

La importancia de los intercambios internacionales de recursos fitogenéticos para la mejora de los cultivos en Guatemala

Working Paper No. 154

CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)

Wotzbeli Mendez
Gea Galluzzi
Eduardo Say



RESEARCH PROGRAM ON
Climate Change,
Agriculture and
Food Security



Working Paper

La importancia de los intercambios internacionales de recursos fitogenéticos para la mejora de los cultivos en Guatemala

Working Paper No. 154

CGIAR Research Program on Climate Change,
Agriculture and Food Security (CCAFS)

Wotzbeli Mendez
Gea Galluzzi
Eduardo Say

Correct citation:

Mendez W, Galluzzi G, Say E. 2015. La importancia de los intercambios internacionales de recursos fitogenéticos para la mayor de los cultivos en Guatemala. CCAFS Working Paper no. 154. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark. Available online at: www.ccafs.cgiar.org

Titles in this Working Paper series aim to disseminate interim climate change, agriculture and food security research and practices and stimulate feedback from the scientific community.

The CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) is a strategic partnership of CGIAR and Future Earth, led by the International Center for Tropical Agriculture (CIAT). The Program is carried out with funding by CGIAR Fund Donors, the Danish International Development Agency (DANIDA), Australian Government (ACIAR), Irish Aid, Environment Canada, Ministry of Foreign Affairs for the Netherlands, Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT), UK Aid, Government of Russia, the European Union (EU), New Zealand Ministry of Foreign Affairs and Trade, with technical support from the International Fund for Agricultural Development (IFAD).

Contact:

CCAFS Coordinating Unit - Faculty of Science, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Rolighedsvej 21, DK-1958 Frederiksberg C, Denmark. Tel: +45 35331046; Email: ccaafs@cgiar.org

Creative Commons License



This Working Paper is licensed under a Creative Commons Attribution – NonCommercial–NoDerivs 3.0 Unported License.

Articles appearing in this publication may be freely quoted and reproduced provided the source is acknowledged. No use of this publication may be made for resale or other commercial purposes.

© 2015 CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). CCAFS Working Paper no. 154

DISCLAIMER:

This Working Paper has been prepared as an output for the Flagship 4 Program under the CCAFS program and has not been peer reviewed. Any opinions stated herein are those of the author(s) and do not necessarily reflect the policies or opinions of CCAFS, donor agencies, or partners.

All images remain the sole property of their source and may not be used for any purpose without written permission of the source.

Resumen

Una de las principales consideraciones para la creación del Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura y de su Sistema Multilateral para el acceso y la distribución de beneficios es el reconocimiento de la interdependencia de todos los países sobre los recursos genéticos de los cultivos y forrajes más importantes para la seguridad alimentaria global. Para apoyar la implementación de un sistema global de acceso e intercambio de recursos fitogenéticos, contribuyendo al desarrollo agrícola y la adaptación al cambio climático de los países, es necesario apreciar los beneficios de los intercambios históricos de germoplasma y reconocer que es urgente que un sistema de intercambio facilitado siga en pie y se expanda en el futuro. Tomando el caso de Guatemala, y del maíz y frijoles como cultivos principales, el artículo describe la dinámica de los recursos genéticos de estos dos cultivos, tanto dentro como fuera del país, en el pasado y mirando hacia el futuro. Se ilustra así el grado en que Guatemala depende de germoplasma de otros países para su seguridad alimentaria, y cómo, de manera complementaria, otros países dependen de germoplasma procedente de Guatemala. Se espera que la información presentada aquí estimule y facilite la implementación del Tratado Internacional y del Sistema Multilateral en el país.

Keywords

Recursos fitogenéticos; Sistema Multilateral; interdependencia; cambio climático.

Sobre los autores

Wotzbeli Mendez, consultor para el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Representación en Guatemala, 2da Avenida 7-15, Zona 14, Los Arcos, Ciudad Guatemala, Apartado 76-A. Email: wmendez99@hotmail.com

Gea Galluzzi, Bioversity International, Oficina para las Americas, km 17 Recta Cali Palmira, Cali, Colombia. Email: geagalluzzi@gmail.com

Eduardo Say, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Representación en Guatemala, 2da Avenida 7-15, Zona 14, Los Arcos, Ciudad Guatemala, Apartado 76-A. Email: esay@catie.ac.cr.

Agradecimientos

Los autores agradecen el Proyecto “Iniciativa de Políticas para los Recursos Fitogenéticos (GRPI 2)” para el apoyo financiero.

Contents

Introducción	7
Descripción general de la agricultura en Guatemala	8
El maíz y el frijol: orígenes, difusión y actual importancia en Guatemala.....	10
Maíz	10
Frijol.....	11
Colaboraciones regionales e internacionales para la investigación agrícola y el intercambio de recursos fitogenéticos.....	13
El intercambio de los recursos fitogenéticos para hacer frente al impacto del cambio climático.....	17
Conclusiones	22
Referencias	23

Introducción

Desde los orígenes de la agricultura hasta alrededor de la década de 1980, la idea predominante era considerar los recursos genéticos (incluidos los destinados a la alimentación y la agricultura) como patrimonio común de la humanidad, una idea que no planteaba limitaciones o reglas formales para su intercambio y uso, independientemente de que tan lejos de su zona de origen ocurrieran estos hechos. Sin embargo, la utilización creciente de los derechos de propiedad intelectual en el ámbito biológico condujo gradualmente a un escenario internacional en el que los países ricos en diversidad, sobre todo en el mundo en desarrollo, sintieron que les estaban 'robando' los beneficios derivados de la explotación comercial de los recursos procedentes de sus territorios, y por ello comenzaron a exigir la abolición del principio de libre acceso a los recursos genéticos. Después de años de negociaciones, su demanda fue reconocida en 1992 por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el cual establece la soberanía de los países sobre los recursos naturales y genéticos que se encuentran dentro de sus fronteras, y define las condiciones y procedimientos necesarios para obtener acceso a estos (esto es, la normativa sobre acceso y distribución de beneficios). En 1993, la Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) pidió a la Comisión de Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación (establecida a principios de 1980) que acogiera las negociaciones intergubernamentales para abordar las cuestiones que no fueron cubiertas por el CDB, o que no encajaban en el marco establecido por el CDB. Entre estos temas estaba el estado de las colecciones *ex situ*, la identificación de un origen/proveedor unívoco para los recursos genéticos de los cultivos (que, a diferencia de las especies naturales, tienden a ser el resultado de generaciones de selección por las comunidades agrícolas en diferentes entornos), y los derechos de los agricultores. Después de siete años, estas negociaciones llevaron al desarrollo del Tratado Internacional sobre los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura (TIRFAA). El TIRFAA establece un sistema multilateral de acceso y distribución de beneficios (en adelante, el SML) a través del cual los países crearon una reserva de recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación (RFAA) de sesenta y cuatro cultivos y forrajes prioritarios y de importancia mundial, para ser utilizados con fines de utilización y conservación para la investigación, mejoramiento y la capacitación para la alimentación y la agricultura. A cambio de poner sus propios RFAA en esta reserva, los países obtienen acceso a los RFAA de todos los demás países que sean Partes Contratantes del Tratado Internacional, junto con las colecciones de las organizaciones internacionales que han firmado acuerdos con el órgano rector del Tratado. El TIRFAA establece los requisitos de distribución de beneficios obligatorios: cuando los usuarios del SML comercialicen nuevos RFAA que incorporen materiales del SML, y no permitan que otros utilicen esos RFAA en investigación y mejoramiento, deben pagar el 1,1% de las ventas brutas a un fondo internacional -creado en el marco del TIRFAA- para la distribución de beneficios. Este fondo se utiliza para apoyar la investigación y desarrollo de capacidades en los países en desarrollo, en proyectos seleccionados a través de un sistema de concurso público.

La razón principal para la creación del sistema multilateral se basa en el hecho de que los países son altamente interdependientes de los recursos genéticos de cultivos y forrajes para su seguridad alimentaria. Apreciar la medida en que cada país miembro

del TIRFAA depende de los recursos de otros países para su desarrollo agrícola es un paso importante para entender por qué la participación en el sistema multilateral es tan relevante.

Esperamos que los datos presentados en este documento de trabajo contribuyan a incrementar el conocimiento de diferentes actores sobre cuánto depende Guatemala para su seguridad alimentaria del germoplasma procedente de otros países, y cómo, de manera complementaria, otros países dependen del germoplasma de Guatemala. Los análisis incluyen una parte retrospectiva, que recorre la historia de la domesticación o la introducción de cultivos clave en Guatemala y su posterior adopción y difusión; una descripción de algunos logros actuales importantes derivados de los intercambios internacionales de RFAA; y un análisis de las necesidades potenciales de germoplasma para responder a los posibles impactos del cambio climático en la producción agrícola de Guatemala en el futuro.

El documento de trabajo comienza con una visión general del sistema agrícola de Guatemala. A partir de ahí, presentamos análisis más pormenorizados del maíz y el frijol, centrándonos en los flujos de recursos genéticos de estos dos cultivos, tanto hacia dentro como hacia fuera del país, a lo largo de los pasados años y en el futuro.

La investigación que aquí se presenta fue apoyada por la Iniciativa de Políticas sobre Recursos Genéticos (GRPI2, según sus siglas en inglés), un proyecto que tiene lugar en varios países y cuyo objetivo es fortalecer las capacidades nacionales para la implementación del Tratado Internacional y su sistema multilateral. Bioversity International proporciona la coordinación internacional y apoya la investigación dentro del proyecto. En Guatemala, el proyecto fue dirigido por el Ministerio de Agricultura y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)¹.

Descripción general de la agricultura en Guatemala

La agricultura es la columna vertebral de la economía de Guatemala, ya que contribuye al 25% del PIB, empleando a más de la mitad de la fuerza laboral y representando dos tercios de las exportaciones, principalmente de café, azúcar, banano y carne de res. Las pequeñas explotaciones agrícolas constituyen más del 80% del número total de fincas en Guatemala, pero ocupan sólo el 10% de la superficie cultivada. La mayoría de las pequeñas explotaciones se concentran en las tierras altas, el "Altiplano", donde la población es predominantemente de ascendencia maya; y en el este, el 'Oriente', donde la población es mixta o 'mestiza'. Existen tradiciones culturales fuertes entre la gente del Altiplano, que están protegidas mediante el uso de los distintos idiomas indígenas, aunque actualmente la mayoría de los hombres adultos también hablan español como segunda lengua. Tanto en el Altiplano y el Oriente, así como en las tierras bajas del departamento de Petén, la pobreza rural está muy extendida. Esta pobreza se debe en gran parte a la desigualdad en la distribución

¹ También se están desarrollando los escritos que establecen resultados comparables entre los siete países. Una vez terminadas estarán disponibles en el blog del proyecto GRPI en <http://grpi2.wordpress.com/about/grpi-2/>; en la página de publicaciones de Bioversity International en <https://www.bioversityinternational.org/e-library/publications/>; y en la página del Programa Colaborativo sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CAAFS) en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/5468>

de la tierra: el 3% de los propietarios posee el 70% de la tierra, y esta minoría domina el cultivo de las regiones costeras fértiles.

La mayoría de los pequeños agricultores de Guatemala producen cultivos de subsistencia principalmente para el consumo doméstico, y utilizan la venta de los excedentes para la compra de otros bienes necesarios. En algunas zonas del Altiplano, donde el tamaño promedio de la finca rara vez excede media hectárea, las familias completan sus ingresos mediante el trabajo fuera de la finca, y llevan a cabo el trabajo artesanal de textiles, cerámica y otras actividades. El principal cultivo alimentario cultivado por estos agricultores a pequeña escala es el maíz, junto a los frijoles, seguido por el trigo, el sorgo, papas y habas (IFAD 1992). Sin embargo, la producción nacional es insuficiente para cubrir la demanda nacional de alimentos, y muchas familias pobres se enfrentan a escasez de alimentos según las temporadas. Como una fuente alternativa de empleo e ingresos, un número creciente de agricultores han acudido a cultivos no tradicionales (como arveja china, brócoli, coliflor y melón), que se han promovido desde la década de 1990 por las políticas agrícolas del gobierno orientadas al crecimiento de las exportaciones. Mientras que los rendimientos pueden ser fructíferos, se requieren insumos costosos para producir estos cultivos de acuerdo con las normas exigidas para la exportación. La arveja china o guisante de nieve se ha convertido en uno de los cultivos no tradicionales más importantes de Guatemala, lo que genera más de 50 millones de dólares anuales en exportaciones a los Estados Unidos de América (EE.UU.). Su producción cuesta seis veces más que los cultivos tradicionales como el maíz, pero las ganancias pueden ser de hasta quince veces más. Sin embargo, los precios de la arveja china son muy volátiles, creando incertidumbre entre los agricultores de pequeña escala (The New Agriculturalist 2015).

En los últimos años, el Pacto Hambre Cero fue lanzado como una colaboración intersectorial para reducir la desnutrición y la pobreza rural. El Pacto tiene como objetivo apoyar al sector de la agricultura familiar en el país, mediante la mejora de las capacidades de los pequeños agricultores para producir alimentos básicos como el maíz y el frijol, y el uso de prácticas de manejo sostenible. Los esfuerzos cubren toda la gama de operaciones agrícolas, desde el manejo del suelo y de los cultivos, al manejo de la cosecha y el procesamiento del producto. También incluye aspectos como el acceso a los mercados y a insumos como semillas de calidad de variedades locales o mejoradas. El Pacto incorpora factores socioeconómicos y también incluye la vulnerabilidad al cambio climático, tomando en cuenta la exposición que tienen los agricultores pobres, en particular en las zonas marginales, a los desafíos que plantea el aumento de las sequías y altas temperaturas (Gobierno de Guatemala 2012). La posibilidad de disponer de la diversidad genética necesaria y una mejor utilización de dicha diversidad genética puede ser determinante en las estrategias destinadas a aumentar la producción a pequeña escala de cultivos básicos, como el Pacto Hambre Cero. Varias iniciativas regionales confirman la importante contribución de la diversidad genética a la seguridad alimentaria, como el Programa de Fitomejoramiento Participativo (FP), y el proyecto Semillas para el Desarrollo liderado por la FAO, que ponen el énfasis, desde diferentes ángulos, en la mejora y difusión de variedades locales e introducidas de granos básicos del país. Todas estas circunstancias recalcan la importancia de la participación del país en el SML, relevancia que se ampliará en las siguientes secciones.

El maíz y el frijol: orígenes, difusión y actual importancia en Guatemala

Maíz

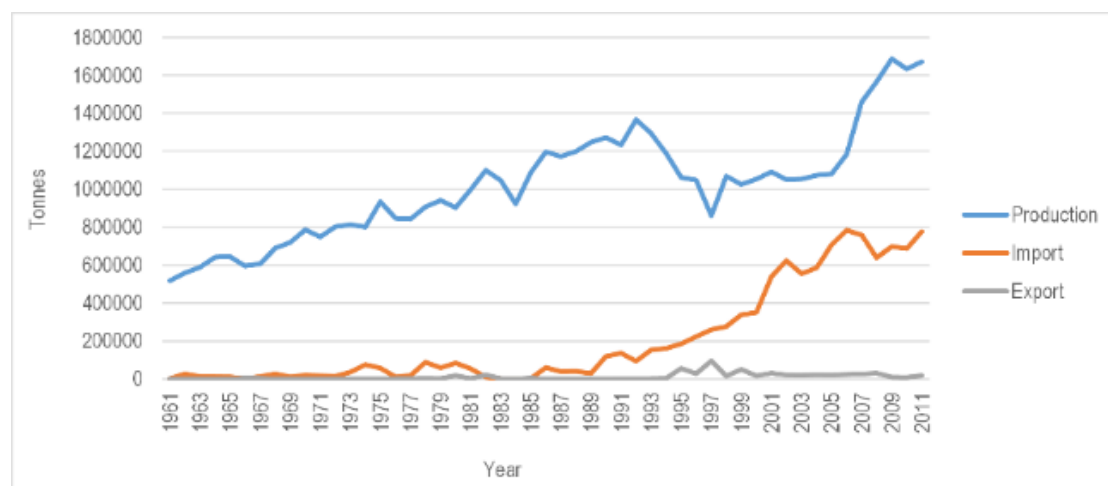
Los datos arqueológicos y genéticos sugieren que el maíz fue domesticado en el sur de México entre 6.000 y 10.000 años atrás (Piperno and Flannery 2001; Matsuoka et al. 2002): la fecha más antigua de registro de los granos de almidón de maíz datan de 9000 AP (o 'antes del presente', donde "presente" se define como 1950 DC), y provienen del valle del río Balsas, en el estado de Guerrero en el sur de México (Piperno and Flannery 2001); los datos genéticos indican que el tipo de teocintle más estrechamente relacionado con el maíz (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) también proviene de la cuenca del río Balsas en la convergencia de los estados de Michoacán y Guerrero en México (Matsuoka et al. 2002). Esto apoya la hipótesis de una sola región de domesticación, aunque otros análisis de datos genéticos han considerado la posibilidad de múltiples orígenes (Kato 1984; Galinat 1988). Muy probablemente, a través del comercio y el intercambio de semillas entre los pueblos indígenas, el maíz domesticado se extendió rápidamente a lo largo de dos rutas de dispersión, una a través del norte y occidente de México hacia el sur-oeste de EE.UU. y otra partiendo de las tierras altas a las tierras bajas del oeste y sur de México hasta Guatemala, el Caribe, las tierras bajas de América del Sur, y finalmente los Andes (Matsuoka et al. 2002). Guatemala es parte del centro de diversidad de maíz de Mesoamérica (Mangelsdorf and Cameron 1942; Wellhausen 1957; Goodman and Brown 1988): Wellhausen describió 15 razas de maíz de Guatemala, entre las cuales la variación de isoenzimas fue significativamente asociada con la altitud (Bretting et al. 1990). Guatemala también alberga dos poblaciones de teocintle, *Zea mays* ssp. *huehuetenanguensis* y *Zea luxurians* (Iltis and Doebley 1980). Ha habido evidencia de introgresión de estas poblaciones con maíz cultivado (Kempton and Popenoe 1937; Wilkes 1967). Las poblaciones del género hermano de *Zea*, *Tripsacum* también crecen en Guatemala (Iltis and Doebley 1980).

Poco después de su propagación en Guatemala, el maíz se convirtió rápidamente en un elemento básico fundamental y un símbolo cultural de las poblaciones mayas locales, tal como se refleja en su mitología y hoy en día en la cultura y los rituales indígenas. El Popol Vuh, el libro sagrado de los mayas quiché de las tierras altas de Guatemala, narra que los dioses crearon a los hombres y mujeres de maíz blanco y amarillo. Hoy en día, la importancia del cultivo es evidente por su amplia distribución en el país, donde se cultiva en más de 94% del territorio, ocupando una amplia gama de áreas agroecológicas y altitudes (entre 0 y 3,100 metros sobre el nivel del mar) y produciendo alrededor de 40 millones de toneladas de grano, en su mayoría blanco (85,5% de la superficie cultivada) y en menor medida amarillo (13,7%). Más de la mitad de la producción (67%), que comprende alrededor de 13,7 millones de toneladas, proviene de fincas pequeñas (menores a diez 'manzanas' en tamaño; una 'manzana' corresponde a aproximadamente 0,7 hectáreas). El consumo de maíz per cápita es 110 kg / año, lo que contribuye a un 65% de la ingesta diaria de carbohidratos en la dieta promedio (Fuentes López et al. 2005).

Aunque la producción interna de maíz ha aumentado con el tiempo (figura 1, línea azul), al igual que con otros alimentos básicos se ha vuelto relativamente menos importante en comparación con el aumento de las materias primas destinadas a la exportación, como la caña de azúcar y el banano (FAO 2014). Además, los últimos

años han sido testigos de fuertes oscilaciones en los rendimientos, sobre todo debido a las alteraciones en el clima y la consiguiente incidencia de plagas y enfermedades. Esto ha llevado a un aumento de las importaciones (figura 1, línea naranja). De forma paralela se han establecido programas destinados a la estabilización y mejora de la producción nacional, tales como la provisión de semillas mejoradas e insumos para los agricultores (IICA 2009).

Figura 1: Cantidades de maíz producidas (azul), importadas (naranja) y exportadas (gris) por Guatemala en el período 1961-2011 (FAO 2014)



Frijol

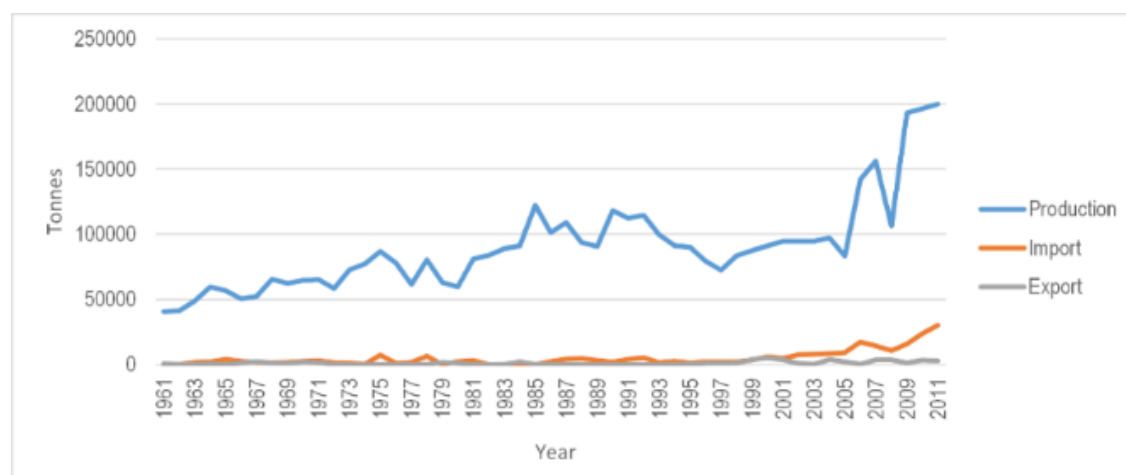
Se considera que los frijoles fueron domesticados en dos lugares, a partir de dos bancos de genes separados - andinas y mesoamericanas - que divergieron hace unos 11.000 años, aunque algunos autores sugieren un solo lugar de origen en Mesoamérica (Bitocchi et al. 2012), muy probablemente en México (Gepts et al. 1986). El acervo genético mesoamericano se extiende desde México a través de Centroamérica hasta Venezuela y Colombia. Las semillas mesoamericanas son más pequeñas (hasta 40 gramos por 100 semillas) que las de los granos andinos (más de 40 gramos por 100 semillas), que se encuentran en Ecuador y Perú. Los dos tipos difieren en el tipo de faseolina (la principal proteína de almacenamiento en los granos) (Gepts et al. 1986). Los cultivares mesoamericanos se han clasificado en tres razas: la raza de tierras bajas "Mesoamérica", y las razas de las tierras altas "Durango" y "Jalisco" (Singh et al. 1991). La raza Mesoamérica incluye las clases de frijol negro, azul marino y los rojos pequeños, y están más adaptados a tierras bajas (Voyses 1983).

Poco después de su domesticación, los frijoles Mesoamericanos se propagaron rápidamente por América Central y luego procedieron hacia América del Sur, a través de los intercambios comerciales y de semillas entre las poblaciones locales. Los colonizadores españoles documentaron el uso del cultivo en ambos hemisferios, señalando las semejanzas y las diferencias con las legumbres europeas, como las habas. Los cultivares mesoamericanos son ahora más extendidos que los cultivares de frijol andinos en las tierras bajas de América del Sur (Brasil) y en el suroeste de EE.UU.. Guatemala alberga al menos 12 especies de *Phaseolus* (Freytag and Debouck 2002): además de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), otras cuatro especies

han sido domesticadas (*P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. dumosus* y *P. acutifolius*) (Gepts and Debouck 1991).

El frijol es el segundo cultivo alimentario más importante del país, ocupando el 85% de la superficie cultivada. La producción alcanzó 500.000 toneladas en 2013. Los frijoles se cultivan en los 22 departamentos de Guatemala, en elevaciones que van desde el nivel del mar hasta 2.500 metros sobre el nivel del mar (msnm). El consumo de frijol, en su mayoría de grano negro, es de 9,4 kg / año por habitante, y proporciona alrededor del 22% de la ingesta total de proteínas (ICTA 2010). De manera similar a la del maíz, la producción de frijol nacional ha sufrido de la competencia con cultivos orientados al comercio exterior como las frutas tropicales y la caña de azúcar, y experimentó una disminución a lo largo de la década de 1990 y principios de 2000. Sin embargo, las cantidades producidas a nivel nacional han sido suficientes para satisfacer la demanda interna, y mantener las importaciones al mínimo (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala 2014) (figura 2). Desde finales de la década de 2000, en el marco de iniciativas regionales, el frijol ha sido uno de los cultivos prioritarios de los programas destinados a impulsar la producción nacional de granos básicos mediante el apoyo a los agricultores con semillas mejoradas y transferencia de tecnología.

Figura 2: Cantidades de frijol producidas (azul), importadas (naranja) y exportadas (gris) por Guatemala durante el período de 1961 al 2011 (FAO 2014)



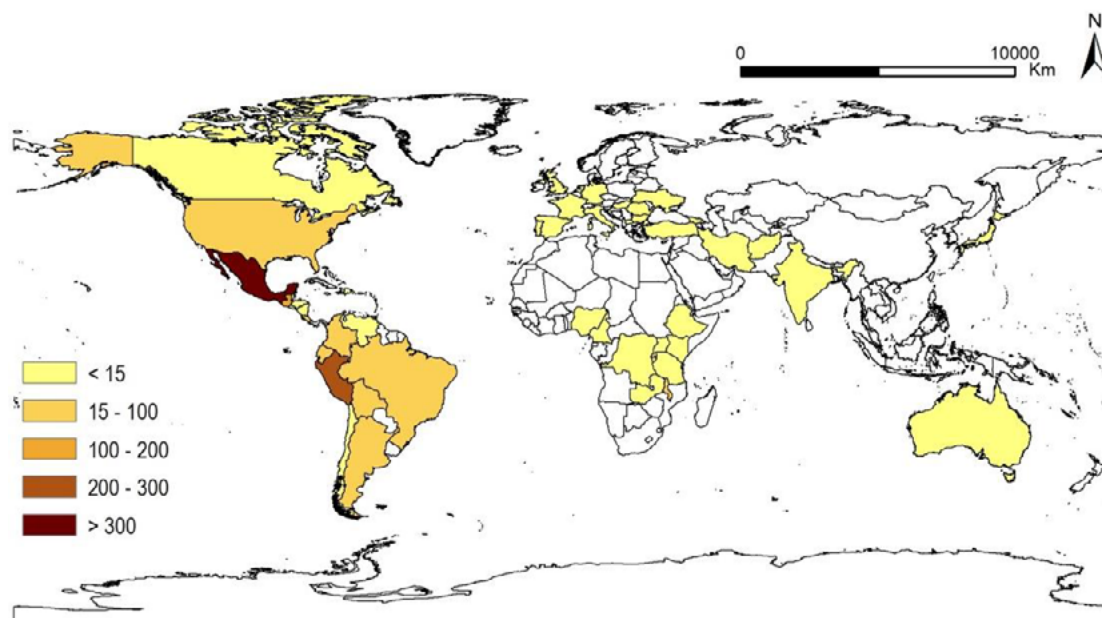
Colaboraciones regionales e internacionales para la investigación agrícola y el intercambio de recursos fitogenéticos

El maíz y el frijol han sido protagonistas de los esfuerzos de investigación agrícola de Guatemala, aunque, como explicaremos más adelante, en los últimos años se ha observado un descenso en la capacidad del país para mantener el buen funcionamiento de los programas de mejoramiento de estos cultivos. Desde su creación en 1972, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) ha venido realizando esfuerzos de conservación, mejoramiento, y liberación de variedades y semillas de calidad para ambos cultivos. El banco de germoplasma del ICTA tiene 344 accesiones de *Zea* y 615 de *Phaseolus* colectados en todo el país (Suchini 2014). La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (FAUSAC / USAC), el Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC / USAC) y la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) también han participado en iniciativas de conservación, investigación y desarrollo de recursos genéticos para maíz y frijol (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala 2008). Otras instituciones fuera de Guatemala también conservan y utilizan germoplasma guatemalteco de maíz y frijol: gracias a proyectos de colaboración internacional y misiones de colecta conjuntas, los recursos genéticos de Guatemala han sido depositados en colecciones internacionales de germoplasma que están accesibles a cualquier usuario con fines de investigación: actualmente, el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) conserva 1.037 accesiones procedentes de Guatemala, de ambos géneros *Zea* y *Tripsacum* (174 y 863 respectivamente), mientras que el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conserva 2.771 accesiones procedentes de Guatemala de frijoles domesticados y silvestres del género *Phaseolus* (2270 *P. vulgaris*; 112 *P. lunatus*, 216 *P. coccineus*; 133 *P. dumosus*; y 2 *P. acutifolius*, además de algunas accesiones de especies silvestres) (Genesys 2014).

Las instituciones guatemaltecas han recibido germoplasma de maíz y frijol de otros países, principalmente a través de organizaciones internacionales: en relación con el maíz, ya en 1975, ICTA recibió 540 materiales (líneas, cruces, híbridos y variedades locales) del CIMMYT. Este material genético se convirtió en la base del programa de mejoramiento del instituto. Aunque la mayoría de estos materiales son de origen mesoamericano (243 de las tierras bajas, 143 de las zonas subtropicales), también incluyen muestras sudamericanas (22), de Asia (20) y África (80). Estos materiales se han utilizado para mejorar una variedad de rasgos importantes como la tolerancia a la sequía y estrés biótico, el llenado, la textura y el color del grano, el contenido de proteínas de alta calidad, y la arquitectura de la planta [30]. Más recientemente (entre 2009 y 2013), 33 muestras fueron enviadas desde el banco de germoplasma del CIMMYT para investigadores guatemaltecos (Payne 2014), y sin duda muchas más muestras fueron enviadas desde los programas de mejoramiento del CIMMYT (sobre esto no tenemos datos precisos). El programa de frijol del ICTA y el CIAT han realizado intercambios similares de germoplasma: entre 1979 y 2009, Guatemala recibió al menos 1.388 accesiones de *Phaseolus* del banco de germoplasma del CIAT, casi todas de variedades locales o cultivares tradicionales (97%). Mientras que 156 de estos materiales procedían originalmente del propio país, 519 procedían de otros países centroamericanos, en su mayoría de México (471), y de otros países del mundo (figura 3) (Singer 2012). Los datos relativos a las muestras enviadas a Guatemala desde el programa de mejoramiento de frijol del CIAT no están disponibles, pero es

probable que superen las cantidades enviadas por el banco de germoplasma, ya que los fitomejoradores normalmente trabajan con materiales pre-mejorados.

Figura 3: Origen de las muestras de *Phaseolus* enviadas a Guatemala desde el banco de germoplasma del CIAT durante el periodo desde 1979 hasta 2009, los tonos más oscuros indican orígenes de un mayor número de muestras (Singer 2012)



Varias iniciativas internacionales han propiciado el intercambio de germoplasma entre Guatemala y otros países: el Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA), auspiciado por instituciones internacionales y nacionales que se inició en 1954; el Programa Regional sobre Maíz para América Central y el Caribe (PRM), que se inició en 1975; y el Programa Cooperativo Regional sobre Frijol para México, Centroamérica y el Caribe (PROFRIJOL), que comenzó en 1981. Estos dos últimos programas, creados con fondos de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), contaron con la participación del CIMMYT y CIAT, respectivamente, como las organizaciones coordinadoras. La Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (de aquí en adelante, Zamorano) se convirtió en un actor importante en PROFRIJOL en 1996, con el apoyo financiero del Programa de Apoyo para la Investigación Colaborativa de Frijol y el Caupí (CRSP, por sus siglas en inglés: Bean/Cowpea Collaborative Research Support), financiado por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Estos programas facilitaron el intercambio de germoplasma en particular a través de un sistema continuo y descentralizado de ensayos y mejora de germoplasma. En este sistema el material genético mejorado procedente de los programas de fitomejoramiento internacionales se distribuían a los países para su mejora continua, y, finalmente, para su entrada en los mercados de semillas nacionales como variedades terminadas. Esta metodología fue fundamental para permitir a los países experimentar con germoplasma de maíz y frijol que no estaba disponible dentro de sus territorios y resultó en una liberación constante de nuevas variedades que incorporaban material genético de fuentes internacionales. En el caso del maíz en Guatemala, durante el período 1991-1996, 3.760 muestras de maíz

mejorado procedentes de otros países de la región se introdujeron a través del PRM (Sain et al. 1999). Durante el mismo período se desarrollaron 43 nuevas variedades (42 de las cuales fueron liberadas posteriormente) (Fuentes López 2014). En términos de productividad se estima que, gracias a la circulación de materiales, información y tecnologías dentro del PRM, se han obtenido ganancias genéticas cercanas al 2% en cada ciclo de selección (Córdova 1991). Si bien no tenemos datos sobre las cantidades recibidas por Guatemala a través PROFRIJOL, se sabe que la red permitió la circulación de más de 30.000 muestras de frijol mejorado entre los países de la región (COSUDE 2005). En Guatemala, 17 variedades de frijol fueron liberados entre 1978 y 1998, con el material pre-seleccionado en el CIAT; otras seis fueron liberadas entre 2010 y 2011, gracias a los esfuerzos de Zamorano dentro del CRSP (Jamora and Maredia 2011) (tabla 1).

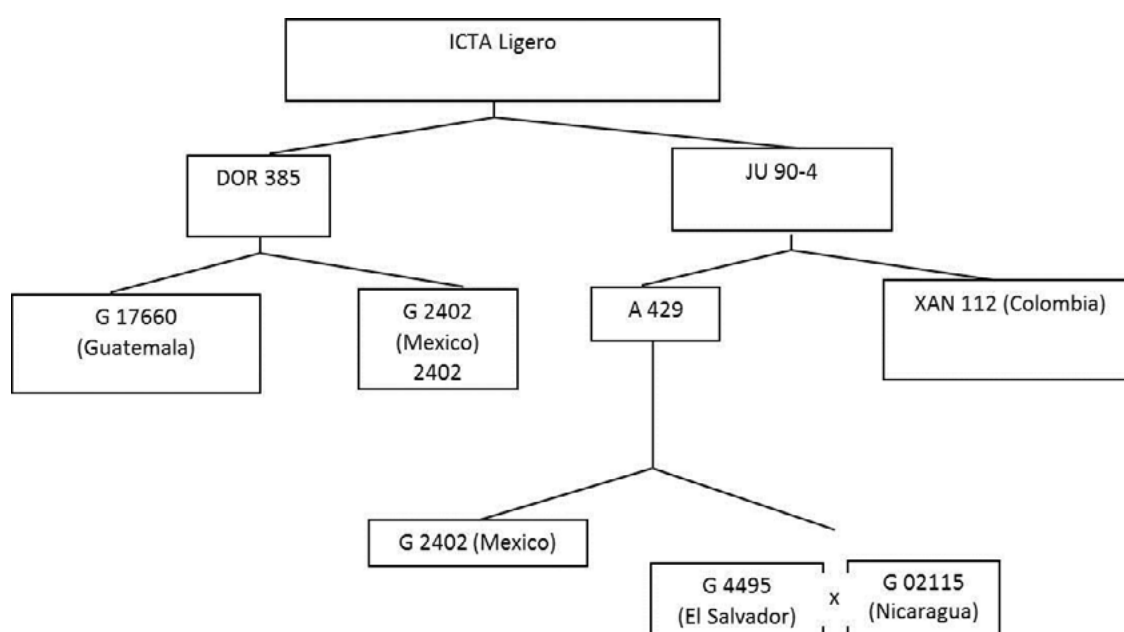
Tabla 1: Variedades de frijol desarrolladas con germoplasma del CIAT introducido en Guatemala a través de PROFRIJOL, y en colaboración con instituciones internacionales (1978 - 2011) (Jamora and Maredia 2011)

País	Clase de mercado	Variedad	Año liberado	Fuente
Guatemala	Rojo pequeño	DORICTA	1992	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA ACHUAPA	1978	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA ALTENSE	1996	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA CHAPINA	1996	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA COSTEÑA	1992	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA HUNAPU	1996	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA JUTIAPAN	1979	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA LIGERO	1998	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA OSTUA	1978	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA PARRAMOS	1978	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA QUETZAL	1979	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA QUINACK-CHE	1978	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA SAN MARTIN	1978	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA STA GERTRUDIS	1996	CIAT
Guatemala	Negro	TAMAZULAPA	1979	CIAT
Guatemala	Negro	ICTA TEXEL	1978	CIAT
Guatemala	Negro	SUCHITAN	1978	CIAT
Guatemala	Negro	Altense Precoz	2011	CRSP
Guatemala	Negro	ICTA Peten	2010	CRSP
Guatemala	Negro	ICTA Sayaxche	2010	CRSP
Guatemala	Negro	ICTA Super Chiva	2011	CRSP
Guatemala	Negro	ICTA Zam	2011	CRSP
Guatemala	Negro	MEN 2207-17	2010	CRSP

El análisis del pedigrí de algunas de estas variedades proporciona información sobre la contribución de germoplasma extranjero a las variedades finales. Si bien no hemos podido recabar información del pedigrí de híbridos de maíz importantes y de liberación relativamente reciente (como ICTA Maya y ICTA B7), nuestros análisis en frijol arrojan resultados interesantes en este sentido. ICTA Ligero fue una de las variedades de frijol más exitosas obtenidas a través PROFRIJOL, y sigue siendo una

de los favoritas en los programas de desarrollo agrícola que incluyen la distribución de semilla mejorada a los agricultores (Jamora and Maredia 2011). Tiene mayor resistencia al virus de mosaico amarillo dorado, la antracnosis, el tizón bacteriano y la roya, en comparación con otras variedades utilizadas entre los agricultores (Genesys 2014; RedSICTA 2014). Los recursos genéticos que se utilizaron para la obtención del ICTA Ligero provienen de diferentes países (CIAT 1989; Voysest 2000; Genesys 2014): una accesión procedente de México (documentada como G2402 en Genesys, un portal digital de información sobre los RFAA) es la portadora de la resistencia al virus del mosaico amarillo dorado (Blair and Beaver 1992); otras accesiones que se utilizaron en los cruces que resultaron en el ICTA Ligero proceden de El Salvador, Nicaragua y Colombia (figura 4).

Figura 4: Antepasados de la variedad de frijol exitosa ICTA Ligero (CIAT 1989; Voysest 2000; Genesys 2014)



ICTA Hunapu es otra variedad exitosa, bien adaptada a las zonas de elevación media [41], y basada en un cruce entre una variedad tradicional guatemalteca (Negro Pacoc) y una línea procedente del cruce entre materiales de Brasil y México. ICTA Santa Gertrudis y ICTA Costeña incorporan una variedad local de Brasil (G18521); ICTA Jutiapan deriva del cruce entre una variedad colombiana (G4525) y una variedad tradicional de Costa Rica (G4485); ICTA Quetzal fue desarrollado a partir de material genético procedente de El Salvador (G4495) y Costa Rica (G4485); ICTA Tamazulapa tiene ascendencia colombiana (G4525) y de Costa Rica (G4485); e ICTA tiene padres mexicanos (G2402) y de Guatemala (G17660) (Genesys 2014).

Desde la década de 1990, como consecuencia de las políticas estatales que han desmantelado gradualmente las instituciones públicas que trabajan en desarrollo agrícola, los programas nacionales que se ocupan de los RFAA han experimentado severos recortes presupuestarios. Esto ha afectado al número de fitomejoradores que trabajan en los cultivos básicos: en 1991, el número de fitomejoradores empleados en ICTA había disminuido de 166 a 67, con reducciones particularmente fuertes entre el personal que trabajaba en maíz y el frijol. Si bien esta reducción fue un fenómeno

común entre los institutos públicos de investigación agrícola en América Latina en la década de 1990, la situación de Guatemala es alarmante: el país dedica la menor cantidad de fondos públicos para la investigación agrícola de la región (USAID 2010). Este bajo financiamiento ha llevado a serias limitaciones en la adquisición, distribución e intercambio de germoplasma procedente de instituciones públicas, ya que estas son incapaces de cubrir los costos básicos asociados a tales operaciones (Suchini 2014). Por otra parte, la disminución de la financiación internacional dedicado a los programas y redes de colaboración entre países ha reducido en gran medida los flujos de germoplasma, que habían permitido la generación de la mayoría de las variedades e híbridos liberados en Guatemala durante las décadas anteriores. El papel del CIAT en la investigación colaborativa de frijol fue menos importante desde el año 2002, debido a la disminución de financiación internacional. La continuación de los ensayos regionales descentralizados ha sido posible gracias al apoyo técnico de Zamorano, a través de las contribuciones financieras del CRSP para frijol/caupí de USAID, además de la dedicación personal de los pocos fitomejoradores que siguen trabajando en las instituciones guatemaltecas. De hecho, desde finales de 1990 a 2010, parece que ni una sola variedad fue liberada a través de la colaboración internacional con Guatemala; después de esta brecha, seis nuevas variedades fueron liberadas en el marco de la CRSP frijol/caupí en 2010 y 2011.

El intercambio de los recursos fitogenéticos para hacer frente al impacto del cambio climático

América Central es altamente vulnerable al cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change 2013), y el sector agrícola se encuentra entre los más afectados, dada su dependencia de los eventos meteorológicos. En Guatemala, los impactos más graves del clima derivan de la irregularidad de las lluvias, lo cual fuerza cambiar los tiempos de siembra y cosecha, así como los aumentos de la temperatura, que conducen a una mayor incidencia de plagas y enfermedades (Nelson et al. 2009). Esta vulnerabilidad pone en peligro la seguridad alimentaria de 52% de la población rural, que depende de granos básicos como el maíz y el frijol (Baumeister 2010). Una serie de instituciones en Guatemala están haciendo esfuerzos para desarrollar soluciones para adaptar los sistemas agrícolas, en particular los de los agricultores de pequeña escala, más vulnerables al cambio climático. En el sector agrícola, los proyectos tienden a centrarse en la transferencia de tecnología en granos básicos como el maíz y el frijol. La mayor parte de las veces esto implica la generación y / o difusión de variedades adaptadas. El Ministerio de Agricultura de Guatemala, a través del ICTA y en colaboración con FAUSAC / USAC, ha desarrollado materiales de maíz y frijol tolerantes a la sequía y resistentes a plagas y enfermedades, y participa en los esfuerzos de difusión para que estos materiales lleguen a los campos de los agricultores. Los órganos regionales como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) están desarrollando proyectos para rescatar, caracterizar y promover variedades locales potencialmente adaptadas las nuevas condiciones ambientales. En este contexto, la importancia de facilitar y mejorar la exploración y uso de diversos materiales genéticos resulta evidente y altamente relevante (CCAFS 2014).

La herramienta Climas Análogos (o Climate Analogues, en inglés) puede dar una idea de cómo, frente a los retos del futuro del clima, el maíz y el frijol en Guatemala pueden beneficiarse de recursos genéticos más allá de los que se encuentran en el país (CCAFS): seleccionando un sitio de referencia de interés en Guatemala, la herramienta identifica áreas que experimentan condiciones climáticas que son estadísticamente similares a este sitio de referencia a una distancia temporal o espacial determinada. En este estudio, la herramienta permite identificar las áreas cuyo clima actual es similar al clima futuro de los sitios de referencia en Guatemala. Dada la gran influencia de la temperatura y precipitación medias anuales en la productividad de los cultivos, se definió el modelo usando estos parámetros, asignando el mismo peso a cada uno de ellos. Se eligieron sitios de referencia que corresponden a zonas importantes de maíz y frijol en Guatemala, gracias al asesoramiento de expertos del equipo nacional que participan en el proyecto GRPI2: Chiantla, en el departamento de Huehuetenango, para el maíz; y Jocotán, en el departamento de Chiquimula, para el frijol. Con el fin de restringir la búsqueda de climas similares a los periodos en los que efectivamente se cultivan el maíz y el frijol, se seleccionó una estación de crecimiento de abril a septiembre para el maíz, y una estación de crecimiento de mayo a octubre para el frijol. Se aplicó un umbral de 0,6 a los resultados finales (es decir, sólo se conservan aquellas áreas con un 60% o mayor probabilidad de similitud a los sitios de referencia).

Las figuras 5 y 6 ilustran los lugares que actualmente tienen el 'clima futuro' de los lugares de referencia, es decir aquellas áreas cuyos patrones climáticos durante los últimos 50 años son similares a los que se esperan en los sitios de referencia de Guatemala hacia el año 2050.

Figura 5: Sitios análogos para el maíz, utilizando Chiantla en el departamento de Huehuetenango, Guatemala, como referencia (15° 22'0"N; 91° 27'0"W). Sólo se muestran los sitios con una similitud mayor del 60%. Las zonas más rojas denotan una mayor similitud (es decir, tienen una menor probabilidad de ser diferentes)

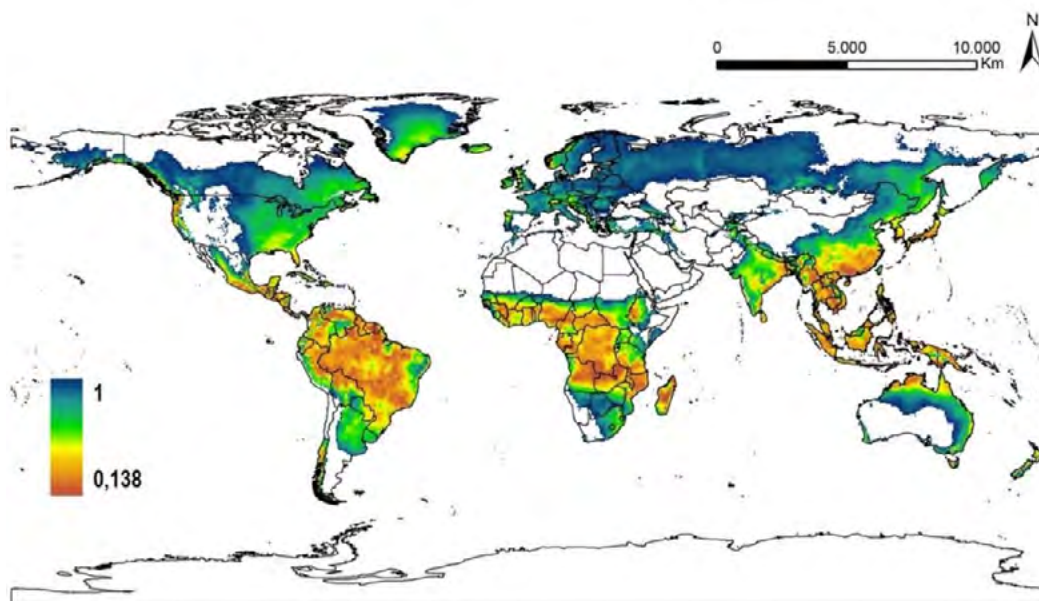
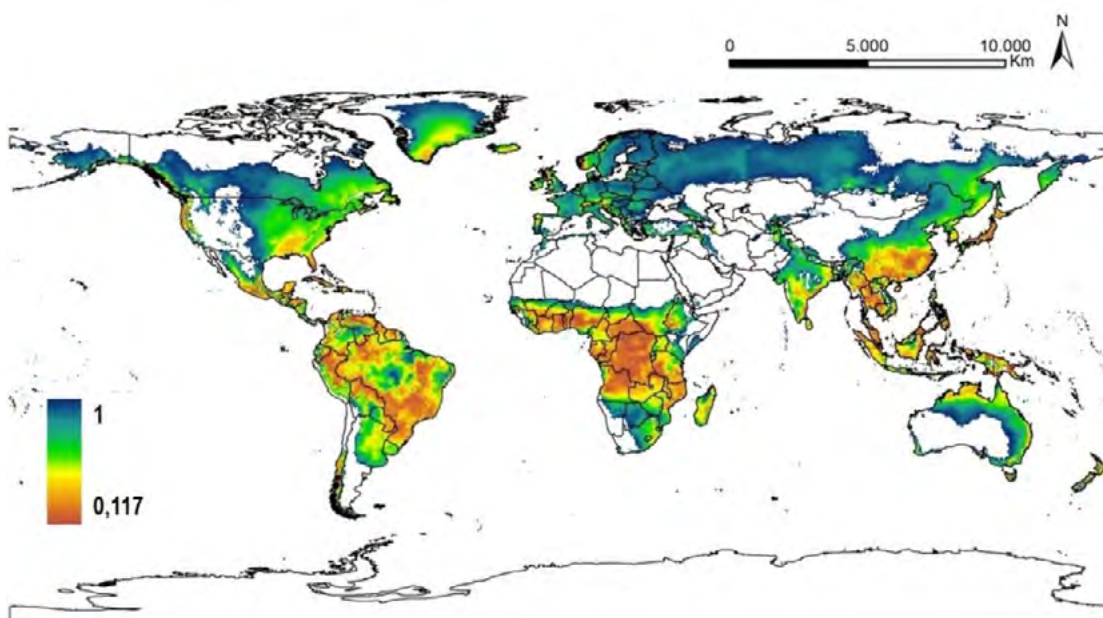


Figura 6: Sitios análogos para frijol, utilizando Jocotán en el departamento de Chiquimula, Guatemala, como sitio de referencia (14° 49'0"N; 89° 23'0"W). Sólo se muestran los sitios con una similitud mayor del 60%. Las zonas más rojas denotan una mayor similitud (es decir, tienen una menor probabilidad de ser diferentes)



Dada la proximidad geográfica de los dos sitios de referencia elegidos aquí, y teniendo en cuenta el hecho de que el maíz y los frijoles tienen requisitos ambientales similares en cuanto a estaciones de crecimiento y áreas, los sitios análogos detectados en todo el mundo son bastante similares para las dos especies. No todas las áreas identificadas son necesariamente zonas tradicionales de cultivo de maíz y frijol. Sin

embargo, aquellas áreas donde el maíz y el frijol crecen bien pueden ser fuentes de germoplasma promisorio para la adaptación de estos cultivos al futuro clima de Guatemala. Por tanto, la obtención de germoplasma de estos lugares puede ser una estrategia para la introducción de material genético potencialmente útil en los programas de fitomejoramiento de Guatemala. Al superponer datos georreferenciados de accesiones de maíz y frijol conservadas en colecciones internacionales (puntos de color púrpura en los mapas) (Genesys 2014), se pueden observar aquellos materiales que fueron obtenidos originariamente en las áreas de clima análogo al clima futuro de Guatemala. Dado que estas accesiones están incluidas en el sistema multilateral del TIRFAA, los fitomejoradores de maíz y frijol interesados pueden acceder a ellas a través de un sistema de acceso facilitado. Las figuras 7 y 8 enumeran algunas de las accesiones de maíz y frijol procedentes de lugares de climas análogos, y que están disponibles a través del SML.

Figura 7: Accesiones de maíz recolectadas en lugares de clima análogo y conservadas en colecciones internacionales. Los datos específicos se refieren a materiales georreferenciados disponibles en las colecciones de los centros del GCIAR y otras colecciones importantes (Genesys 2014)

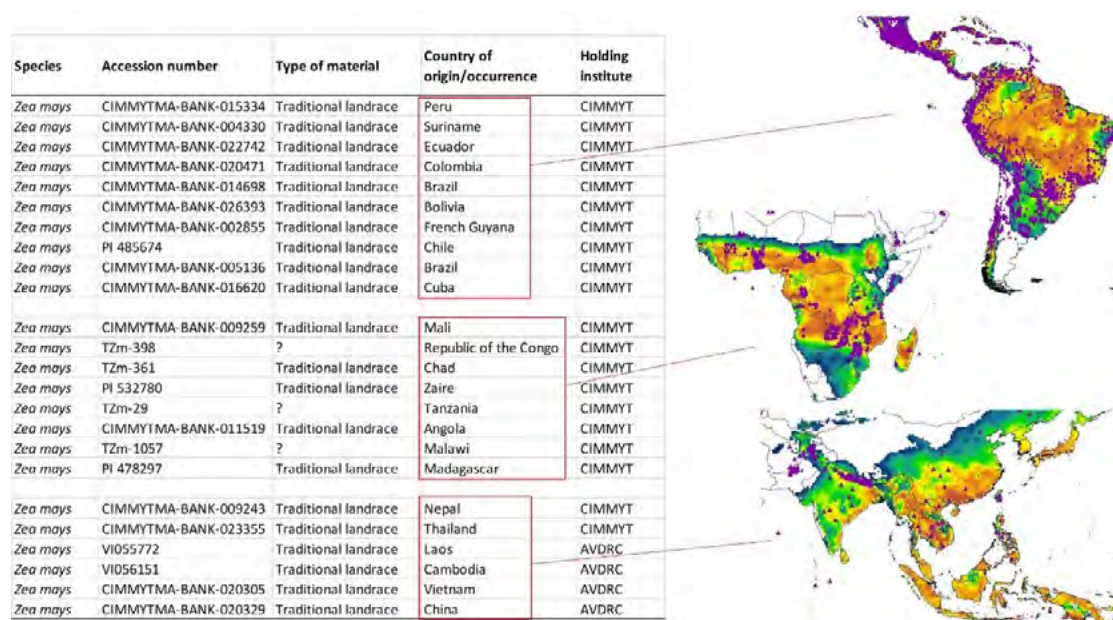
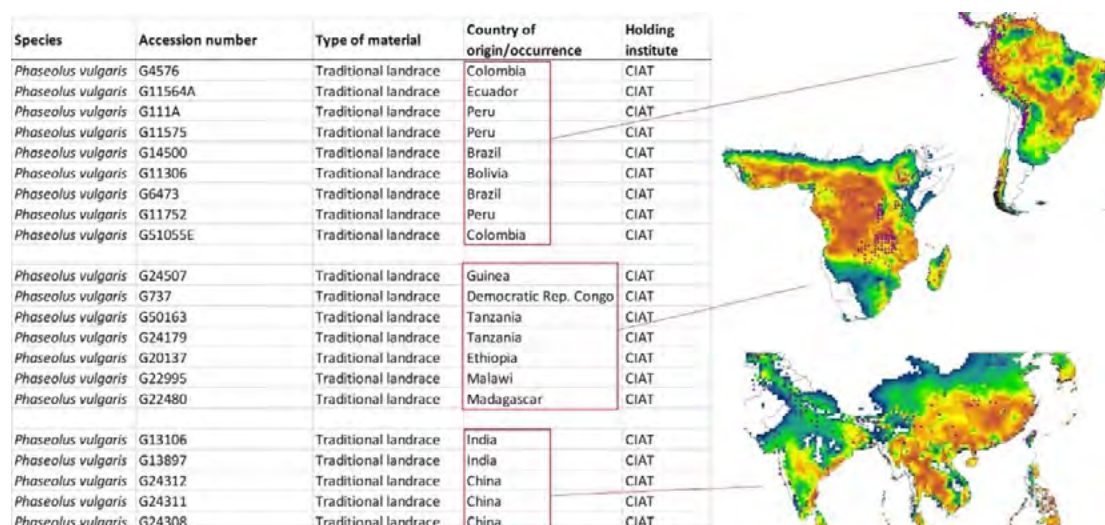


Figura 8: Accesiones de frijol recolectadas en lugares de clima análogo y conservadas en colecciones internacionales. Los datos específicos se refieren a materiales georreferenciados disponibles en las colecciones de los centros del GCIAR y otras colecciones importantes (Genesys 2014)

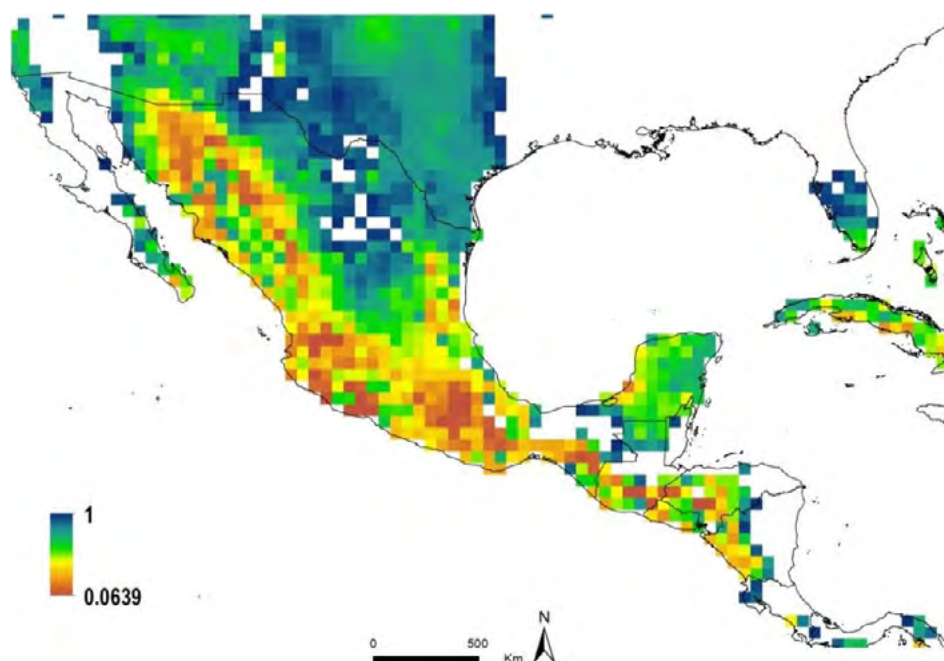


Las misiones de colecta de los centros internacionales parecen haber cubierto algunas de las áreas que actualmente presentan el 'clima del futuro' de Guatemala, lo que resulta en una importante cantidad de materiales genéticos conservados en los bancos de germoplasma internacionales y por lo tanto disponibles a través del SLM. Sin embargo, los mapas muestran que los centros internacionales no cuentan con muestras de maíz y frijol procedentes de otros sitios con climas análogos: hay muchas menos accesiones procedentes de África y Asia, comparadas con aquellas de América Latina, y la presencia de muestras procedentes de América Latina varía considerablemente según la zona.. Esto puede explicarse por el hecho de que las misiones de colecta tienden a centrarse principalmente en las regiones de origen y / o diversificación de los cultivos de interés, donde se espera que la diversidad genética sea más alta. En aquellos lugares del planeta que no tienen mucha presencia en los bancos internacionales de germoplasma en forma de accesiones de maíz y frijol, es posible que la diversidad genética de estos cultivos se encuentre presente en los bancos de germoplasma nacionales u otras colecciones dentro de los países,. Estos países pueden ser parte, o no, del Tratado Internacional, y pueden haber tomado medidas, o no, para que dicho material genético esté efectivamente a disposición de los fitomejoradores guatemaltecos a través del SML. En el caso de que esta diversidad no esté efectivamente disponible, los investigadores guatemaltecos podrían encontrar limitaciones para abordar las necesidades de adaptación al clima de sus principales cultivos. El mismo escenario puede darse a la inversa, es decir, germoplasma promisorio para la adaptación de los cultivos al clima del futuro de otros países podría encontrarse en Guatemala, pero no realmente disponible para investigadores extranjeros por la falta de un sistema de intercambio facilitado de recursos fitogenéticos entre Guatemala y otros países.

El siguiente mapa (figura 9) ofrece un ejemplo de este escenario. Muestra los lugares de Centro América cuyo clima actual es similar a los patrones del clima de las tierras altas productoras de maíz del norte de Vietnam (en la provincia de Bac Giang). El clima actual de Centroamérica, incluyendo partes del sur-occidental de Guatemala, se

asemeja al clima previsto en 2015 en la zona más importante de cultivo del maíz en Vietnam. Esto sugiere que los recursos fitogenéticos guatemaltecos podrían convertirse en una fuente importante de rasgos relevantes para que el cultivo del maíz en los sistemas de producción de secano de Vietnam pueda responder a los cambios climáticos y a sus consecuencias (Thanh Ha et al. 2004).

Figura 9: Lugares donde se cultiva el maíz en Centroamérica y cuyo clima actual es análogo al clima futuro de la provincia de Bac Giang, en las zonas altas de cultivo de maíz en Vietnam (21° 18'06" N, 106° 9'14" E). El mapa muestra únicamente los sitios con una similitud mayor al 60%. Las zonas más rojas denotan una mayor similitud (es decir, tienen una menor probabilidad de ser diferentes)



Estos ejemplos demuestran la interdependencia de todos los países de RFAA de cara al cambio climático, la utilidad de un sistema abierto de intercambio con el SML y la necesidad de que el mayor número de países participen efectivamente en dicho sistema.

Conclusiones

Este breve estudio destaca el hecho de que incluso Guatemala, que es centro de origen y diversificación del maíz y el frijol se ha beneficiado enormemente del intercambio y la introducción de germoplasma de estos cultivos procedente de otros países para la mejora de la producción agrícola nacional. A medida que el movimiento de germoplasma entre los países se vuelve más complicado por cuestiones políticas y a medida que el cambio climático plantea más retos para los fitomejoradores, la existencia de reglas y procedimientos claros para el intercambio de RFAA se hace más necesario que nunca. Solo a través de un sistema de intercambio de germoplasma transparente y eficaz los investigadores de todo el mundo serán capaces de contribuir al desarrollo continuo de sistemas agrícolas y alimentarios más resistentes y sostenibles. En los últimos tres años, un equipo de investigadores y técnicos

guatemalteco ha estado trabajando en la implementación nacional del TIRFAA y su SML. Los argumentos presentados en este estudio han servido para sensibilizar y aumentar el conocimiento entorno a estos temas. Con la creación de mecanismos y procedimientos claros y eficientes, los intercambios internacionales de germoplasma que han permitido generar innovación agricultura durante muchos años, se pueden preservar y mejorar, dando como resultado mayores oportunidades para la adaptación de la agricultura al cambio climático.

Referencias

- Baumeister E (2010) Pequeños productores de granos básicos en América Central. Cuantificación, caracterización, nivel de ingresos, pobreza y perfiles demográficos, socioeconómicos y ocupacionales. FAO, Unidad Regional de Asistencia Técnica, Honduras
- Bitocchi E, Nanni L, Giardini A, et al (2012) Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. PNAS 109:E788–E796.
- Blair MW, Beaver JS (1992) Inheritance of Bean Golden Mosaic Virus Resistance from Bean Genotype A429.
- Bretting PK, Goodman MM, Stuber CW (1990) Isozymatic Variation in Guatemalan Races of Maize. Am J Bot 77:211–225.
- CCAFS (2014) Estado del Arte en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria en Guatemala. CCAFS and Gobierno de Guatemala
- CCAFS The Climate Analogues Tool. <http://www.ccafs-analogues.org/>.
- CIAT (1989) Progreso en la investigación y producción del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Advances in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) research and production. Cali, Colombia
- Córdova H (1991) Desarrollo y mejoramiento de germoplasma para resistencia a factores adversos bióticos y abióticos y producción de semillas: Estrategias y logros 1986-1991. In: Desarrollo y Mejoramiento de Germoplasma para Resistencia a Factores Adversos Bióticos y Abióticos. CIMMYT, Guatemala City, pp 1–15
- COSUDE (2005) El impacto de proyectos y programas agropecuarios en América Central apoyados por COSUDE entre 1980 y 2001. Un análisis meta para la estimación de los efectos agregados de proyectos agropecuaria. Managua, Nicaragua
- FAO (2014) FAOSTAT Production data. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Accessed 15 Dec 2014

- Freytag GF, Debouck DG (2002) Taxonomy, distribution, and ecology of the genus *Phaseolus* (Leguminosae – Papilionoideae) in North America, Mexico, and Central America.
- Fuentes López M (2014) Personal communication.
- Fuentes López MR, van Etten J, Ortega Aparicio A, Vivero Pol JL (2005) Maíz para Guatemala: propuesta para la Reactivación de la Cadena Agroalimentaria del Maíz Blanco y Amarillo. Guatemala City
- Galinat WC (1988) The origin of corn. In: Sprague GF, Dudley JW (eds) Corn and corn improvement, Third edit. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc. and Soil Science Society of America, USA,
- Genesys (2014) Genesys. www.genesys-pgr.org.
- Gepts P, Debouck D (1991) Origin, domestication and evolution of the Common Bean (*P. vulgaris*). In: van Schoonhoven A, Voysest O (eds) Common Beans: research for crop improvement. CAB International and CIAT, Cali, Colombia,
- Gepts P, Osborn TC, Rashka K, Bliss FA (1986) Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Evidence for multiple centers of domestication. *Econ Bot* 40:451–468.
- Gobierno de Guatemala (2012) El Plan del Pacto Hambre Cero.
- Goodman MM, Brown WL (1988) Races of corn. In: Sprague GF, Dudley JW (eds) Corn and corn improvement, 3rd editio. American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., Soil Science Society of America,
- ICTA (2010) Producción Comercial y de Semilla de Frijol - Manual Técnico Agrícola. <http://www.icta.gob.gt/granosBasicos/produccionSemillaFrijol.pdf>. Accessed 5 Nov 2014
- IFAD (1992) Guatemala: Generation and Transfer of Agricultural Technology and Seed Production Project - PROGETTAP - Interim evaluation report. Rome, Italy
- IICA (2009) Mapeo del mercado de semillas de maíz blanco y frijol en Centroamérica. Managua, Nicaragua
- Iltis HH, Doebley JF (1980) Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Am J Bot* 67:994–1004.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) Working Group II Report on “Impacts, Adaptation, and Vulnerability.” In: Fifth Assessment Report: Climate Change.

- Jamora N, Maredia M (2011) Database of improved beans and cowpea varietal releases in major bean and cowpea producing countries in Africa, Latin America and the U.S., 1980-2010.
- Kato TA (1984) Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evol Biol* 17:219–253.
- Kempton JH, Popenoe W (1937) Teosinte in Guatemala; a report of an expedition to Guatemala, El Salvador and Chipas, Mexico. *Carnegie Inst Publ* 199– 217.
- Mangelsdorf PC, Cameron JW (1942) Western Guatemala: a secondary center of origin of cultivated maize varieties. Botanical Museum of Harvard University, Cambridge, USA
- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, et al (2002) A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS* 99:6080–6084.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala (2014) Situación del frijol negro.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación de Guatemala (2008) El estado de los recursos fitogenéticos - segundo informe nacional. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, FAO, Guatemala City
- Nelson GC, Rosegrant MW, Koo J, et al (2009) *Climate Change: Impacts on Agriculture and Costs of Adaptation*. IFPRI, Washington, D.C.
- Payne T (2014) Personal communication.
- Piperno DR, Flannery KV (2001) The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *PNAS* 98:2101–2103.
- RedSICTA (2014) ICTA Ligero. In: *Obs. Red Sicta, Inventar. Tecnológico*. <http://www.observatorioredsicta.info/es/inventariotec/semilla/icta-ligero>. Accessed 6 Nov 2014
- Sain G, Cabrera J, Querme JL (1999) *Flujos De Germoplasma, Redes Regionales De Investigación Agrícola y El Papel De Los Derechos De Propiedad Intelectual*. San José, Costa Rica
- Singer (2012) Germplasm distributions from international genebanks.
- Singh SP, Gutiérrez JA, Molina A, et al (1991) Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. *Crop Sci* 31:23–29.
- Suchini AE (2014) Personal communication.

Thanh Ha D, Dinh Thao T, Tri Khiem N, et al (2004) Maize in Vietnam - production systems, constraints and research priorities. CIMMYT, D.F., Mexico

The New Agriculturalist (2015) Guatemala - Country profile. <http://www.new-ag.info/en/country/profile.php?a=842>.

USAID (2010) Alcanzando la Seguridad Alimentaria en Guatemala: Oportunidades y Retos.

Voysest O (1983) Variedades de frijol en América Latina y su origen. Cali, Colombia

Voysest O (2000) Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) - legado de variedades de América Latina 1930-1999. Cali, Colombia

Wellhausen EJ (1957) Races of maize in Central America. National Academy of Sciences, National Research Council

Wilkes HG (1967) Teosinte: the closest relative of maize. The Bussey Institute of Harvard University, Cambridge, USA



RESEARCH PROGRAM ON
**Climate Change,
Agriculture and
Food Security**



The CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) is a strategic initiative of CGIAR and Future Earth, led by the International Center for Tropical Agriculture (CIAT). CCAFS is the world's most comprehensive global research program to examine and address the critical interactions between climate change, agriculture and food security.

For more information, visit www.ccafs.cgiar.org

Titles in this Working Paper series aim to disseminate interim climate change, agriculture and food security research and practices and stimulate feedback from the scientific community.

CCAFS is led by:



Strategic partner:



Research supported by:

