por contrato. En la República Unida de Tanzania, donde está disparándose la demanda de arroz, los pequeños agricultores y los grandes productores de arroz privados colaboran a través de sistemas de subcontratación²⁷. Así todo, para reducir la dependencia del arroz importado en el África subsahariana se necesitan mejoras tanto en la calidad como en la cantidad. En un estudio reciente se observó que los consumidores de las zonas urbanas de África están “dispuestos a pagar” por un aumento de la calidad del arroz producido internamente a través de mejoras de las variedades y un mejor proceso de elaboración²⁸.

Un entorno jurídico e institucional que fomente y apoye la cooperación entre pequeños agricultores les permitiría aprovechar las economías de escala en acti-

vidades como la compra de insumos y la elaboración, el transporte y la venta de productos⁷. La comercialización de productos en pequeña escala también puede facilitarse mediante sistemas de certificación que recompensen a los productores que adopten sistemas de producción sostenible.

6 Aumentar el apoyo a la investigación y el desarrollo agrícolas

El ámbito en el que se llevan a cabo la I+D agrícolas ha pasado del sector público al sector privado nacional y multinacional. Conforme aumenta la inversión privada, las inversiones públicas en I+D han disminuido en casi la mitad de los países de bajos ingresos del mundo²⁹. Las empresas privadas tienden a concentrarse en los productos y los márgenes de beneficio a corto plazo³⁰ y, en muchos casos, a fomentar tecnologías, tales como la lucha contra las plagas mediante productos químicos, que dependen de insumos externos, sin tener en cuenta la sostenibilidad³¹.

Se necesitan iniciativas del sector público a más largo plazo en ámbitos relacionados con la gestión de los recursos naturales, en particular la investigación sobre los suelos, el agua, los recursos genéticos y la sostenibilidad³⁰. Muchos gobiernos deberán mantener o fortalecer sus medios para realizar actividades de investigación. Ello puede suponer no solo invertir en instalaciones y equipos de investigación, sino también garantizar que se dispone de capacidad científica pertinente y adecuada para atender las necesidades en materia de políticas y tecnología de la agricultura, en general, y del sector de la producción en pequeña escala en particular.

En la mayoría de países en desarrollo, la capacidad de investigación es particularmente escasa en ámbitos como la biotecnología, la creación de modelos y la elaboración de previsiones. El uso de la teledetección por satélite y telecomunicaciones modernas resulta fundamental para formular respuestas rápidas y eficaces a la rápida evolución de las demandas sobre la agricultura y a los crecientes efectos del cambio climático.

Para generar opciones tecnológicas que sean atractivas para los agricultores, la innovación basada en la ciencia debe tomar como fundamento los conocimientos tradicionales de los agricultores. La investigación debería atender las necesidades de las esferas agrícolas marginales, y actuar en beneficio de los pequeños productores aumentando la productividad agrícola y la conservación de los recursos naturales, y ayudando a diversificar los sistemas agrícolas de los cereales hacia productos de mayor valor.

La investigación debe estar más estrechamente vinculada a la extensión y otras fuentes de conocimientos. El fortalecimiento de la capacidad de utilización y aplicación respaldará el desarrollo ulterior de los sistemas agrícolas del modelo “Ahorrar para crecer” y su adopción por parte de los agricultores en pequeña escala. Las organizaciones internacionales de investigación agrícola, así como los organismos de financiación, desempeñan una importante función en el apoyo a esos esfuerzos nacionales.

7 Fomentar la innovación tecnológica

Los pequeños productores de cereales se hallan al frente de las iniciativas destinadas a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares a nivel mundial. Precisarán acceso a toda la gama de tecnologías necesarias para la intensificación sostenible de la producción agrícola. Por ejemplo:

Mecanización. La AC requiere utensilios y maquinaria adecuados para todos los niveles tecnológicos. En el Brasil, una floreciente industria interna fabrica equipos de AC adaptados a los distintos suelos, climas y sistemas agrícolas³². Algunas de esas tecnologías se han transferido a África y Asia, donde los fabricantes locales producen sembradoras sin labranza manuales o de tracción animal y equipos de siembra directa remolcados^{33, 34}. Los gobiernos deben adoptar estrategias para ampliar el alcance de la AC y otras prácticas sostenibles, definir funciones claras para el sector privado en cuanto a fabricación, distribución, prestación de servicios y reparación y para el sector público en cuanto a investigación, fomento de la capacidad y apoyo a la creación de empresas^{35, 36}.

Nuevos cultivos y variedades. Es fundamental agilizar la obtención de variedades de cultivos mejoradas para responder a desafíos futuros, especialmente para los pequeños agricultores. La diversidad de cultivos sustenta la diversificación de sus sistemas agrícolas y contribuye a aumentar la resiliencia al cambio climático y otras tensiones. Nuevos métodos de fitomejoramiento, tales como marcadores moleculares, podrían mejorar el rendimiento de los cereales, el contenido de nutrientes y la resistencia a las plagas y enfermedades, así como reducir el tiempo necesario para la obtención y aprobación de nuevas variedades³⁷. Las variedades híbridas de maíz de alto rendimiento adquieren cada vez más importancia en los sistemas agrícolas en pequeña escala y las variedades híbridas de arroz y trigo podrían hacerse más frecuentes. El mejoramiento de cultivos debería abordar la mejora genética de los componentes de los sistemas de cultivo intercalado y la calidad nutricional de los residuos de plantas de cereales que se utilizan para alimentar al ganado. El apoyo a la conservación en la explotación agrícola y la mejora de las variedades de los agricultores es fundamental.

Mayor eficiencia en el uso del agua. Los principales productores de cultivos de riego de maíz, arroz y trigo no tienen acceso a recursos hídricos suficientes para mantener la producción de alimentos per cápita, o no lo van a tener en breve. El uso de variedades de cultivos más eficientes en el uso del agua, la adopción de prácticas de conservación del agua, tales como la ausencia de labranza y los cultivos de cobertura, y el aumento de las inversiones en tecnologías de eficiencia hídrica, como por ejemplo la nivelación del terreno, el riego por goteo y la captación de agua de lluvia, serán fundamentales para la producción en un contexto de cambio climático. El cultivo de arroz y trigo en lechos elevados de regadío ha mejorado significativamente la eficiencia en el uso del agua y ha intensificado los rendimientos en Egipto, la India y México. Los sistemas de lechos elevados también mejoran la productividad del agua, con un gran aumento del rendimiento, en la producción de maíz de secano. Las tecnologías de riego mejoradas funcionarán mejor si el agua se valora y se tasa adecuadamente³⁸. Los derechos de los pequeños productores al agua, así como a la tierra, deben protegerse.

Fertilizantes innovadores. No ha habido prácticamente inversiones en investigación y desarrollo de fertilizantes durante los últimos cinco decenios. Tomando como punto de partida los procesos fisiológicos de las plantas y los suelos, en lugar de la química, las mejoras en la formulación del “envase” de nutrientes y

estrategias más eficaces de “suministro” de nutrientes pueden resultar en una absorción más rápida de nutrientes por las plantas. Los fertilizantes innovadores, dirigidos a alimentar los cultivos y no el suelo, proporcionarían múltiples beneficios, incluido un aumento del contenido de múltiples nutrientes en los cereales, la recuperación de la fertilidad del suelo y el aumento de la resiliencia y la sostenibilidad de los sistemas. Las mejoras de los fertilizantes nitrogenados protegerían la salud de los ecosistemas gracias a la reducción de las emisiones de óxido nitroso al medio ambiente³⁹.

Manejo integrado de plagas. Puesto que las plagas de insectos, las malas hierbas y las enfermedades evolucionan y pueden transportarse fácilmente a nuevos lugares, la respuesta a los desafíos emergentes en la producción de cereales requiere el desarrollo continuo de tecnologías de MIP. Algunas innovaciones recientes son, por ejemplo, el mejoramiento para recuperar la capacidad natural de repeler plagas de los sistemas radiculares del maíz; un bioplaguicida obtenido de semillas de margosa que elimina el pulgón marrón del arroz; y hongos y nematodos de gran eficacia contra la mosca de sierra del trigo^{31, 40}. La innovación en el MIP requiere un sólido apoyo en materia de políticas y la participación activa de los agricultores a través de las escuelas de campo de agricultores.

Mejora de la gestión posterior a la cosecha. Las pérdidas de grano posteriores a las cosechas a causa de las plagas y los roedores son elevadas en los sistemas de producción en pequeña escala. En climas húmedos, las instalaciones de secado revisten especial importancia para controlar el riesgo de enfermedades fúngicas⁴¹. El análisis de los sistemas tradicionales posteriores a las cosechas puede determinar deficiencias y proporcionar soluciones adecuadas. En el Afganistán, la sustitución de silos de arcilla por silos metálicos para el almacenamiento de grano ha ayudado a unos 76 000 agricultores a reducir las pérdidas del 20 % de la cosecha a menos del 2 %⁴². En África, la FAO ha fomentado la gestión del almacenamiento de grano, en particular formas sencillas de medición del contenido de humedad y la lucha contra las plagas sin productos químicos, adaptada a las necesidades de los pequeños agricultores afectados por las sequías y las inundaciones⁴³.

Tecnologías de nueva generación. La herramienta “rice crop manager” (gestor del cultivo de arroz) basada en teléfonos inteligentes que ha desarrollado el IIRI calcula recomendaciones para el manejo de cultivos y nutrientes basándose en las condiciones locales y las envía a los agricultores a través de un mensaje SMS. Las recomendaciones han aumentado los rendimientos por hectárea un promedio de 0,4 toneladas y han incrementado los ingresos en 100 USD⁴⁴. La amplia difusión de teléfonos móviles en el África subsahariana brinda oportunidades similares para unir a investigadores y agricultores, así como a agricultores y mercados. Hay otras innovaciones disponibles en la actualidad para los pequeños productores que tienen un costo relativamente bajo, sobre todo si se facilitan a través de cooperativas o la contratación de servicios. Entre estas figuran la nivelación del terreno por láser, cartas analíticas de colores de las hojas que ayudan a programar las aplicaciones de fertilizantes minerales, y sensores electrónicos que detectan el déficit de nitrógeno de las plantas y los niveles de nutrientes en los residuos de cereales. No obstante, antes de su recomendación, las innovaciones propuestas deberían ser evaluadas para conocer sus posibles repercusiones sociales, económicas y ambientales.

8 Mejorar la comunicación con los agricultores y ayudar a fomentar su capacidad

Se sabe mucho menos sobre las tecnologías agroecológicas y de conservación de recursos que sobre el uso de insumos externos en la producción intensiva de cultivos⁴⁵. La falta de información acerca de enfoques basados en los ecosistemas, y de la necesidad de adaptarlos a condiciones agroecológicas y socioeconómicas concretas, es uno de los principales obstáculos para la ampliación satisfactoria del alcance del modelo “Ahorrar para crecer”.

La intensificación sostenible de la producción agrícola es, por lo general, más intensiva en cuanto a conocimientos y gestión. Es importante pues apoyar a los agricultores para que fortalezcan sus capacidades de entender las funciones ecosistémicas y aprovechar sus conocimientos tradicionales a fin de identificar y adaptar prácticas y tecnologías adecuadas.

La extensión agrícola, la capacitación y la educación deben hacer mucho más énfasis en los sistemas integrados de producción. Este cambio debe producirse en todos los niveles de aprendizaje a fin de asegurar que todas las partes interesadas tengan mejor información y más conocimientos sobre los principios de la producción sostenible de cultivos y su aplicación práctica a través del modelo “Ahorrar para crecer”.

Los servicios de asesoramiento que apoyan el modelo “Ahorrar para crecer” deberán colaborar estrechamente con las organizaciones y redes de agricultores, así como en asociaciones de los sectores público y privado. Las metodologías participativas pueden ayudar a los productores y a sus asesores a intercambiar sus experiencias, conocimientos y habilidades en la gestión de sistemas agrícolas. Las escuelas de campo para agricultores, por ejemplo, brindan una plataforma para la experimentación y la comunicación e intercambio entre agricultores. Dado que las mujeres son el pilar de la agricultura en muchos países, estas deberían ocupar un lugar central en las actividades de capacitación y extensión, y recibir apoyo para cubrir sus necesidades más amplias en cuanto a equidad de género, medios de vida sostenibles y acceso a los recursos.

El apoyo a la creación de capacidades, la educación y la capacitación debería considerarse como parte de un esfuerzo más amplio para desarrollar capital social, esto es, el valor generado por vínculos sociales, reglas, normas y sanciones que otorga a las comunidades agrícolas la confianza para invertir en actividades colectivas, y reduce sus posibilidades de participar en acciones privadas irrestrictas con resultados negativos, tales como la degradación de los recursos naturales⁴⁶. Por ejemplo, dado que el MIP requiere un alto nivel de conocimientos, las escuelas de campo para agricultores y otras formas participativas de intercambio de conocimientos contribuyen a crear capital social, así como natural y humano³¹.

9 Fortalecer los sistemas de semillas

Los sistemas agrícolas del modelo “Ahorrar para crecer” necesitan variedades que tengan rendimientos más altos, sean más resistentes y estén mejor adaptadas a las prácticas de producción basadas en los ecosistemas, y que hagan un uso más eficiente de los insumos. Para garantizar el acceso de los pequeños agricultores a semillas de calidad de variedades mejoradas deben adoptarse medidas que fortalezcan los sistemas de semillas nacionales.

En muchos países en desarrollo, los sistemas de semillas no existen o son ineficaces, debido a la debilidad de los marcos normativos, la falta de financiación y la limitación de capacidad técnica y de gestión. Aunque el suministro de semillas se considera a veces una actividad del sector privado, este sector suele producir y vender únicamente las semillas de cultivos y variedades que le permiten obtener máximos beneficios, y deja de lado a muchos cultivos y variedades esenciales para la seguridad alimentaria y para la productividad y sostenibilidad de la agricultura en pequeña escala.

Deben fortalecerse los sistemas nacionales de semillas a través del fomento de la capacidad, la distribución rápida de variedades, la agilización de la multiplicación de semillas y el apoyo a la conservación de semillas en las explotaciones y bancos de semillas comunitarios. También deben tomarse medidas para fortalecer la capacidad pública, alentar la inversión del sector privado y hacer que las organizaciones de la sociedad civil y los agricultores participen en la formulación y aplicación de políticas nacionales en materia de semillas^{5,47}.

En el sector de las semillas de trigo, algunos mecanismos para aumentar el ritmo de producción de semillas podrían ser la multiplicación de semillas antes de la liberación y fuera de temporada de generaciones tempranas, siempre que sea posible. Sin estos aumentos de la eficiencia, el predominio de “megavariedades” vulnerables se acentuará⁴⁸. Los mismos planteamientos serían también eficaces en el caso del arroz.

Normalmente, es el sector privado el que produce y comercializa las semillas de variedades híbridas de maíz, las ONG y organizaciones de base comunitaria hacen lo propio con las semillas de variedades de polinización abierta. El Brasil, China y el CIMMYT han liderado algunas asociaciones innovadoras entre los sectores público y privado. Estas conllevan el suministro de variedades mejoradas de maíz al sector privado para la producción y comercialización de semillas híbridas, a cambio de financiación y otro tipo de apoyo en materia de investigación. Sin embargo, no existe ninguna colaboración eficaz para la producción y comercialización de semillas de variedades de maíz de polinización abierta, que son cultivadas en gran medida por pequeños productores.

Enfoques participativos que reconozcan el potencial del sector de semillas informal, y la importante función de las mujeres en este, pueden fortalecer los sistemas de semillas para los tres cultivos. En el África subsahariana, los productores de semillas de las comunidades, que en muchos casos están dirigidas por mujeres, están multiplicando las semillas de calidad de variedades del maíz; en África occidental producen hasta 20 toneladas de semillas al año. Ampliar la escala de este enfoque será un paso importante hacia la autosuficiencia de semillas en zonas rurales dotadas de servicios insuficientes.

10 Colaborar con organizaciones, instrumentos y mecanismos internacionales

Los países deberían aprovechar las organizaciones, instrumentos y mecanismos mundiales, regionales y subregionales para la aplicación eficaz del modelo “Ahorrar para crecer”. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura tiene conocimientos especializados exclusivos y amplia experiencia en la prestación de apoyo a países para elaborar políticas, estrategias y tecnologías relativas a la intensificación sostenible de la producción de cereales. Alberga instrumentos internacionales, tales como los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (T1/RFGAA), la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, el Convenio de Rotterdam y el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, que brindan oportunidades a los países de intercambiar experiencias y establecer colaboraciones.

Otras organizaciones mundiales que influyen en el maíz, el arroz y el trigo son, por ejemplo, varios centros del CGIAR, el OIEA, la OCDE, la UNCTAD, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Banco Mundial. Muchas organizaciones* regionales y subregionales ofrecen asimismo un valioso apoyo para el desarrollo agrícola sostenible a través del suministro de tecnologías, el fomento de la capacidad, el intercambio de información mejorado y la facilitación del comercio. Varios países en desarrollo tienen una experiencia considerable en la aplicación de una alimentación y agricultura sostenibles, ofreciendo oportunidades de mejora de la cooperación Sur-Sur.

No existe un diseño único para el modelo “Ahorrar para crecer” y su enfoque basado en los ecosistemas de intensificación de la producción de cultivos. No hay semillas o tecnologías mágicas que mejoren los resultados sociales, económicos y ambientales de la producción de cereales en todos los paisajes y en todas las regiones. El modelo “Ahorrar para crecer” supone un paso importante de un modelo homogéneo de producción agrícola a sistemas agrícolas de conocimientos intensivos que, a menudo, son propios de lugares determinados. Esa es la razón por la que su aplicación exige tiempo, un mayor apoyo a los agricultores y el compromiso firme de fortalecer los programas nacionales^{9, 10}.

La adopción generalizada del sistema “Ahorrar para crecer” requiere medidas concertadas en todos los niveles y la participación activa de gobiernos, organizaciones internacionales, sociedad civil y sector privado. El reto es enorme, pero también lo será la recompensa. El modelo “Ahorrar para crecer” contribuirá a dirigir la transición mundial hacia una alimentación y agricultura sostenibles y ayudará a crear ese mundo libre de hambre que todos queremos.

* Por ejemplo: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO) en América Latina; la Asociación de Asia y el Pacífico de Instituciones de Investigación Agraria (APAARI), la Nueva Alianza para el Desarrollo de África (NEPAD), la Asociación para el Fortalecimiento de las Investigaciones Agrícolas en el África Oriental y Central (ASARECA), el Centro de Coordinación de la Investigación Agrícola en el África Austral (SACCAR) y el Consejo de Investigación y Desarrollo Agrícolas para el África Occidental y Central (CORAF).

Referencias

Capítulo 1. Los cereales y nosotros: el momento de renovar un antiguo vínculo

1. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción (<http://faostat.fao.org>).
2. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Balances alimentarios (<http://faostat.fao.org>).
3. United States Department of Agriculture. 2015. *World agricultural supply and demand estimates, January 2015*. Washington, DC.
4. Murphy, D. 2007. *People, plants and genes: the story of crops and humanity*. Oxford, UK, Oxford University Press.
5. Molina, J., Sikora, M., Garud, N., Flowers, J., Rubinstein, S., Reynolds, A., Huang, P., Jackson, S., Schaal, B., Bustamante, C., Boyko, A. & Purugganan, M. 2011. Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108: 8351–8356.
6. Wang, M., Yu, Y., Haberer, G., Marri, P.R., Fan, C., Goicoechea, J.L., Zuccolo, A., Song, X., Kudrna, D., Ammiraju, J.S.S., Cossu, R.M., Maldonado, C., Chen, J., Lee, S., Sisneros, N., de Baynast, K., Golsner, W., Wissotski, M., Kim, W., Sanchez, P., Ndjiondjop, M.-N., Sanni, K., Long, M., Carney, J., Panaud, O., Wicker, T., Machado, C.A., Chen, M., Mayer, K.F.X., Rounsley, S. & Wing, R.A. 2014. The genome sequence of African rice (*Oryza glaberrima*) and evidence for independent domestication. *Nature Genetics* 46, 982–988.
7. Landon, A.J. 2008. The 'How' of the Three Sisters: The Origins of Agriculture in Mesoamerica and the Human Niche. *Nebraska Anthropologist* 23. Paper 40. Lincoln (USA), University of Nebraska-Lincoln.
8. Leakey, R. & Lewin, R. 1977. *Origins: the emergence and evolution of our species and its possible future*. London, Macdonald James Publishers.
9. Wolman, M.G. 1993. Population, land use and environment: A long history. In C. Jolly & B. Boyle Torrey, eds. *Population and land use in developing countries: Report of a workshop*. Washington, DC, The National Academies Press.
10. Burns, T.S. 1994. *Barbarians within the gates of Rome*. Indianapolis (USA), Indiana University Press.
11. Brewbaker, J. 1979. Diseases of maize in the wet lowland tropics and the collapse of the Classic Maya civilization. *Economic Botany*, 33 (2): 101–118.
12. Jordan, W. 1996. *The great famine: Northern Europe in the early fourteenth century*. Princeton (USA), Princeton University Press.
13. Pretty J. N. 1991. Farmers' extension practice and technology adaptation: Agricultural revolution in 17–19th century Britain. *Agriculture and Human Values* VIII, 132–148.
14. Apostolides, A., Broadberry, S., Campbell, B., Overton, N. & van Leeuwen, B. 2008. *English agricultural output and labour productivity, 1250–1850: some preliminary estimates*. Coventry (UK), University of Warwick.
15. FAO. 2011. *Ahorrrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola*. Roma.
16. FAO. 2005. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2005. Comercio agrícola y pobreza: ¿Puede el comercio obrar en favor de los pobres?* Roma.
17. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. *World Population Prospects: The 2015 Revision* (available at <http://esa.un.org/unpd/wup/DataQuery/>).
18. FAO. 2010. *The Green Revolution in Asia: Lessons for Africa*, by H. Jhamtani. Rome.
19. FAO. 2009. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2009. Crisis económicas: repercusiones y enseñanzas extraídas*. Roma.
20. Hazell, P.B.R. 2010. Asia's Green Revolution: past achievements and future challenges. In S. Pandey, D. Byerlee, D. Dawe, A. Dobermann, S. Mohanty, S. Rozelle & B. Hardy, eds. *Rice in the global economy: strategic research and policy issues for food security*, pp 61–92. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute.
21. Rosegrant, M., Tokgoz, S., Bhandary, P. & Msangi, S. 2013. Scenarios for the future of food. In *2012 Global food policy report*. Washington, DC, IFPRI.
22. Shiferaw B., Smale, M., Braun H.-J., Duveiller, E., Reynolds M. & Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5: 291–317.
23. Seck, P.A., Diagne, A., Mohanty, S. & Wopereis, M.C.S. 2012. Crops that feed the world 7: Rice. *Food Security*, 4: 7–24.
24. FAO, FIDA y PMA. 2015. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos*. Roma.
25. FAO. 2015. World food situation: Food price index (retrieved: 7 September 2015) (available at http://www.fao.org/fileadmin/templates/worldfood/Reports_and_docs/Food_price_indices_data.xls).
26. FAO. 2014. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2014. La innovación en la agricultura familiar*. Roma.
27. Frison, E.A., Cherfas, J. & Hodgkin, T. 2011. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability*, 3: 238–253.
28. Tschardtke, T., Yann Clough, T.C., Wanger, L.J., Motzke, I., Perfecto, I., Vendermeer, J. & Whitbread, A. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151: 53–59.
29. FAO. 2010. *El segundo informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo*. Roma.
30. Solh, M., Braun, H.-J. & Tadesse, W. 2014. *Save and Grow: Wheat*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rabat, ICARDA. (mimeo).
31. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Invited Review. *Annals of Botany*, 114 (8): 1571–1596.
32. Pingali, P., Hossain, M. & Gerpacio, R. 1997. *Asian Rice Bowls – The returning crisis?* In association with IIRI. Wallingford, UK, CAB International.
33. Heap, I. 2014. Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*. Special issue: Global herbicide resistance challenge. Vol. 70, Issue 9, pp.1306–1315. September 2014.
34. FAO. 2014. *Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks, 1990–2011 Analysis*. FAO Statistics Division Working Paper Series, No. 14–02. Rome.
35. Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. & Ingram, J.S. 2012. Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2012.37:195–222. DOI: 10.1146/annurev-environ-020411-130608.
36. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Final draft Report of Working Group III. Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC.
37. FAO. 2013. *Climate-smart agriculture sourcebook*. Rome.
38. Altieri, M. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 1–24.
39. ILO (International Labour Organization). 2012. *Global Employment Trends 2012. Preventing a deeper job crisis*. Geneva..

40. FAO. 2012. *Decent rural employment for food security: a case for action*. Rome.
41. FAO. 2014. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2014. Fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y la nutrición*. Roma.
42. Fan, M.S., Zhao, F.J. & Fairweather-Tait, S.J. 2008. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22:315–324.
43. Mayer, A.M. 1997. Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables. *British Food Journal*, 99:207–211.
44. Davis, D.R., Epp, M.D. & Riordan, H.D. 2004. Changes in USDA food composition data for 43 garden crops. *Journal of the American College of Nutrition*, 23:669–682.
45. FAO. 2012. *Sustainable nutrition security: Restoring the bridge between agriculture and health*. Traore, M., Thompson, B. & Thomas, G. Rome.
46. Foresight. 2011. *The future of food and farming: Challenges and choices for global sustainability*. Final Project Report. London, Government Office for Science.
47. OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) & FAO. 2015. *OCDE-FAO Perspectivas agrícolas 2015-2024*. París y Roma.
48. FAO. 2012. *World agriculture towards 2030/2050 - The 2012 revision*. ESA Working Paper No. 12-03, June 2012. Rome.
49. Fischer, G. 2011. How can climate change and the development of bioenergy alter the long-term outlook for food and agriculture? In P. Conforti, ed. *Looking ahead in world food and agriculture: perspectives to 2050*. Rome, FAO.
50. Fischer, R.A., Byerlee, D. & Edmeades, G.O. 2014. *Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world?* ACIAR Monograph No. 158. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
51. FAO. 2013. *Food wastage footprint. Full cost accounting: Final report*. Rome.
52. Lal, R. 2014. Abating climate change and feeding the world through soil carbon sequestration. In D. Dent, ed. *Soil as world heritage*, pp 443–457. Berlin: Springer.
53. FAO. 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. Managing systems at risk*. Rome.
54. FAO. 2013. *Guidelines to control water pollution from agriculture in China - Decoupling water pollution from agricultural production*. Rome.
55. Shiferaw, B., Prasanna B.M., Hellin, J. & Bänziger, M. 2011. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3: 307–327.
56. Funk, C.C. & Brown, M.E. 2009. Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. *Food Security*, 1:271–289.
57. CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 2009. *Wheat facts and futures 2009*. Dixon, J., H.-J. Braun, P. Kosina & J. Crouch, eds. Mexico, D.F., CIMMYT.
58. FAO. 2011. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2011. ¿Cómo afecta la volatilidad de los precios internacionales a las economías nacionales y la seguridad alimentaria?* Roma.
59. Pardey, P., Alston, J. & Piggott, R. 2006. *Agricultural R&D in the developing world*. Washington, DC, IFPRI.
60. Pardey, P., Alston, J. & Chan-Kang, C. 2013. Public agricultural R&D over the past half century: an emerging new world order. *Agricultural Economics*, 44(1): 103–113.
61. Beintema, N., Stads, G.J., Fuglie K. & Heisey, P. 2012. *ASTI global assessment of agricultural R&D spending: Developing countries accelerate investment*. IFPRI, ASTI & GFAR, Rome. 24pp.
62. Lobell D.B., Schlenker, W.S. & Costa-Roberts, J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333:616–620.
63. Padgham, J. 2009. *Agricultural development under a changing climate: opportunities and challenges for adaptation*. Washington D.C., The World Bank.
64. Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugge, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D'Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., van Meijl, H. & Willenbockel, D. 2015. Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 10 (2015) 085010.
65. Prasanna, B.M. 2014. Maize research-for-development scenario: challenges and opportunities for Asia. In B.M. Prasanna et al., eds. *Book of extended summaries, 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security*. Bangkok, Thailand, 30 October – 1 November 2014. CIMMYT, Mexico D.F. and APAARI, Bangkok, pp.2–11.
66. Tesfaye, K., Gbegbelegbe, S., Cairns, J.E., Shiferaw, B., Prasanna, B.M., Sonder, K., Boote, K.J., Makumbi, D., Robertson, R. 2015. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: potential impacts on production and food security. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Vol. 7 Issue 3, pp.247–271.
67. Paterson, R. R. M., & Lima, N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43(7): 1902–1914.
68. Mackill, D. J., Ismail, A. M., Pamploña, A.M., Sanchez, D.L., Carandang, J.J. & Septiningsih, E.M. 2010: Stress-tolerant rice varieties for adaptation to a changing climate. *Crop Environment and Bioinformatics*. 7: 250–259.
69. Zeigler, R. 2014. *IRRI 2035: Investing in the future*. Based on a presentation by the Director General to the IRRI community, 30 May 2013. Los Baños, Philippines.
70. Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Ortiz-Monasterio, J.I. & Reynolds, M. 2008. Climate change: can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126:45–58.
71. Rosegrant, M. R., Ringler, C., Sulser, T. B., Ewing, M., Palazzo, A. & Zhu, T. 2009. *Agriculture and food security under global change: Prospects for 2025/2050*. Washington, D.C., International Food Policy Research Institute.
72. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Comercio (<http://faostat.fao.org>).
73. World Bank. 2015. Poverty and Equity Database (available at <http://povertydata.worldbank.org/poverty/home/>).
74. FAO. 2014. *Perspectivas alimentarias. Resúmenes de mercado*. Roma.
75. Pretty, J.N., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., de Vries, F. & Morrison, J.L.L. 2006. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental science & technology*, 40: 1114–1119.
76. Power, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2959–2971.
77. Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M., Aviles-Vazquez, K., Samulon, A. & Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22: 86–108.
78. Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J. & Godfray, H.C.J. 2013. Sustainable Intensification in agriculture: premises and policies. *Science* 341: 33–34.
79. FAO. 2010. *Sustainable crop production intensification through an ecosystem approach and an enabling environment: Capturing efficiency through ecosystem services and management*. Rome.
80. FAO. 2012. *Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from Conservation Agriculture: a literature review*. Integrated Crop Management, Vol.16–2012. Rome.
81. Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. 304, 1623 (2004).

82. Christiaensen, L., Demery, L. & Kuhl, J. 2011. The (evolving) role of agriculture in poverty reduction: an empirical perspective. *Journal of Development Economics*, 96: 239–254.

Capítulo 2. Avances hacia la producción sostenible de cereales

1. FAO. 2011. *Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola*. Roma.
2. FAO. 2014. *Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles: Principios y enfoques*. Roma.
3. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Invited Review. *Annals of Botany*, 114 (8): 1571–1596.
4. Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. & Kienzle, J. 2014. *Worldwide adoption of Conservation Agriculture*. Paper presented at the 6th World Congress on Conservation Agriculture, 22–25 June 2014, Winnipeg, Canada.
5. Baker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R., Chamen, W.C., Reicosky, D.C., Ribeiro, M.F.S., Justice, S.E. & Hobbs, P.R. 2007. No-tillage seeding in conservation agriculture (Second Edition). C.J. Baker & K.E. Saxton, eds. Rome, FAO & Cambridge, USA, CAB International.
6. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. & Pretty, J. 2009. The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(4) 2009, pp.292–320.
7. Friedrich, T., Derpsch, R. & Kassam, A. 2012. Global overview of the spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports Special Issue (Reconciling Poverty Alleviation and Protection of the Environment)*, 6: 1–7.
8. FAO. 2014. *Managing soils for food security and climate change adaptation and mitigation*. Rome.
9. Sun, L., Chang, S.X., Feng, Y.S., Dyck, M.F. & Puurveen, D. 2015. Nitrogen fertilization and tillage reversal affected water-extractable organic carbon and nitrogen differentially in a Black Chernozem and a Gray Luvisol. *Soil and Tillage Research*, 146: 253–260.
10. Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.-J., Duveiller, E., Reynolds, M. & Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5: 291–317.
11. Sayre, K.D., & Govaerts, B. 2009. Conservation agriculture for sustainable wheat production. In: J. Dixon, H. J. Braun, P. Kosina, & J. Crouch, eds. *Wheat facts and futures 2009*. Mexico International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).
12. Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Jat, M.L. & Bishnoi, D. 2015. On-farm economic and environmental impact of zero-tillage wheat: a case of north-west India. *Experimental Agriculture*, 51: 1–16. Cambridge University Press 2014. doi:10.1017/S001447971400012X.
13. Moussadek, R. 2012. Impacts de l'agriculture de conservation sur les propriétés et la productivité des vertisols du Maroc Central. *Afrika focus*, 25(2): 147–151.
14. Scopel, E., Triomphe, B., dos Santos Ribeiro, MdeF, Ségué, L., Denardin, J.E. & Kochhann, R.A. 2004. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America. In R.A. Fischer, ed. *New directions for a diverse planet*. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.
15. Thierfelder, C. & Mupangwa, W. 2014. *Identifying new sustainable intensification pathways for smallholder farmers in Southern Africa*. Paper presented at the World Congress of Conservation Agriculture (WCCA6), June 22–25, 2014, Winnipeg, Canada.
16. Kumar V. & Ladha J.K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. *Advances in Agronomy*, 111: 297–413.
17. Yamano, T., Baruah, S., Sharma, R., & Kumar, A. 2013. *Factors affecting the adoption of direct-seeded rice in the northeastern Indo-Gangetic Plain*. CSISA Socioeconomics Policy Brief. New Delhi: International Rice Research Institute.
18. Frison, E.A., Cherfas, J. & Hodgkin, T. 2011. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability* 3: 238–253.
19. Mayee, C.D., Monga, D., Dhillon, S.S., Nehra, P.L. & Pundhir, P. 2008. *Cotton-wheat production system in South Asia: a success story*. Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions, Bangkok, Thailand.
20. Buttar, G.S., Sidhu, H.S. Singh, V., Gupta, N., Gupta, R., Jat, M.L. & Singh, B. 2011. Innovations for relay planting of wheat in cotton: a breakthrough for enhancing productivity and profitability in cotton-wheat systems of South Asia. *Experimental Agriculture* (2013), Vol. 49 (1), pp.19–30 (doi:10.1017/S0014479712001032).
21. Kukul S.S., Singh, Y., Jat, M.L. & Sidhu, H.S. 2014. Improving Water Productivity of Wheat-Based Cropping Systems in South Asia for Sustained Productivity. In Donald L Sparks, ed. *Advances in Agronomy*, (127): 159–230. University of Delaware, USA.
22. He, Ping, Lia, S., Jina, J., Wang, H., Li, C., Wang, Y. & Cuie, R. 2009. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat-maize rotations in North-Central China. *Agronomy Journal* 101(6): 1489–1496.
23. Sepat, S. & Rana, D.S. 2013. Effect of Double No-till and Permanent Raised Beds on Productivity and Profitability of Maize (*Zea mays* L.) –wheat (*Triticum aestivum* (L.) Emend. Flori & Paol) Cropping System under Indo-Gangetic Plains of India. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4 (8): 787–790.
24. Bezner-Kerr, R., Snapp, S.S., Chirwa, M., Shumba, L. & Msachi, R. 2007. Participatory research on legume diversification with Malawian smallholder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture*, 43: 437–453.
25. Giller, K.E., Murwira, M.S., Dhlwayo, D.K.C., Mafongoya, P.L., & Mpeperek, S. 2011. Soyabean and sustainable agriculture in southern Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9: 50–58.
26. Kamanga, B.C.G., Kanyama-Phiri, G.Y., Waddington, S.R., Almekinders, C.J.M. & Giller, K.E. 2014. The evaluation and adoption of annual legumes by smallholder maize farmers for soil fertility maintenance and food diversity in central Malawi. *Food Security*, 6(1): 45–59.
27. Wilkins, R.J. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491): 517–525.
28. Garrity, D.P. 2011. *Making Conservation Agriculture ever green*. Keynote presentation 5th World Congress on Conservation Agriculture and 3rd Farming Systems Design Conference (WCCA5 and FSD3), 26–29 September 2011, Brisbane Australia.
29. Kluthcouski, J., Cobucci, T., Aidar, H., Yokoyama, L.P., Oliveira I.P. de, Costa, J.L. da S., Silva, J.G. da, Vilela, L., Barcellos, A. de O. & Magnobosco, C. de U. 2000. *Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: Integração lavoura-pecuária peolo consórcio de culturas anuais com forrageira, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional*. Santo Antônio de Goiás, Brazil: Embrapa Arroz e Feijão, 28pp. Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica 38.
30. Pacheco, A.R., de Queiroz Chaves, R. & Lana Nicoli, C.M. 2013. Integration of crops, livestock, and forestry: A system of production for the Brazilian Cerrados, pp.51–60. In C.H. Hershey & P. Neate, eds. *Eco-efficiency: From vision to reality (Issues in Tropical Agriculture series)* Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2013.
31. Vilrla, L., Macedo, M.C.M., Júnior, G.B.M. & Kluthcouski, J. 2003. Crop-livestock integration benefits. In: J. Kluthcouski, L.F. Stone & H. Aidar, eds. *Integração lavoura-pecuária. Embrapa Arroz e Feijão*, Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brazil.
32. FAO. 2007. *Tropical crop–livestock systems in conservation agriculture: the Brazilian experience* by Landers, J.N. 2007

- Integrated Crop Management 5. Rome. 92pp.
33. Timsina, J., Jat, M.L. & Majumdar, K. 2010. Rice-maize systems of South Asia: current status, future prospects and research priorities for nutrient management. *Plant Soil*, 335:65–82.
34. FAO. 2012. *Farmer Field Schools as a vehicle to help vulnerable smallholder farmers develop climate resilient farming systems: experiences based on FAO's work in South and Southeast Asia*. Presentation to the Second World Bank-FAO Expert Meeting, 14–16 May 2012, Bangkok, Thailand.
35. Sounkoura, A., Ousmane, C., Eric, S., Urbain, D., Soule, A., Sonia, P. & Joel, H. 2011. Contribution of rice and vegetable value chains to food security and incomes in the inland valleys of southern Benin and Mali: Farmers' Perceptions. In: *Agricultural Innovations for Sustainable Development. Contributions from the Finalists of the 2009/2010 Africa-wide Women and Young Professionals in Science Competitions*. 3(2): 51–56. CTA & FARA.
36. FAO. 2004. *Culture of fish in rice fields*. M. Halwart & M. Gupta, eds. Rome.
37. Khaleduzzaman, A.B.M., Akbar, M.A. & Shamsuddin, M. 2011. Integration of forage production with high-yielding rice variety cultivation in Bangladesh. In: H.P.S. Makkar, ed. *Successes and failures with animal nutrition practices and technologies in developing countries*. Proceedings of the FAO Electronic Conference, 1–30 September 2010, Rome. FAO Animal Production and Health Proceedings. No. 11. Rome.
38. Doran, J.W. & Zeiss, M.R. 2000. *Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality*. *Agronomy & Horticulture - Faculty Publications, Paper 15*. Lincoln (USA), University of Nebraska.
39. Lal, R. 2010. Eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Science*, Vol. 50 no. Supplement_1. Crop Science Society of America, Madison, WI. DOI: 10.2135/cropsci2010.01.0012.
40. Lal, R. 2015. World water resources and achieving water security. *Agronomy Journal*, 107: 4: pp.1526–1532.
41. Mrabet, R., Moussadek, R., Fadlaoui, A. & van Ranst, E. 2012. Conservation agriculture in dry areas of Morocco. *Field Crops Research*, 132: 84–94.
42. Moussadek, R., Mrabet, R., Dahan, A., Zouahri, M., Mourid, E. & Van Ranst, E. 2014. Tillage System Affects Soil Organic Carbon Storage and Quality in Central Morocco. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014. Article ID 654796 doi:10.1155/2014/654796.
43. Jat, M.L., Gathala, M.K., Ladha, J.K., Saharawat, Y.S., Jat, A.S., Kumar, V., Sharma, S.K., Kumar, V. & Gupta, R. 2009. Evaluation of precision land leveling and double zero till systems in the rice-wheat rotation: water use productivity, profitability and soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 105, 112–121.
44. Scopel, E., Findeling, A., Chavez Guerra, E. & Corbeels, M. 2005. Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. *Sustainable Development*, 25: 425–432 doi: 10.1051/agro:2005041.
45. Hasniati, D. & Shelton, M. 2005. *Sesbania grandiflora*: a successful tree legume in Lombok, Indonesia. *Tropical Grasslands Journal*, Vol. 39. 2005. p. 217.
46. Kaizzi, C.K., Ssali, H., Nansamba, A. & Vlek, P. 2007. The potential benefits of *Azolla*, Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in rice production under contrasting systems in eastern Uganda. In A. Bationo, B. Waswa, J. Kihara & J. Kimetu, eds. *Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*, pp 423–433.
47. Singh, M., Singh, V.P. & Reddy, K.S. 2001. Effect of integrated use of fertilizer N and FYM or green manure on transformation of NK and S and productivity of rice-wheat system on Vertisols. *Journal of the Indian Society Soil Science*, 49: 430–435.
48. Snapp, S.S., Mafongoya, P.L. & Waddington, S. 1998. Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 71: 185–200.
49. Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K.E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K.D., Smaling, E.M.A., Woomer, P.L. & Sanginga, N. 2010. Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*, 39(1): 17–24.
50. Nyamangara, J., Nyaradzo Masvaya, E., Tirivavi, R. & Nyengerai, K. 2013. Effect of hand-hoe based conservation agriculture on soil fertility and maize yield in selected smallholder areas in Zimbabwe. *Soil & Tillage Research* 126 (2013) 19–25.
51. Snapp, S., Jayne, T.S., Mhango, W., Benson, T. & Ricker-Gilbert, J. 2014. *Maize yield response to nitrogen in Malawi's smallholder production systems*. Malawi Strategy Support Program Working Paper No. 9. Washington, DC, IFPRI.
52. Buresh, R.J. & Wopereis, M. 2014. *Save and Grow: Rice*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rome, FAO. (mimeo).
53. Pampolino, M.F., Manguiat, J., Ramathanan, S., Gines, H.C., Tan, P.S., Chi, T.T.N., Rajendran, R. & Buresh, R.J. 2007. Environmental impact and economic benefits of site-specific nutrient management (SSNM) in irrigated rice systems. *Agricultural Systems*, 93(1): 1–24 doi:10.1016/j.agsy.
54. Biradar D.P., Aladakatti, Y.R., Rao, T.N. & Tiwari, K.N. 2006. Site-Specific Nutrient Management for maximization of crop yields in Northern Karnataka. *Better Crops*, 90(3): 33–35.
55. Bindraban, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A. & Rabbinge, R. 2015. Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*. DOI: 10.1007/s00374-015-1039-7.
56. Asaduzzaman, M. 2011. *Technology transfer and diffusion: Simple to talk about not so easy to implement*. A presentation made in WIPO Conference on Innovation and Climate Change, 11–12 July 2011. Geneva.
57. World Bank. 2012. *Agricultural innovation systems: An investment sourcebook*. Washington DC. DOI: 10.1596/978-0-8213-8684-2.
58. Ortiz-Monasterio J. & Raun, W. 2007. *Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico, using sensor based nitrogen management*. Paper presented at the International Workshop on Increasing Wheat Yield Potential. CIMMYT, Obregon, Mexico, 20–24 March 2006. *Journal of Agricultural Science*, 145: 215–222.
59. Sapkota, T.B., Majumdar, K., Jat, M.L., Kumar, A., Bishnoi, D.K., McDonald, A.J. & Pampolino, M. 2014. Precision nutrient management in conservation agriculture based wheat production of Northwest India: Profitability, nutrient use efficiency and environmental footprint. *Field Crops Research*, 155:233–244.
60. Lobell, D.B., Hammer, G.L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M.J. & Schlenker, W. 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3: 397–501.
61. Edmeades, G.O. 2015. *Maize – Improved varieties*. Paper prepared for FAO for Save and Grow: Maize, Rice and Wheat. Rome. (mimeo).
62. Borlaug Institute for South Asia. 2015. *Major Accomplishments 2012–2014*. BISA Report Series 1. New Delhi, India. 38pp.
63. Mackill, D. J., Ismail, A. M., Pampolina, A.M., Sanchez, D.L., Carandang, J.J. & Septiningsih, E.M. 2010. Stress-tolerant rice varieties for adaptation to a changing climate. *Crop, Environment & Bioinformatics*, 7: 250–259.
64. Solh, M., Braun, H-J. & Tadesse, W. 2014. *Save and Grow: Wheat*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rabat, ICARDA. (mimeo).
65. IAEA (International Atomic Energy Agency). 2010. *Mass screening techniques for selecting crops resistant to diseases*. IAEA-TDL-001, Vienna.
66. Cissoko, M., Boissard, A., Rodenburg, J., Press, M.C. & Scholes, J.D. 2011. New Rice

- for Africa (NERICA) cultivars exhibit different levels of post-attachment resistance against the parasitic weeds *Striga hermonithica*. *New Phytologist*, 192: 952–963.
67. Jamil, M., Rodenburg, J., Charnikhova, T. & Bouwmeester, H.J. 2011. Pre-attachment *Striga hermonithica* resistance of New Rice for Africa (NERICA) cultivars based on low strigolactone production. *New Phytologist*, 192: 964–975.
68. IRRI (International Rice Research Institute). 2015. Disease and pest resistant rice (available at <http://irri.org/our-work/research/better-rice-varieties/disease-and-pest-resistant-rice>).
69. HarvestPlus. 2014. *Biofortification progress briefs*. August 2014 (available at http://www.harvestplus.org/sites/default/files/Biofortification_Progress_Briefs_August2014_WEB_0.pdf).
70. Atlin, G.N., Palacios, N., Babu, R., Das, B., Twumasi-Afriyie, S., Friesen, D., De Groote, H., Vivek, B. & Pixley, K. 2011. Quality Protein Maize: Progress and Prospects. In J. Janick, ed. *Plant Breeding Reviews*, 34: 83–31. Wiley-Blackwell.
71. Babu, R., Palacios, N. & Prasanna, B.M. 2013. Biofortified maize – a genetic avenue for nutritional security. In R.K. Varshney & R. Tuberosa, eds. *Translational genomics for crop breeding: Abiotic stress, yield, and quality*. John Wiley & Sons, pp.161–176.
72. Mahmood, T. & Trethowan, R. 2015. Crop breeding for conservation agriculture. In M. Farooq & K.H.M. Siddique, eds. *Conservation agriculture*, pp.159–179.
73. Lopes, M., El-Basyoni, I., Baenziger, P.S., Singh, S., Royo, C., Ozbek, K., Aktas, H., Ozer, E., Ozdemir, F., Manickavelu, A., Ban, T. & Vikram, P. 2015. Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of Experimental Botany*, 2015 Jun;66(12):3477–3486. Epub 2015 Mar 28.
74. George, T.S., Hawes, C., Newton, A.C., McKenzie, B.M., Hallett, P.D. & Valentine, T.A. 2014. Field phenotyping and long-term platforms to characterise how crop genotypes interact with soil processes and the environment. *Agronomy* 4, no. 2: 242–278.
75. Brooker, R.W., Bennett, A. E., Cong, W.-F., Daniell, T.J., George, T.S., Hallett, P.D., Hawes, C., Iannetta, P.P.M., Jones, H.G., Karley, A.J., Li, L., McKenzie, B.M., Pakeeman, R.J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C.A., Zhang, C., Zhang, F., Zhang, J. & White, P.J. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206: 107–117. doi: 10.1111/nph.13132.
76. Hellin, J., Erenstein, O., Beuchelt, T., Camacho, C. & Flores, D. 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*. Volume 153, September 2013, pp.12–21.
77. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. & Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677. doi:10.1038/nature01014.
78. Trethowan, R., Manes, Y. & Chattha, T. 2009. *Breeding for improved adaptation to conservation agriculture improves crop yields*. Paper presented at the 4th World Congress on Conservation Agriculture, February 4–7, 2009, New Delhi, India.
79. Global Rice Science Partnership (GRiSP). 2013. *Rice almanac*, 4th edition. IRRI, Los Baños, Philippines, 283pp.
80. Smith, J.S., Jones, E. S., Nelson, B.K., Phillips, D.S. & Wineland, R.A. 2014. Genomic approaches and intellectual property protection for variety release: A perspective from the private sector. *Genomics of Plant Genetic Resources*. Springer Netherlands, 2014. pp.27–47.
81. Prasanna, B.M. 2015. *Climate-resilient maize development and delivery in the tropics through public-private partnerships: CIMMYT's experiences and perspective*. 5th International Workshop on Next Generation Genomics and Integrated Breeding for Crop Improvement (February 18 – 20, 2014), ICRISAT, Patancheru, India.
82. Joshi, A. K., Azab, M., Mosaad, M., Moselhy, M., Osmanzai, M., Gelalcha, S., Bedada, G., Bhatta, M. R., Hakim, A., Malaker, P. K., Haque, M. E., Tiwari, T. P., Majid, A., Jalal Kamali, M. R., Bishaw, Z., Singh, R. P., Payne, T. & Braun, H. J. 2011. Delivering rust resistant wheat to farmers: a step towards increased food security. *Euphytica* 179:187–196.
83. Lewis, V. & Mulvaney, P.M. 1997. *A typology of community seed banks*. Natural Resources Institute (NRI), University of Greenwich, Central Avenue and Intermediate Technology Development Group, Myson House, U.K.
84. Gadal, N., Bhandari, D.B., Pandey, A., Dilli Bahadur, K.C. & Dhami, N.B. 2014. Strengthening the local seed systems and disadvantaged communities: success and evolution of the first community-managed seed production company in the hills of Nepal. In B.M. Prasanna et al., eds. *Book of Extended Summaries, 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security*. Bangkok, Thailand, October 30 – November 1, 2014. CIMMYT, Mexico D.F. and APAARI, Bangkok, pp.238–242.
85. Lopes, M., Nesbitt, H., Spycykerelle, L., Pauli, N., Clifton, J. & Erskine, W. 2015. Harnessing social capital for maize seed diffusion in Timor-Leste. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:847–855.
86. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. 2007. *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute.
87. Yadvinder-Singh, Kukal, S.S., Jat, M.L. & Sidhu, H.S. 2014. Improving Water Productivity of Wheat-Based Cropping Systems in South Asia for Sustained Productivity. *Advances in Agronomy*, 127: 157–258.
88. Garg, K.K., Karlberg, L., Barron, J., Wani, S.P. & Rockstrom, J. 2012. Assessing impact of agricultural water interventions at the Kothapally watershed, Southern India. *Hydrological Processes*, 26(3): 387–404.
89. Singh, R., Garg, K.K., Wani, S.P., Tewari, R.K. & Dhyani, S.K. 2014. Impact of water management interventions on hydrology and ecosystem services in Garhkundar-Dabar watershed of Bundelkhand region, Central India. *Journal of Hydrology*, 509:132–149.
90. El-Swaify, S.A., Pathak, P., Rego, T.J. & Singh, S. 1985. Soil management for optimized productivity under rainfed conditions in the semi-arid tropics. *Advances in Soil Science*, 1: 1–64.
91. Molden, D., Oweis T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. & Kijine, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4): 528–535.
92. Amberger A. 2006. *Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics*. International Fertilizer Industry Association & International Potash Institute, France.
93. Ilbeyi, A., Ustun, H., Oweis T., Pala, M. & Benli, B. 2006. Wheat water productivity in a cool highland environment: Effect of early sowing with supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*, 82: 399–410.
94. IAEA. 2012. *Greater agronomic water use efficiency in wheat and rice using carbon isotope discrimination*. IAEA-TEC-DOC-1671, Vienna, Austria.
95. Sharma, P.C., Jat, H.S., Kumar, V., Gathala, M.K., Datta, A., Yaduvanshi, N.P.S., Choudhary, M., Sharma, S., Singh, L.K., Saharawat, Y., Yadav, A.K., Parwal, A., Sharma, D.K., Singh, G., Jat, M.L., Ladha, J.K. & McDonald, A. 2015. *Sustainable intensification opportunities under current and future cereal systems of North-West India*. Technical Bulletin: CSSRI/Karnal/2015/e. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.
96. ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas). 2013. *ICARDA Annual Report*. Beirut, Lebanon.
97. Marino, M. 2013. Raised beds prove their worth. *Partners magazine*. Winter 2013. Australian Center for International Agricultural Research. Canberra.
98. Mandal, K.G., Hati, K.M., Misra, A.K., Bandyopadhyay, K.K. & Tripathi, A.K. 2013. Land surface modification and crop diversification for enhancing productivity of a Vertisol. *International Journal of Plant Production* 7 (3). July 2013.

99. Gupta, R., Jat, R.K., Sidhu, H.S., Singh, U.P., Singh, N.K., Singh, R.G. & Sayre, K.D. 2015. *Conservation Agriculture for sustainable intensification of small farms*. Compendium of Invited Papers presented at the XII Agricultural Science Congress 3–6 February 2015, ICAR-National Dairy Research Institute, Karnal, India. pp.15.
100. Djaigba, J.F., Rodenburg, J., Zwart, S.J., Houndagba, C.J. & Kiepe, P. 2014. Failure and success factors of irrigation system developments: a case study from the Ouémé and Zou valleys in Benin. *Irrigation and Drainage*, 63(3): 328–329.
101. Rodenburg, J., Zwart, S.J., Kiepe, P., Narteh, L.T., Dogbe, W. & Wopereis, M.C.S. 2014. Sustainable rice production in African inland valleys: seizing regional potentials through local approaches. *Agricultural Systems*, 123: 1–11.
102. Richards, M. & Ole Sander, B. 2014. *Alternate wetting and drying in irrigated rice*. Practice brief – Climate-smart agriculture, April 2014 (available at <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/34363/retrieve>).
103. Lampayan, R.M., Rejesus, R.M., Singleton, G.R. & Bouman, B.A.M. 2015. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research*, 170: 95–108.
104. Kreye, C., Bouman, B.A.M., Reversat, G., Fernandez, L., Vera Cruz, C., Elazegui, F., Faronilo, J.E. & Llorca, L. 2009. Biotic and abiotic causes of yield failure in tropical aerobic rice. *Field Crops Research*, 112: 97–106.
105. Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144: 31–43.
106. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2015. Integrated Pest Management for Sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects* 2015, 6(1), 152–182; doi:10.3390/insects6010152.
107. Gould, F., Kennedy, G.G. & Johnson, M.T. 1991. Effects of natural enemies on the rate of herbivore adaptation to resistant host plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 58: 1–14.
108. Gallagher, K.D., Kenmore, P.E. & Soga-wa, K. 1994. Judicial use of insecticides deter planthopper outbreaks and extend the life of resistant varieties in southeast Asian rice. pp 599–614. *In* R.F. Denno & T.J. Perfect, eds., *Planthoppers-their ecology and management*. New York, Chapman and Hall.
109. Heong, K.L., Escalada, M.M., Huan, N.H., Chien, H.V. & Quynh, P.V. 2010. Scaling out communication to rural farmers: lessons from the “Three Reductions, Three Gains” campaign in Vietnam. *In* F.G. Palis, G.R. Singleton, M.C. Casimero & B. Hardy, eds. *Research to impact: case studies for natural resource management for irrigated rice in Asia*, pp.207–220. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute. 370pp.
110. Gallagher, K.D. 1998. *Farmer Field Schools for Integrated Pest Management in Africa with Special Reference to East Africa*. *Proceedings of the National Pre-Season Planning Workshop on the Implementation of Field School Groups for Integrated Production and Pest Management*. 31 August–1 September, 1998. ZIPAM, Darwendale. Government of Zimbabwe and FAO Global IPM Facility. Rome.
111. FAO. 2004b. *IPM Farmer Field Schools: A synthesis of 25 impact evaluations*. Rome, Global IPM Facility.
112. Hruska, A.J. & Corriols, M. 2002. The impact of training in integrated pest management among Nicaraguan maize farmers: increased net returns and reduced health risk. *International Journal of Occupational and Environmental Health*. Vol. 8, Issue 3 (01 July 2002), pp.191–200.
113. Tejada, T. 1990. Uso de aceite en el control de *Heliothis zea* y *Euxesta* sp. en el cultivo de maiz. *Memorias de la XIV Reunion de Maiceros de la Zona Andina y la I Reunion Suramericana de los Maiceros*. Maracay, Venezuela. 7pp.
114. Abanto, W., Narro, L. & Chavez, A. 1998. Control del gusano mazorquero (*Heliothis zea*, Boddie) en maiz amiláceo mediante la aplicación de aceite de consume humano. p. 530–538. *In* C. De Leon, L. Narro & S. Reza, eds. *Memorias IV Reunión Latinoamericana y XVII Reunión de la Zona Andina de Investigadores en Maíz*. Agosto 10–17, 1997. CORPOICA, Ceres, Colombia.
115. Tapia, I., Bermeo, D.B., Silva, E. & Racines, M. 1999. Evaluación de cuatro métodos de aplicación de aceite comestible vegetal en el control de *Heliothis zea* y *Euxesta* sp. en la sierra del Ecuador. *Proc. XVIII Reunión Latinoamericana del Maíz*. Sete Lagoas, Brazil. pp.671–675.
116. Valicente, F.H. 2008. Controle biológico da lagarta do carucho, *Spodoptera frugiperda*, com *Bacillus thuringiensis*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 105; 9pp.
117. Valicente, F. H., Tuelher, E. De S. & Barros, E.C. 2010. Processo de formulação do *Baculovirus spodoptera* em pó molhável. Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 156; 5pp. Sete Lagoas, Brazil.
118. Cruz, I., Figueiredo, M.L.C., Silva, R.B. & Foster, J.E. 2010. Efficiency of chemical pesticides to control *Spodoptera frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Vol.9, n.2, p.107–122, 2010.
119. Oswald, A. & Ransom, J. 2001. *Striga* control and improved farm productivity using crop rotation. *Crop Protection*, Vol. 20, Issue 2, March 2001, pp.113–120.
120. Rodenburg, J., Cissoko, M., Kayeke, J., Dieng, I., Khan, Z.R., Midega, C.A.O., Onyuka, E.O. & Scholes, J.D. 2015. Do NERICA rice cultivars express resistance to *Striga hermonthica* (Del.) Benth. and *Striga asiatica* (L.) Kuntze under field conditions? *Field Crops Research*, 170 (2015): 83–94.
121. Conner, R. L., Kuzyk, A. D. & Su, H. 2003. Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(4): 725–728.
122. Duveiller, E., Singh, R. P. & Nicol, J. M. 2007. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. *Euphytica*, 157(3): 417–430.
123. FAO. 2011. *History of IPM/FFS in Iran*. FAO project GTFS/REM/070/ITA Regional Integrated Pest Management (IPM) Programme in the Near East. Rome.

Capítulo 3. Sistemas agrícolas que permiten ahorrar y crecer

El sistema “atracción-repulsión” impulsa la producción láctea

1. Khan, Z. & Pickett, J. 2009. *Push-pull strategy for insect pest management*. Nairobi. ICIPE.
2. Midega, C.A.O., Khan, Z.R., Van den Berg, J., Ogol, C.K., Bruce, T.J. & Pickett, J.A. 2009. Non-target effects of the ‘push-pull’ habitat management strategy: Parasitoid activity and soil fauna abundance. *Crop Protection* 28 (2009) 1045–1051.
3. International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE). 2010. *Impact assessment of push-pull technology developed and promoted by ICIPE and partners in eastern Africa*. Nairobi.
4. Khan, Z., Midega, C., Pittchar, J., Murage, A., Birkett, M., Bruce, T. & Pickett, J. 2012. Achieving food security for one million sub-Saharan African poor through push-pull innovation by 2020. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B: Biological Sciences* 2014 Apr 5; 369(1639).
5. ICIPE. 2013. *Climate-smart push-pull: resilient, adaptable conservation agriculture for the future*. Nairobi.
6. Murage, A.W., Midega, C.A.O., Pittchar, J.O., Pickett, J.A. & Khan, Z.R. 2015. Determinants of adoption of climate-smart push-pull technology for enhanced food security through integrated pest management in eastern Africa. *Food Security* 7(3), 709–724.

Mayores rendimientos gracias a plantas sanas en suelos sanos

1. Sharma, P.K. & De Datta, S.K. 1986. Physical properties and processes of puddled rice soil. *Advances in Soil Science* 5: 139–178.
2. Africare, Oxfam America, WWF-ICRISAT Project. 2010. *More Rice for People, More Water for the Planet*. WWF-ICRISAT Project, Hyderabad, India.
3. Berkhout, E., Glover, D. & Kuyvenhoven,

- A. 2015. On-farm impact of the System of Rice Intensification (SRI): Evidence and knowledge gap. *Agricultural Systems* 132: 157–166.
4. Buresh, R.J. 2015. Nutrient and fertilizer management in rice systems with varying supply of water. In P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns, eds. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI). Paris.
5. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción (<http://faostat.fao.org>).
6. Uphoff, N. 2008. *Farmer innovations improving the System of Rice Intensification* (available at http://www.future-agricultures.org/farmerfirst/files/T1a_Uphoff.pdf).
7. Thakur, A., Uphoff, N. & Antony, E. 2009. An assessment of physiological effects of System of Rice Intensification (SRI) practices compared with recommended rice cultivation practices in India. *Experimental Agriculture* (2010), Vol. 46 (1), pp.77–98.
8. Hameed, K., Mosa, A. & Jaber, F. 2011. Irrigation water reduction using System of Rice Intensification compared with conventional cultivation methods in Iraq. *Paddy Water Environment* (2011) 9:121–127.
9. Ceesay, M., Reid, W., Fernandes, E. & Uphoff, N. 2006. The effects of repeated soil wetting and drying on lowland rice yield with system of Rice Intensification (SRI) methods. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 4:1, 5–14.
10. Wu, W., Ma, B.-L. & Uphoff, N. 2015. A review of the system of rice intensification in China. *Plant and Soil, August 2015, Vol. 393, Issue 1, pp.361–381*.
11. Barah, B. 2009. Economic and ecological benefits of System of Rice Intensification (SRI) in Tamil Nadu. *Agricultural Economics Research Review*. Vol. 22, July-December 2009, pp.209–214.
12. Zhao, L., Wu, L., Li, Y., Lu, X., Zhu, D. & Uphoff, N. 2009. Influence of the System of Rice Intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different n application rates. *Experimental Agriculture* (2009), Vol. 45, pp.275–286.
13. Zhao, L., Wu, L., Wu, M. & Li, Y. 2011. Nutrient uptake and water use efficiency as affected by modified rice cultivation methods with reduced irrigation. *Paddy Water Environment* (2011) 9:25–32.
14. Dhital, K. 2011. *Study on System of Rice Intensification in transplanted and direct-seeded versions compared with standard farmer practice in Chitwan, Nepal*. Tribhuvan University Institute of Agriculture and Animal Science, Rampur, Chitwan, Nepal.
15. Dzung, N.T. 2011. *Simple and effective-SRI and agriculture innovation*. System of Rice Intensification website. (available at http://sri.ciifad.cornell.edu/countries/vietnam/VN_SRI_booklet_Eng2012.pdf).
16. Nga, N., Rodriguez, D., Son, T. & Buresh, R.J. 2010. Development and impact of site-specific nutrient management in the Red River Delta of Vietnam. pp.317–334. In F.G. Palis, G.R. Singleton, M.C. Casimero & B. Hardy, eds. *Research to impact. case studies for natural resource management for irrigated rice in Asia*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
17. Choi, J.D., Kim, G.Y., Park, W.J., Shin, M., Choi, Y.H., Lee, S., Kim, S.J. & Yun, D.K. 2014. Effect of SRI water management on water quality and greenhouse gas emissions in Korea. *Irrigation & Drainage*, 63: 266–270.
18. Tuong, T. & Bouman, B. 2003. Rice production in water-scarce environments. In J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden, eds. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. CAB International.
19. Gathorne-Hardy, A., Narasimha Reddy, D., Venkatanarayana, M. & Harriss-White, B. 2013. A life-cycle assessment (LCA) of greenhouse gas emissions from SRI and flooded rice production in S.E. India. *Taiwan Water Conservancy*, 61:110–125.
20. Wassmann, R., Hosen, Y. & Sumfleth, K. 2009. *Reducing methane emissions from irrigated rice*. Focus 16(3). Washington, DC, IFPRI.
21. Yan, X., Akiyama, H., Kazuyuki, Y. & Akimoto, H. 2009. Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 23, Issue 2, June 2009.
22. Anas, I., Rupela, O.P., Thyagarajan, T.M. & Uphoff, N. 2011. A review of studies on SRI effects on beneficial organisms in rice soil rhizospheres. *Paddy Water Environment*, 9:53–64.
23. Lin, Xianqing, Zhu, D. & Lin, Xijun. 2011. Effects of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics. *Paddy Water Environment* (2011) 9:33–39.
24. Uphoff, N., Kassam, A. & Thakur, A. 2013. Challenges of Increasing Water Saving and Water Productivity in the Rice Sector: Introduction to the System of Rice Intensification (SRI) and this issue. 2013. *Taiwan Water Conservancy* Vol. 61, No. 4.
25. Borlaug Institute for South Asia. 2015. *Major accomplishments 2012–2014*. BISA Report Series 1, pp.13. New Delhi.
26. Lu, S.H., Dong, Y.J., Yuan, J., Lee, H. & Padilla, H. 2013. A high-yielding, water-saving innovation combining SRI with plastic cover on no-till raised beds in Sichuan, China. *Taiwan Water Conservancy*, 61: 4, 94–109.

Más maíz, menos erosión en las laderas tropicales

1. Ayarza, M. & Welchez, L. 2004. Drivers Affecting the Development and Sustainability of the Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS) on Hillside of Honduras. In A. Noble, ed. *Comprehensive assessment "bright spots" project final report*. Cali, Colombia. CIAT.
2. CIAT. 2009. *Quesungual slash and mulch agroforestry system (QSMAS): Improving crop water productivity, food security and resource quality in the subhumid tropics*. CPWF Project Report. Cali, Colombia.
3. Gangloff, G., Marohn, C., Tellez, O. & Cadisch, G. 2015. *Land use change: Identifying biophysical and socio-economic factors determining adoption of the Quesungual agroforestry system*. Paper prepared for the Tropentag Conference 2015, Management of land use systems for enhanced food security: conflicts, controversies and resolution. Humboldt-Universität, Berlin.
4. CIAT. 2009. *Quesungual slash and mulch agroforestry system: an eco-efficient option for the rural poor*. Cali, Colombia.

Los beneficios adicionales del cultivo de leguminosas antes del trigo

1. Dong, Z., Wu, L., Kettlewell, B., Caldwell, C. & Layzell, D. 2003. Hydrogen fertilization of soils – is this a benefit of legumes in rotation? *Plant, Cell and Environment* (2003) 26, 1875–1879.
2. Pulse Australia. 2008. *Australian Pulse Bulletin*. PA 2008 (4). 5pp. Melbourne, Australia.
3. Evans J., McNeill A.M., Unkovich M. J., Fettell N.A. & Heenan D.P. 2001. Net nitrogen balances for cool-season grain legume crops and contributions to wheat nitrogen uptake: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 347–359.
4. Peoples, M.B., Brockwell, J., Herridge, D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Dakora, F.D., Bhattarai, S., Maskey, S.L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D.F., Hauggaard-Nielsen, H. & Jensen, E.S. 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48: 1–17.
5. Griffiths, J. 2009. Legumes – benefits beyond nitrogen. *Farming Ahead*, 211:57–58.
6. Pala, M., Van Duivenbooden, N., Studer, C. & Bilders, C.L. 1999. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture. In N. Van Duivenbooden, M. Pala, C. Studer & C.L. Bilders, eds. *Efficient soil water use: the key to sustainable development in the dry areas of West Asia, and North and Sub-Saharan Africa*. Proceedings of the 1998 (Niger) and 1999 (Jordan) work-

shops of the Optimizing Soil Water Use (OSWU) Consortium. ICARDA, Aleppo and ICRIASAT, Patancheru, pp.299–330.

7. Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D. & Harris, H.C. 1987. Improving Water use Efficiency of Annual Crops in the Rainfed Farming Systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture*, 23: 113–158. doi:10.1017/S001447970001694X.

8. Ryan, J., Masri, S., Ibrıcki, H., Singh, M., Pala, M. & Harris, H.C. 2008. Implications of cereal-based crop rotations, nitrogen fertilization, and stubble grazing on soil organic matter in a Mediterranean-type environment. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32: 289–297.

9. Fischer R.A., Byerlee D. & Edmeades G.O. 2014. *Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world?* ACIAR Monograph No. 158. Canberra. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra.

10. Kassam, A. 2014. *Save and Grow: Soil health*. Paper presented at the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome 15–17 December 2014. Rome.

11. Tutwiler, R., Haddad, N. & Thomson, E.F. 1997. Crop-livestock integration in the drier areas of west Asia and north Africa. In: N. Haddad, R. Tutwiler & E.F. Thomson, eds. *Improvement of crop-livestock integration systems in west Asia and north Africa*. Proceedings of the Regional Symposium, 6–8 November, 1995, pp.5–22 Amman, Jordan. ICARDA, Aleppo.

12. Pala, M., Ryan, J., Zhang, H., Singh, M. & Harris, H.C. 2007. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 93(3): 136–144. doi:10.1016/j.agwat.2007.07.001.

13. Gan, Y.T., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R.L., Campbell, C.A. & Zentner, R.P. 2014. Improving farming practices reduce the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications* 5, Article number:5012.

14. Hailu, G., Tarekegn, A. & Asmare, E. 1989. Beneficial break crops for wheat production. *Ethiopian Journal of Agricultural Science*, 11(1): 15–24.

15. Higgs, R., Arthur, L., Peterson, E. & Paulson, W.H. 1990. Crop rotations: sustainable and profitable. *Journal of Soil and Water Conservation*, 45: 68–70.

16. Amanuel, G., Kühne, R.F., Tanner, D.G. & Vlek, P.L.G. 2000. Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biology and Fertility of Soils*, 32: 353–359.

17. Tanner, D.G., Yilma, Z., Zweie, L. & Gebru, G. 1994. Potential for cereal-based double cropping in Bale Region of Ethiopia. *African Crop Science Journal*, 2:135–143.

18. Asefa T., Tanner, D.G., Kefyalew, G. & Gofu, A. 1997. Grain yield of wheat as affected by cropping sequence and fertilizer application in southeastern Ethiopia. *African Crop Science* 1, 5:147–159.

19. Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., Fahramand, M. & Rigi, K. 2014. Effect of intercropping in agronomy. *Journal of Novel Applied Sciences*, 3 (3): 315–320, 2014.

Las "bombas de nutrientes" alimentan el ganado y nutren el maíz

1. Rao, I., Peters, M., van der Hoek, R., Castro, A., Subbarao, G., Cadisch, G. & Rincón, A. 2014. Tropical forage-based systems for climate-smart livestock production in Latin America. *Rural* 21 04/2014: 12–15.

2. Resende, Á.V., Furtini Neto, A.E., Alves, V.M.C., Curi, N., Muniz, J.A., Faquin, V., & Kinpara, D.I. 2007. Phosphate efficiency for corn following *Brachiaria* grass pasture in the Cerrado Region. *Better Crops*. 91(1): 17–19.

3. CGIAR (Consultative Group for International Agricultural Research). 2013. 'Grassroots action' in livestock feeding to help curb global climate change. Research Program on Livestock and Fish (available at <http://livestockfish.cgiar.org/2013/09/14/bnii/>).

4. CIAT. 2010. *Livestock, climate change and Brachiaria*. CIAT Brief No. 12.

5. Holmann, F., Rivas L., Argel, P. & Pérez E. 2004. Impact of the adoption of *Brachiaria* grasses: Central America and Mexico. *Livestock Research for Rural Development* 16 (12) 2004.

6. CIAT. 2013. *The impacts of CIAT's collaborative research*. Cali, Colombia.

7. Klink, C.A. & Moreira, A.G. 2002. Past and current human occupation, and land use. pp.69–88. In P.S. Oliveira & R.J. Marquis, eds. *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York, USA. Columbia University Press.

8. Diniz-Filho, J.A.F., de Oliveira, G., Lobo, F., Ferreira, L.G., Bini, L.M. & Rangel, T.F.L.V.B. 2009. Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. *Scientia Agricola*, 66(6):764–771.

9. Pacheco, A. R., de Queiroz Chaves, R. & Lana Nicoli, C.M. 2013. Integration of Crops, Livestock, and Forestry: A System of Production for the Brazilian Cerrados. pp.51–60. In C.H. Hershey & P. Neate, eds. *Eco-efficiency: From vision to reality (Issues in Tropical Agriculture series)* Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2013.

10. Marouelli, R.P. 2003. *O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro*. Ecobusiness School of the Instituto Superior de Administração e Economia – Fundação Getulio Vargas (ISEA-FGV). Brasília, Brazil. (MBA Thesis).

11. Scopel, E., Triomphe, B., dos Santos

Ribeiro, MdeF., Séguy, L., Denardin, J.E. & Kochhann, R.A. 2004. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America. In R.A. Fischer, ed. *New directions for a diverse planet*. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.

12. Kluthcouski, J., Cobucci, T., Aidar, H., Yokoyama, L.P., Oliveira I.P. de, Costa, J.L. da S., Silva, J.G. da, Vilela, L., Barcellos, A. de O. & Magnobosco, C.de U. 2000. *Sistema Santa Fé – Tecnologia Emprapa: Integração lavoura-pecuária peolo consórcio de culturas anuais com forrageira, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 28pp. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica 38).

13. Séguy, L., Bouzinac, S., Scopel, E. & Ribeiro, M.F.S. 2003. *New concepts for sustainable management of cultivated soils through direct seeding mulch based cropping systems: the CIRAD experience, partnership and networks*. Proceedings of the II World congress on Sustainable Agriculture "Producing in harmony with nature", Iguacu, Brazil, 10–15 August 2003.

14. Séguy, L., Bouzinac, S., Maronezzi, A.C., Belot, J.L. & Martin, J. 2001. *A safrinha de algodão - opção de cultura arriscada ou alternativa lucrativa dos sistemas de plantio direto nos trópicos úmidos – Boletim técnico 37 da COODETEC CP 301 85806-970 Cascavel – PR / Brazil*.

15. Kluthcouski, J. & Pacheco-Yokoyama, L. 2006. Crop-livestock integration options. In J. Kluthcouski, L.F. Stone & H. Aidar, eds. *Integração Lavoura-Pecuária EMBRAPA Arroz e Feijão*. Santo Antônio de Goiás, Brazil.

La agricultura de conservación como clave de la seguridad alimentaria

1. Gupta, R. & Sayre, K. 2007. Conservation agriculture in South Asia. Paper presented at the International Workshop on Increasing Wheat Yield Potential, CIMMYT, Obregon, Mexico, 20–24 March 2006. *Journal of Agricultural Science*, 145, 207–214.

2. Sharma, B.R., Amarasinghe, U., Cai, X., de Condappa, D., Shah, T., Mukherji, A., Bharati, L., Ambili, G., Qureshi, A., Pant, D., Xenarios, X., Singh & R. & Smakhtin, V. 2010. The Indus and the Ganges: river basin under extreme pressure. *Water International*, 35, 493–521.

3. Ladha, J., Yadvinder-Singh, Erenstein O. & Hardy B., eds. 2009. *Integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia*. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute.

4. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción (<http://faostat.fao.org>).

5. Chauhan, B.S., Mahajan, G., Sardana, V., Timsina, J. & Jat, M.L. 2012. Productivity and Sustainability of the Rice-Wheat Cropping System in the Indo-Gangetic

- Plains of the Indian subcontinent: Problems, Opportunities, and Strategies. *Advances in Agronomy* 117: 316–355.
6. Gautam, P. 2008. Emerging issues and strategies in the rice-wheat cropping system in the Indo-Gangetic Plains. In Y. Singh, V. Singh, B. Chauhan, A. Orr, A. Mortimer, D. Johnson & B. Hardy, eds. *Direct Seeding of rice and weed management in the irrigated rice-wheat cropping system of the Indo-Gangetic Plains*. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute & Pantnagar, India, Directorate of Experiment Station, G.B. Pant University of Agriculture and Technology.
 7. Erenstein, O. 2009. Reality on the ground: Integrating germplasm, crop management, and policy for wheat farming system development in the Indo-Gangetic Plains in 2009. In J. Dixon, H. Braun, P. Kosina & J. Croun, eds. *Wheat facts and futures 2009*. Mexico, D.F., CIMMYT.
 8. Malik, R. K., Singh, S. & Yadav, A. 2007. Effect of sowing time on grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rice-wheat cropping system. *Haryana Agricultural University Journal of Research*, 37: 103–105.
 9. Singh, S., Sharma, R.K., Gupta, R.K. & Singh, S.S. 2008. Changes in rice-wheat production technologies and how rice-wheat became a success story: lessons from zero-tillage wheat. In *Direct Seeding of rice and weed management in the irrigated rice-wheat cropping system of the Indo-Gangetic Plains*. Y. Singh, V. Singh, B. Chauhan, A. Orr, A. Mortimer, D. Johnson & B. Hardy, eds. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute, and Pantnagar, India, G.B. Pant University of Agriculture and Technology.
 10. Erenstein, O. & Laxmi, V. 2008. Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems. *Soil Tillage Research*, 100, 1–14.
 11. Gupta, R., Jat, R.K., Sidhu, H.S., Singh, U.P., Singh, N.K., Singh, R.G. & Sayre, K.D. 2015. *Conservation Agriculture for sustainable intensification of small farms*. Compendium of Invited Papers presented at the XII Agricultural Science Congress 3–6 February 2015, ICAR-National Dairy Research Institute, Karnal, India. pp 15.
 12. ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research). 2008. Permanent beds and rice-residue management for rice-wheat systems in the Indo-Gangetic Plain. In E. Humphreys & C.H. Roth eds. Proceedings of a workshop, Ludhiana, India, 7–9 September 2006. Canberra.
 13. Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Jat, M.L. & Bishnoi, D. 2015. On-farm economic and environmental impact of zero-tillage wheat: a case of north-west India. *Experimental Agriculture*, 51: 1–16., Cambridge University Press 2014. doi:10.1017/S001447971400012X.
 14. IRRI. 2009. *Revitalizing the rice-wheat cropping systems of the Indo-Gangetic Plains: Adaptation and adoption of resource-conserving technologies in India, Bangladesh, and Nepal*. Final report submitted to the United States Agency for International Development. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute.
 15. Jat, M.L. 2006. Land levelling: a precursor technology for resource conservation. *Rice-wheat consortium Technical Bulletin*, Series 7. New Delhi. Rice-wheat Consortium for the Indo-Gangetic plains.
 16. Aryal, J., Bhatia, M., Jat, M.L. & Sidhu, H.S. 2014. Impacts of laser land leveling in rice-wheat rotations of the North-western Indo-Gangetic Plains of India. Paper presented at the World Congress of Environmental and Resource Economists, 28 June–2 July 2014, Istanbul, Turkey.
 17. Hussain, I., Hassain Shah, M., Khan, A., Akhtar, W., Majid, A. & Mujahid, M. 2012. Productivity in rice-wheat crop rotation of Punjab: an application of typical farm methodology. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, Vol. 25, No. 1, pp 1–11.
 18. Singh, R., Erenstein, O., Gattala, M., Alam, M., Regmi, A., Singh, U., Mujeeb ur Rehman, H. & Tripathi, B. 2009. Socioeconomics of integrated crop and resource management technologies in the rice-wheat systems of South Asia: Site contrasts, adoption, and impact using village survey findings. In J. Ladha, Yadvinder-Singh, O. Erenstein & B. Hardy, eds. *Integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia*. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute.
 19. Fischer, R.A., Byerlee, D. & Edmeades, G.O. 2014. *Crop yields and global food security: Will yield increase continue to feed the world?* ACIAR Monograph No. 158. Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research.
 20. Yamano, T., Baruah, S., Sharma, R. & Kumar, A. 2013. *Factors affecting the adoption of direct-seeded rice in the northeastern Indo-Gangetic Plain*. CSISA Socioeconomics Policy Brief. New Delhi: International Rice Research Institute.
 21. Gathala, M.K., Kumar, V., Sharma, P.C., Saharawat, Y.S., Jat, H.S., Singh, M., Kumar, A., Jat, M.L., Humphreys, E., Sharma, D.K., Sharma, S. & Ladha, J.K. 2013. Optimizing intensive cereal-based cropping systems addressing current and future drivers of agricultural change in the north-western Indo-Gangetic Plains of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 177: 85–97.
 22. Sidhu, H.S., Singh, Manpreet, Yadvinder-Singh, Blackwell, J., Lohan, S.K., Humphreys, E., Jat, M.L., Singh, V. & Sarabjeet-Singh, 2015. Development and evaluation of the Turbo Happy Seeder for sowing wheat into heavy rice residues in NW India. *Field Crops Research*. In Press.
 23. Sharma, P.C., Jat, H.S., Kumar, V., Gathala, M.K., Datta, A., Yaduvanshi, N.P.S., Choudhary, M., Sharma, S., Singh, L.K., Saharawat, Y., Yadav, A.K., Parwal, A., Sharma, D.K., Singh, G., Jat, M.L., Ladha, J.K. & McDonald, A. 2015. *Sustainable intensification opportunities under current and future cereal systems of North-West India*. Technical Bulletin: CSSRI/Karnal/2015/e. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India. 46pp.
 24. Jat, M.L., Gupta, R.K., Erenstein, O. & Ortiz, R. 2006. Diversifying the intensive cereal cropping systems of the Indo-Ganges through horticulture. *Chronica Horticulturae* 46 (3), 27–31.
-
- El sistema tradicional hace un uso más productivo de la tierra**
1. Cerrate, A. & Camarena, F. 1979. Evaluación de ocho variedades de maíz en sistema asociado con frijol en el Callejón de Huaylas, Perú. pp.151–155. *Informativo del Maíz*. Univ. Nac. Agraria. Numero Extraordinario, Vol. III, Lima, Perú.
 2. Gordon, R., Franco, J., Gonzalez A. & de Garcia, N. 1997. Evaluación de variedades de Vigna (*Vigna unguiculata*) para asociación con el cultivo de maíz en Azuero, Panamá. pp.146–148. In J. Bolaños, ed. *Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe, Síntesis de resultados experimentales 1993–1995*, CIMMYT, PRM, Guatemala.
 3. Francis, C.A. 1981. Development of plant genotypes for multiple cropping systems. In K.J. Frey, ed. *Plant Breeding II*. The Iowa State University Press, Ames. 497pp.
 4. Laing, D.R. 1978. *Competencia en los sistemas de cultivos asociados de maíz-frijol*. pp.174–178. Proc. VIII Reunión de Maiceros de la Zona Andina. I Reunión Latinoamericana de Maíz, Lima, Perú.
 5. Mathews, C., Jones, R.B. & Saxena, K.B. 2001. Maize and pigeonpea intercropping systems in Mpumulanga, South Africa. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletter*, 8:53.
 6. Marer, S.B., Lingaraju, B.S. & Shashidhara, G.B. 2007. Productivity and economics of maize and pigeonpea intercropping under rainfed condition in northern transitional zone of Karnataka. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 20:1–3.
 7. Ngwira, A., Aune, J. & Mkwinda, S. 2012. On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, 132 (2012) 149–157
 8. Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., Nyamangar, J. & Giller, K. 2012. Maize-grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder farmers in central Mozambique. *Field Crops Research*, 136 (2012) 12–22.

9. Herrera, A.P., Gordon, R., Franco, J., García, N., Martínez, L., González, A. & Sain, G. 1993. Análisis económica de la aplicación de nitrógeno en maíz en rotación con leguminosas bajo dos tipos de labranza, Rio Hato, Panama, 1992–93. pp.167–169. In J. Bolaños, G. Sain, R. Urbina & H. Barreto, eds. *Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe, Síntesis de resultados Experimentales 1992*. CIMMYT, PRM, Guatemala.
10. Marinus, W. 2014. *Cowpea-maize relay cropping. A method for sustainable agricultural intensification in northern Ghana?* Plant production systems. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands.
11. Ortiz-Ceballos, A., Aguirre-Rivera, J., Salgado-García, S. & Ortiz-Ceballos, G. 2015. Maize-velvet bean rotation in summer and winter *milpas*: a greener technology. *Agronomy Journal*, 107: 1: 330–336.
12. Mekuria, M., Kassie, M., Nyagumbo, I., Marenja, P. & Wegary, D. 2014. Sustainable intensification of maize-legume based systems: Lessons from SIMLESA. In B.M. Prasanna *et al.*, eds. *Book of Extended Summaries, 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security*. Bangkok, Thailand, October 30 – November 1, 2014. CIMMYT, Mexico D.F. and APAARI, Bangkok, pp.379–386.
13. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción (<http://faostat.fao.org>).
14. Sanginga, N., Dashiell K.E., Diels, J., Vanlauwe, B., Lyasse, O., Carsky, R.J., Tarawali, S., Asafo-Adjei, B., Menkir, A., Schulz, S., Singh, B.B., Keatinge, D. & Ortiz, R. 2003. Sustainable resource management coupled to resilient germplasm to provide new intensive cereal-grain-legume-livestock system in the dry savanna. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 100: 305–314.
15. Landau, E. C., Cruz, J.C., Hirsch, A. & Guimaraes, D.P. 2012. Expansão potencial do plantio de 2a safra de milho no Brasil no sistema de rotação soja-milho considerando o zoneamento de risco climático. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 36pp.
16. Kerr, R. B., Snapp, S., Chirwa, M., Shumba, L. & Msachi, R. 2007. Participatory research on legume diversification with Malawian smallholder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture*, 43:437–453.
17. Thierfelder, C., Cheesman, S. & Rusinamhodzi, L. 2012. Benefits and challenges of crop rotation in maize-based conservation agriculture (CA) cropping system of Southern Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*. DOI:10.1080/14735903.2012.703894:1–17.

Cosechas más abundantes en los arrozales

1. Halwart M. 2013. Valuing aquatic biodiversity in agricultural landscapes. In J. Fanzo, D. Hunter, T. Borelli & F. Mattei, eds. *Diversifying food and diets – using agricultural biodiversity to improve nutrition and health*. Bioversity International, pp.88–108.
2. FAO. 2004. *Culture of fish in rice fields*. M. Halwart & M. Gupta, eds. Rome
3. FAO. 2014. *Aquatic biodiversity in rice-based ecosystems: Studies and reports from Indonesia, LAO PDR and the Philippines*. M. Halwart & D. Bartley, eds. The Asia Regional Rice Initiative: Aquaculture and fisheries in rice-based ecosystems. Rome.
4. FAO. 2014. *Aquaculture and fisheries in rice-based ecosystems*. The Asia Regional Rice Initiative factsheet. Rome.
5. FAO. 2007. Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in China. Miao, W.M. & Mengqing, L. 2007. In M. Hasan, T. Hecht & S. De Silva, eds. *Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development*. FAO Fisheries Technical Paper 497. Rome.
6. FAO. 2012. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012*. Roma.
7. Suryana, A. *Regional Rice Initiative Implementation in Indonesia: Progress and lessons learned*. Presentation at a Side Event of the 149th Session of the FAO Council, Rome, 18 June 2014.

El costo de los árboles es menor que el de los fertilizantes

1. Garrity, D., Akinnifesi, F., Ajayi, O., Weldesemayat, S., Mowo, J., Kalinganire, A. Larwanou, M. & Bayala, J. 2010. Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security* (2010) 2:197–214.
2. Haggblade, S. & Tembo, G. 2003. *Early evidence on conservation farming in Zambia*. EPTD Discussion Paper 108. Washington DC: International Food Policy Research Institute.
3. Barnes R. & Fagg, C. 2003. *Faidherbia albida*. Monograph and Annotated Bibliography. Tropical Forestry Papers No 41, Oxford. Forestry Institute, Oxford, UK. 281pp.
4. Spevacek, A.M. 2011. *Acacia (Faidherbia) albida*. KSC Research Series. US Agency for International Development, New York. 15pp.
5. Shitumbanuma, V. 2012. *Analyses of crop trials under Faidherbia albida*. Conservation Farming Unit, Zambia National Farmers Union. Lusaka.
6. Phombeya, H. 1999. Nutrient sourcing and recycling by *Faidherbia albida* trees in Malawi. PhD Dissertation, Wye College, University of London. 219pp.
7. Ajayi, C., Akinnifesi, F., Sileshi, G., Kanjipite, W. 2009. Labour inputs and financial

profitability of conventional and agroforestry-based soil fertility management practices in Zambia. *Agrekon* 48:246–292.

8. Adesina, A., Coulibaly, O., Manyong, V., Sanginga, P.C., Mbila, D., Chianu, J. & Kamleu, D.G. 1999. *Policy shifts and adoption of alley farming in West and Central Africa*. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 21pp.

Los agricultores dejan de arar en la estepa de Kazajstán

1. CIMMYT. 2013. Water-saving techniques salvage wheat in drought-stricken Kazakhstan. In: *Wheat research, Asia*. 21 March 2013 (available at <http://www.cimmyt.org/>).
2. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción (<http://faostat.fao.org>).
3. Nurbekov, A., Akramkhanov, A., Lamers, J., Kassam, A., Friedrich, T., Gupta, R., Muminjanov, H., Karabayev, M., Sydyk, D., Turok, J. & Malik Bekenov, M. 2014. Conservation agriculture in Central Asia. In R. Jat, K. Sahrawat & A. Kassam, eds. *Conservation agriculture: Global prospects and challenge*. CAB International.
4. Karabayev, M., Morgounov, A., Braun, H.-J., Wall, P., Sayre, K., Zelenskiy, Y., Zhapayev, R., Akhmetova, A., Dvurechenskiy, V., Iskandarova, V., Friedrich, T., Fileccia, T. Guadagni, M. 2014. Effective Approaches to Wheat Improvement in Kazakhstan: Breeding and Conservation Agriculture. *Journal of Bahri Dagdas Crop Research* (1–2):50–53, 2014.
5. FAO. 2012. *Conservation agriculture in Central Asia: Status, policy, institutional support, and strategic framework for its promotion*. FAO Sub-Regional Office for Central Asia. December 2012. Ankara.
6. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Comercio (<http://faostat.fao.org>).
7. Karabayev, M. & Suleimenov, M. 2010. *Adoption of conservation agriculture in Kazakhstan*. In: Lead papers 4th World Congress on conservation agriculture: Innovations for improving efficiency, equity and environment. 4–7 February 2009. New Delhi.
8. Derpsch, R. & Friedrich, T. 2009. *Development and current status of no-till adoption in the world*. Rome, FAO.
9. FAO. 2009. *Importance of zero-tillage with high stubble to trap snow and increase wheat yields in Northern Kazakhstan*. FAO Investment Centre, June 2012. Rome.
10. FAO. 2012. *Advancement and impact of conservation agriculture/no-till technology adoption in Kazakhstan*. FAO Investment Centre information note. Rome.
11. Kienzler, K., Lamers, J., McDonald, A., Mirzabaev, A., Ibragimov, N., Egamberdiev, O., Ruzibaev, E. & Akramkhanov, A. 2012. Conservation agriculture in Central Asia – What do we know and where do we go

from here? *Field Crops Research* 132 (2012) 95–105

12. Zhapayev, R., Iskandarova, K., Toderich, K., Paramonova, I., Al-Dakheel, A., Ismail, S., Pinnamaneni, S.R., Omarova, A., Nekrasova, N., Balpanov, D., Ten, O., Ramanculov, E., Zelenskiy, Y., Akhmetova, A. & Karabayev, M. 2015. Sweet sorghum genotypes testing in the high latitude rainfed steppes of the northern Kazakhstan (for feed and biofuel). *Journal of Environmental Science and Engineering B* 4 (2015) 25–30. doi: 10.17265/2162-5263/2015.01.004.

13. Karabayev, M. 2012. *Conservation agriculture adoption in Kazakhstan*. A presentation made in WIPO Conference on Innovation and Climate Change, 11–12 July 2011. Geneva.

14. Lamers, J., Akramhanov, A., Egamberdiev, A., Mossadegh-Manschadi, A., Tursunov, M., Martius, C., Gupta, R., Sayre, K., Eshchanov, R. & Kienzler, S. 2010. *Rationale for conservation agriculture under irrigated production in Central Asia: Lessons learned*. In: Lead papers 4th World Congress on conservation agriculture: Innovations for improving efficiency, equity and environment. 4–7 February 2009. New Delhi.

15. FAO. 2014. *Conservation agriculture for irrigated areas in Azerbaijan, Kazakhstan, Turkmenistan and Uzbekistan*. Project GCP/RER/030/TUR Terminal report. Rome.

16. World Bank. *No-till: A climate smart agriculture solution for Kazakhstan*. August 2013 (available at <http://www.worldbank.org>).

Las variedades híbridas contribuyen a la adaptación al cambio climático

1. Timsina, J., Buresh, R.J., Dobermann, A. & Dixon, J. 2011. *Rice-maize systems in Asia: current situation and potential*. pp.7–26 and 161–171. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute and International Maize and Wheat Improvement Center. 232pp.

2. FAO. 2015. FAOSTAT. Base de datos estadísticos en línea: Producción (<http://faostat.fao.org>).

3. Ali, M.Y., Waddington, S.R., Hodson, D., Timsina, J. & Dixon, J. 2009. *Maize-rice cropping systems in Bangladesh: Status and research opportunities*. Working Paper, Mexico DF: CIMMYT.

4. Gathala, M.K., Timsina, J., Islam, Md. S., Rahman, Md. M., Hossain, Md. I., Harun-Ar-Rashid, Md., Ghosh, A.K., Krupnik, T. J., Tiwari, T.P. & McDonald, A. 2014. Conservation agriculture based tillage and crop establishment options can maintain farmers' yields and increase profits in South Asia's rice-maize systems: Evidence from Bangladesh. *Field Crops Research*, 172: 85–98.

5. Borlaug Institute for South Asia. 2015. *Major Accomplishments 2012–2014*. BISA

Report Series 1. New Delhi, India. 38pp.

6. Hasan, M.M., Waddington, S.R., Haque, M.E., Khatun F. & Akteruzzaman, M. 2007. Contribution of whole family training to increased production of maize in Bangladesh. *Progressive Agriculture (Bangladesh)* 18(1): 267–281.

7. CIMMYT. 2009. *Maize motorizes the economy in Bangladesh*. CIMMYT E-News, Vol. 6 No. 5, August 2009 (available at <http://www.cimmyt.org/>).

8. CIMMYT. 2009. *Don't put all your eggs in one basket: Bangladesh tries maize cropping for feed*. CIMMYT E-News, Vol. 6 No. 2, February 2009 (available at <http://www.cimmyt.org/>).

Capítulo 4. El camino por recorrer

1. FAO, FIDA y PMA. 2015. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos*. Roma.

2. FAO. 2010. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2010. La inseguridad alimentaria en crisis prolongadas*. Roma.

3. FAO. 2011. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. FAO, Rome and Earthscan, London.

4. Viala, E. 2008. Water for food, water for life a comprehensive assessment of water management in agriculture. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(1), 127–129.

5. FAO. 2011. *Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola*. Roma.

6. FIDA. 2010. *Informe sobre la pobreza rural 2011. Nuevas realidades, nuevos desafíos: nuevas oportunidades para la generación del mañana*. Roma.

7. FAO. 2012. *Hacia el futuro que queremos. Erradicación del hambre y transición a sistemas agrícolas y alimentarios sostenibles*. Roma.

8. FAO. 2014. *Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles: Principios y enfoques*. Roma.

9. Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. & Cattaneo, A. 2014. Adoption and intensity of adoption of conservation farming practices in Zambia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 187, (2014) pp.72–86.

10. FAO. 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in Malawi*, by Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A., Cattaneo, A. & Kachulu, M. ESA Working Paper No. 14–08. Rome.

11. UNEP (United Nations Environmental Programme). 2014. *A guidance manual for green economy policy assessment*. UNEP.

12. FAO. 2012. *Mejoramiento de los sistemas*

alimentarios con vistas a la adopción de dietas sostenibles en una economía verde. FAO GEA Rio+20 Working Paper 4. Roma.

13. FAO. 2014. *Meeting farmers' aspirations in the context of green development*. Regional Conference for Asia and the Pacific, Thirty-second session. Ulaanbaatar, Mongolia, 10–14 March 2014. Rome

14. FAO. 2015. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*, by Arslan, A., Belotti, F. & Lipper, L. Rome.

15. FAO. 2011. *Climate-smart agriculture: smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation*, by McCarthy, N., Lipper, L. & Branca, G. FAO Working Paper, Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 4, Rome.

16. HLPE (Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición). 2013. *Inversión en la agricultura a pequeña escala en favor de la seguridad alimentaria*. Un informe del grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. FAO. Roma.

17. FAO. 2012. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2012. Invertir en la agricultura para construir un futuro mejor*. Roma.

18. FAO. 2014. *Institutional procurement of staples from smallholders. The case of purchase for progress in Kenya*. Rome.

19. HLPE. 2012. *Protección social en favor de la seguridad alimentaria*. Un informe del grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. FAO. Roma.

20. FAO. 2013. *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2013. Las múltiples dimensiones de la seguridad alimentaria*. Roma.

21. FAO. 2015. *An in-depth review of the evolution of integrated public policies to strengthen family farms in Brazil*, by Del Grossi, M.E. & Vicente, P.M. de Azevedo Marques. ESA Working Paper No. 15–01. Rome.

22. Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. 2015. *Principios para la inversión responsable en la agricultura y los sistemas alimentarios*. FAO. Roma.

23. HLPE. 2011. *Tenencia de la tierra e inversiones internacionales en agricultura e inversiones internacionales en agricultura*. HLPE Rapport 2. FAO. Roma.

24. FFAO. 2012. *Directrices voluntarias sobre la Gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, la pesca y los bosques en el contexto de la seguridad alimentaria nacional*. Roma.

25. FAO, IFAD, UNCTAD & World Bank. 2010. *Principles for responsible agricultural investment that respects rights, livelihoods and resources. Extend-*

ed version. Discussion note. (available at http://siteresources.worldbank.org/INTARD/214574-1111138388661/22453321/Principles_Extended.pdf).

26. FAO. 2014. *Developing sustainable food value chains – Guiding principles*. Rome.

27. FAO. 2015. *The rice value chain in Tanzania. A report from the Southern Highlands Food Systems Programme*. Rome.

28. Demont, M. & Ndour, M. 2015. Upgrading rice value chains: Experimental evidence from 11 African markets. *Global Food Security*, Vol. 5, June 2015, pp.70–76.

29. Pardey, P., Alston, J. & Chan-Kang, C. 2013. Public agricultural R&D over the past half century: an emerging new world order. *Agricultural Economics* 44(1): 103–113.

30. Marslen, T. 2014. *Declining Research and Development Investment: A Risk for Australian Agricultural Productivity. Strategic Analysis Paper*. Dalkeith (Australia), Future Directions International.

31. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2015. Integrated Pest Management for Sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects* 2015, 6(1), 152–182.

32. Casão Junior, R., de Araújo, A.G. & Fuentes-Llanillo, R. 2012. *No-till agriculture in southern Brazil: Factors that facilitated the evolution of the system and the development of the mechanization of conservation farming*. Londrina, Brazil. IAPAR and Rome, FAO.

33. Friedrich, T., Derpsch, R. & Kassam, A. 2012. Global overview of the spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports Special Issue (Reconciling*

Poverty Alleviation and Protection of the Environment), 6: 1–7.

34. Sims, B.G., Thierfelder, C., Kienzle, J., Friedrich, T. & Kassam, A. 2012. Development of the Conservation Agriculture Equipment Industry in Sub-Saharan Africa. *Applied Engineering in Agriculture* 28(6):1–11.

35. FAO. 2013. Mechanization for rural development: a review of patterns and progress from around the world. *Integrated crop management*, Vol. 20–2013. Rome.

36. Mrema G., Soni, P. & Rolle, R. 2014. *A regional strategy for sustainable agricultural mechanization*. FAO. Bangkok.

37. Ortiz, R. 2013. Marker-aided breeding revolutionizes 21st century crop improvement. In G.K. Agrawal & R. Rakwal, eds. *Seed development: OMICS technologies toward improvement of seed quality and crop yield*. Springer, New York. pp.435–452.

38. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. & Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677. doi:10.1038/nature01014.

39. Bindraban, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A. & Rabbinge, R. 2015. Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*. DOI: 10.1007/s00374-015-1039-7.

40. Tangtrakulwanich, K., Reddy, G., Wu, S., Miller, J.H., Ophus, V.L. & Prewett, J. 2014. Efficacy of entomopathogenic fungi and nematodes, and low risk insecticides against wheat stem sawfly. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 6, No. 5, May 2014.

41. FAO & World Bank. 2010. *FAO/World Bank workshop on reducing post-harvest losses in grain supply chains in Africa, FAO Headquarters, 18–19 March 2010 - Lessons learned and practical guidelines*. Rome.

42. FAO. 2012. *Greening the economy with climate-smart agriculture*. Rome.

43. FAO. 2014. *Appropriate seed and grain storage systems for small-scale farmers: key practices for DRR implementers*. Rome.

44. Buresh, R.J., & Wopereis, M. 2014. *Save and Grow: Rice*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. FAO. (mimeo).

45. FAO. 2003. *World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective*. J. Bruinsma, ed. London. Earthscan.

46. Pretty, J.N. 2003. Social capital and the collective management of resources. *Science* 302, 1912 (2003). DOI: 10.1126/science.1090847.

47. FAO. 2013. *Draft guide for national seed policy formulation*. Report to the Fourteenth Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome, 15–19 April 2013.

48. Solh, M., Braun, H-J. & Tadesse, W. 2014. *Save and Grow: Wheat*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rabat, ICARDA. (mimeo).

Abreviaturas

AC	agricultura de conservación	FIDA	Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola	IRRI	Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz
BISA	Instituto Borlaug para el sur de Asia	GAEZ	zonas agroecológicas mundiales	MIP	Manejo integrado de plagas
CGIAR	Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional	GNFU	gestión de nutrientes en función de la ubicación	NERICA	Nuevo arroz para África
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical	I+D	investigación y desarrollo	OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	ICARDA	Centro internacional de investigación agrícola en las zonas secas	OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
CSIRO	Organización de Investigación Científica e Industrial del Commonwealth	ICIPE	Centro internacional de fisiología y ecología de los insectos	ONG	organización no gubernamental
EMBRAPA	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria	ICRISAT	Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas	OSC	organización de la sociedad civil
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	IIASA	Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados	SAQ	sistema agroforestal Quesungual
				SIA	Sistema de intensificación del arroz
				UNCTAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo

Glosario

Agricultura de conservación (AC). Gestión del suelo que protege la estructura, composición y biodiversidad del mismo gracias a una perturbación mínima del suelo, cobertura superficial permanente y rotación de cultivos

Ahorrar para crecer. Modelo de la FAO de *intensificación sostenible de la producción agrícola*

Arroz cultivado por anegamiento (o arroz cáscara). Arroz cultivado en tierras que se anegan antes del *recubrimiento de las raíces con barro* y luego se mantienen continuamente anegadas hasta la madurez del cultivo

Barbecho (también rotación de barbecho). Fase en la *rotación de cultivos* en la que, de forma deliberada, la tierra no se utiliza para producir un cultivo

Biomasa. Material biológico obtenido de organismos vivos, que no suele utilizarse para alimentación humana o animal

Cubierta vegetal. Capa de material orgánico, por ejemplo los *residuos de las cosechas*, utilizada para cubrir el suelo a fin de conservar la humedad, eliminar las malas hierbas y reciclar los nutrientes del suelo

Cultivo de abono verde. Un cultivo, por ejemplo hierba, que genera residuos que sirven de *cubierta vegetal*

Cultivo de cobertura. Cultivo plantado durante periodos de *barbecho* para proteger el suelo, reciclar nutrientes y controlar la maleza

Cultivo de relevo. Plantación de un segundo cultivo en un campo antes de haber cosechado el primero

Cultivo intercalado. Plantación simultánea de dos o más cultivos en el mismo campo

Cultivo sin labranza. La práctica de *agricultura de conservación* de *siembra en surco* sin labranza previa del suelo

Eficiencia en el uso del agua. La relación entre el agua utilizada por el metabolismo de las plantas y el agua que se pierde en la atmósfera

Escuela de campo para agricultores. Enseñanza colectiva de prácticas basadas en los ecosistemas que reducen el uso de plaguicidas y mejoran la sostenibilidad de los rendimientos de los cultivos

Estructura del suelo. La disposición de partículas individuales de arena, limo y arcilla en el suelo

Fertilizante mineral. Fertilizante elaborado por procesos químicos e industriales

Fijación biológica del nitrógeno. Conversión del nitrógeno atmosférico, por ejemplo por bacterias en los nódulos de raíces de leguminosas, en una forma utilizable por las plantas

Intensificación sostenible. Aprovechamiento máximo de la producción primaria por unidad de insumo sin poner en peligro las posibilidades del sistema de mantener su capacidad productiva

Intensificación sostenible de la producción agrícola. Agricultura basada en los ecosistemas que produce más a partir de la misma superficie de tierra y, al mismo tiempo, conserva los recursos naturales y mejora los *servicios ecosistémicos*

Lechos elevados. Suelo en forma de lechos de unos 50 cm a 2,5 m de ancho, de cualquier longitud y de 15 cm de altura

Lechos elevados permanentes. *Lechos elevados* que se siembran en surco a través de una *cubierta vegetal de residuos de las cosechas*

Legumbre. *Leguminosa de grano*, como por ejemplo la lenteja, que se cosecha para obtener su semilla seca

Leguminosa. Planta de la familia de las Fabaceae (o Leguminosae)

Leguminosa de grano. Leguminosa, como por ejemplo el frijol, que produce semillas utilizadas como alimento

Leguminosa forrajera. *Leguminosa herbácea* o arbórea que proporciona hojas y tallos para pastoreo o para su utilización en silos.

Manejo integrado de plagas (MIP). Estrategia que fomenta la lucha contra las plagas con una utilización mínima de productos químicos

Materia orgánica del suelo. Todos los materiales orgánicos que se encuentran en el suelo

Monocultivo. Producción de un único cultivo en la misma tierra, año tras año, utilizando productos químicos agrícolas para luchar contra las plagas y fertilizar el suelo

Nivelación del terreno asistida por láser. Eliminación de los desniveles en la superficie del suelo utilizando un emisor láser y un receptor montado en un tractor con cuchilla de nivelación

Óxido nitroso. Importante gas de efecto invernadero producido principalmente en suelos agrícolas y vinculado al uso excesivo de *fertilizantes minerales*

Productividad del agua. La cantidad o valor del producto sobre el volumen o valor del agua agotada o desviada

Recubrimiento de raíces con barro (arroz). El recubrimiento de suelos anegados para crear una capa fangosa antes de trasplantar las plántulas

Residuos de las cosechas. Partes de plantas que quedan después de haber cosechado un cultivo

Rotación de cultivos. Alternancia de especies o familias de cultivos en el mismo campo

Sembradora en líneas. Máquina empleada en la *agricultura de conservación* que dispone las semillas a la misma distancia entre ellas y a una profundidad adecuada, y las cubre con suelo

Servicios ecosistémicos. Beneficios derivados de los ecosistemas que sostienen la vida

Siembra directa. Siembra de semillas sin arar o sachar previamente el terreno

Siembra en seco. Siembra de semillas en suelo seco

Siembra en surco. Siembra de semillas en hileras a una distancia y profundidad óptimas, utilizando una *sembradora en líneas*

Tensión abiótica. Efecto negativo de factores no vivos, como por ejemplo las temperaturas extremas

Tensión biótica. Efecto negativo de factores vivos, por ejemplo insectos



**“Presenta unas directrices bien
definidas para la producción
sostenible en los países en desarrollo”.**

Sanjay Rajaram
galardonado con el Premio Mundial
de Alimentación (2014)

**“Oportuno e importante. Ofrece
ejemplos excelentes y establece
los principios con claridad”.**

Jules Pretty
Universidad de Essex (Reino Unido)

ISBN 978-92-5-308519-4



9 789253 085194

I4009S/1/03.16