

Cambio climático y agrobiodiversidad

Climate Change and Agrobiodiversity

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.117>

Recibido: 25-09-2014 Aprobado: 29-11-2014

Carlos Iván Cardozo Conde¹

Resumen

Uno de los principales retos de la humanidad es garantizar la seguridad alimentaria global. Desde los años 60's se han venido realizando esfuerzos por aumentar la producción de alimentos para una población creciente. Los programas de mejoramiento juegan un papel importante, al igual que las comunidades de medianos y pequeños agricultores quienes conservan un alto porcentaje de la variabilidad genética de los principales cultivos mediante sistemas locales de producción. Nuevas tecnologías se han incorporado, como la biotecnología, la agricultura eco-eficiente, la agricultura inteligente, con el fin de desarrollar sistemas productivos sostenibles. Si bien, el suministro de alimentos se ha incrementado, los fenómenos del Calentamiento Global -CG y el Cambio climático -CC aparecen como una amenaza, pues sus efectos sobre aspectos fenológicos y fisiológicos de los cultivos, estimados mediante modelación, pronostican una fuerte reducción en la biodiversidad y en los rendimientos de los cultivos a nivel mundial, con variaciones según las regiones. En este sentido, es necesario iniciar planes de adaptación oportunos y acordes con los niveles de vulnerabilidad según los diferentes países. Ante esta situación, una estrategia para adaptarse a los escenarios futuros que plantea el Calentamiento Global, es incorporar la mayor biodiversidad posible y disponible en programas de mejoramiento. En este contexto se requiere de gran creatividad, para no solo mantener sino aumentar los rendimientos de los cultivos y mitigar la pérdida de recursos naturales con el fin de garantizar la seguridad alimentaria mundial.

Palabras clave: Calentamiento global, cambio climático, seguridad alimentaria, biodiversidad

Abstract

One of humanities major challenges is to ensure global food security. Since the 60's efforts have been made to increase food production for a growing population. Breeding programs have been playing an important role, as well as the communities of medium and small farmers who retain a high percentage

¹ Colombiano. Ph.D Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. cicardozoc@unal.edu.co

of genetic variability of major crops through local production systems. New technologies have been incorporated such as biotechnology, eco-efficient agriculture, and intelligent agriculture to develop sustainable production systems. While the food supply has increased, the phenomena of global warming- GW and climate change -CC appear as a threat, because of its effects on phenological and physiological aspects of crops, estimated by modeling, forecasting a strong reduction in biodiversity and crop yields worldwide with regional variations. As far as these concerns, it's necessary to make well-timed adaptation plans consistent with the vulnerability levels in different countries. In this situation, a strategy to adapt to future scenarios posed by GW; is to incorporate the most biodiversity possible and available in breeding programs. This context requires great creativity to not only maintain but to increase crop yields and ease the loss of natural resources in order to ensure global food security.

Keywords: Global warming, climate change, food security, biodiversity

Introducción

Hasta hace relativamente pocos años, los retos de la agricultura fueron cómo lograr más alimentos y acceso para una población en continuo crecimiento. En la llamada Revolución Verde (años 60's) se dieron grandes adelantos desde el punto de vista de la fisiología de las especies, los sistemas intensivos de producción y el fitomejoramiento, lo que permitió lograr incrementos significativos en los rendimientos de las especies cultivadas. Posteriormente hacia los años 80's surge una preocupación sobre la necesidad de conservar el medio ambiente y se añade un nuevo reto: Cómo mejorar la producción, la disponibilidad y el acceso pero con sistemas de producción sostenibles, llegando a pensar inclusive en sistemas menos productivos pero ambientalmente sostenibles; esta premisa, por supuesto, no contribuye a la solución del problema, lo que nos exige ser más creativos para lograr mejorar los rendimientos de los cultivos con tecnologías que afecten mínimamente el medio ambiente e incorporando nuevas tecnologías como la biotecnología, la agricultura de precisión, la agricultura eco-eficiente, prácticas climáticamente inteligentes (FAO, 2010) entre otras. Hoy día, aún tenemos en el planeta cerca de 870 millones de personas con problemas de hambre (FAO, 2013), es decir el problema sigue sin resolver, pero adicionalmente,

en los últimos 20 años un nuevo reto apareció: el Calentamiento Global (CG).

El IPCC fue creado en 1988, para abordar mediante investigación científica este fenómeno frente al escepticismo de algunos sectores de la comunidad científica. Si bien, los primeros informes del IPCC planteaban como una posibilidad que estuviese ocurriendo un calentamiento del planeta, los informes más recientes (2013) concluyen de manera inequívoca que es un fenómeno real, donde la contribución antrópica, en la emisión de gases efecto invernadero (GEI), ha sido determinante como causa y con efecto real en el cambio climático (CC). (IPCC, 2013).

Durante las últimas décadas, y con base en múltiples modelos climáticos de circulación (GMC's) y diferentes escenarios del desarrollo mundial se ha venido documentando el impacto del CG en los componentes del sistema climático, lo que ha causado cambios dramáticos en el clima terrestre, incrementando desastres causados por la distribución de la precipitación (sequías –inundaciones) como también efectos en los rendimientos de las especies cultivadas que pueden afectar notablemente la seguridad alimentaria (Reddy and Pachepsky, 2000). El objeto de esta reflexión es contribuir a sensibilizar sobre la amenaza que el CG representa para la seguridad alimentaria, al igual que el papel de la agrobiodiversidad para acciones de adaptación al fenómeno.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Colombia, con la contribución de Programas como *Decision and Policy Analysis (DAPA)*, *Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)* y organizaciones como *Bioversity International*, han venido desarrollando investigación científica que ha permitido documentar el impacto del CC en la producción de cultivos en el presente y el futuro. Estos estudios permiten además trazar estrategias de adaptación y/o mitigación con la debida anticipación, también contribuye con los gobiernos para la toma de decisiones y para definir una política pública que les permita enfrentar las grandes amenazas que el CG y el CC causarán en aspectos sociales, en infraestructura, en salubridad, en pérdida de biodiversidad, en desertificación de los suelos, en recursos hídricos, entre otros. Recientemente, CCAFS y colaboradores han venido documentando el impacto del CG y el CC en Centroamérica mediante la publicación de una serie llamada *Estado del arte en cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*, por países como República Dominicana, El Salvador y Guatemala.

Es importante distinguir algunos conceptos que pueden ser tomados en algunos casos como sinónimos. El CG se relaciona con la tendencia al incremento de la temperatura global de la tierra y se atribuye en los últimos 160 años al efecto del aumento de los gases efecto invernadero, especialmente del CO₂ a partir de la industrialización, el transporte, la contaminación, el uso de combustibles fósiles y la tala de bosques entre otros. El Cambio Climático, incorpora al CG e incluye todas las variaciones del clima que han ocurrido durante millones de años de evolución de la tierra, por causas como la actividad del sol, circulación oceánica, actividad volcánica, entre otros. Por otro lado, el clima se define como el estado promedio del tiempo y por tanto, el cambio climático y el estado del tiempo se confunden. Si bien el clima y el estado del tiempo se relacionan estrechamente, existen diferencias importantes entre ambos. Una confusión común entre el clima y el estado del tiempo surge al preguntar a científicos cómo pueden predecir qué será el clima dentro de 100 años, si no pueden predecir cuál será el estado del tiempo dentro de unas semanas.

La naturaleza caótica del estado del tiempo hace impredecible cualquier pronóstico, más allá de unos pocos días. La proyección de cambios en el clima (es decir, el estado del tiempo promedio a largo plazo) debido a cambios en la composición

atmosférica u otros factores, resulta una cuestión muy diferente y mucho más manejable. Impactos en la producción de los cultivos se han realizado para maíz, trigo y arroz (Howden and O'Leary, 1997; Challinor and Wheeler, 2008). La productividad de los cultivos y los balances de agua en el suelo se han estudiado con modelos de crecimiento de los cultivos con diferentes modelos climáticos globales Tabla 1. Dichos modelos se aplican con diferentes escenarios, determinados por el IPCC.

Un escenario climático es una descripción razonable del clima futuro basada en un rango de asunciones climatológicas, pero también de cómo podría ser en el futuro la tasa de crecimiento poblacional, los factores sociales y económicos, el desarrollo de tecnologías limpias, la adopción de nuevas tecnologías. La variabilidad climática es uno de los factores más importantes que influencia año a año la producción de cultivos, incluso en áreas con especies de alto rendimiento y alta tecnología agrícola, lo que incrementa, junto con la disponibilidad de agua, la incertidumbre con respecto a la seguridad alimentaria (Reddy and Pachepsky, 2000). En este sentido es válido determinar los impactos del cambio climático en la producción de cultivos, con el fin de desarrollar estrategias de adaptación.

En muchos países del mundo se predicen aumentos en la temperatura de la superficie terrestre para los años 2030-2050. Se pronostica que habrá un aumento promedio en 2°C por lo que todas las regiones del planeta serán más cálidas. Obviamente, habrá efectos regionales diferentes, es así como las temperaturas medias de primavera en regiones de USA, presentarán un aumento entre 3.7 °C a 6.4 °C; algo parecido se prevé que va a ocurrir en China y en Rusia. Del mismo modo, durante el otoño en Harbin, la temperatura media del aire aumentará entre 4.8 °C y 8.8 °C (IPCC, 2007; Jaggard *et al.*, 2010; El-Sharkawy y Mejía, 2011).

Las tendencias de calentamiento en el hemisferio norte son lo suficientemente grandes como para que los ciclos de cultivos de soya, maíz, patata y remolacha se alarguen considerablemente, lo que debe generar aumento en el rendimiento, siempre y cuando se disponga de suficiente agua para los cultivos. Este aparente cambio en los patrones de calentamiento podría incidir en un efecto positivo de impacto en la productividad agrícola en estas regiones. Tal variación se debe a una distribución desigual del calor solar, a las respuestas individuales

Tabla 1. Modelos de circulación general usados por escenarios.

Model	Vintage	Country	Sponsors	Horizontal resolution	Simulated data used in slope analysis
BCC-CMI	2005	China	Beijing Climate Center	1.9 x 1.9L16	1871-2100
BCCR-BCM2.0	2005	Norway	Bjerknes Center for Climate Research	1.9 x 1.9L31	1850-2099
CCSM3	2005	USA	National Center for Atmospheric Research	1.4 x 1.4L26	1870-2099
CCCM3.1(T 47)	2005	Canada	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	2.8 x 2.8L31	1850-2100
CCCM3.1(T 63)	2005	Canada	Canadian Center for Climate Modelling & Analysis	1.9 x 1.9L31	1850-2100
CNRM-CM3	2004	France	Météo-France/centre National de Recherches Météorologiques	1.9 x 1.9L45	1860-2090
CSIRO-Mk3.0	2001	Australia	CSIRO Atmospheric Research	1.9 x 1.9L18	1871-2100
ECHAM5/MPI-OM	2005	Germany	Max Planck Institute for Meteorology	1.9 x 1.9L31	1860-2100
ECHO-G	1999	Germany/ Korea	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model	3.9 x 3.9L19	1860-2100
FGOALS-g1.0	2004	China	LASG/Institute of Atmospheric Physics	2.8 x 2.8L26	1850-2099
GFDL-CM2.0	2005	USA	US Dept. of Commerce/NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.0 x 2.5L24	1861-2100
GFDL-CM2.1	2005	USA	US Dept. of Commerce/NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.0 x 2.5L24	1861-2100
GISS-AOM	2004	USA	NASA/Goddard Institute for Space Studies	3.0 x 4.0L12	1850-2100
GISS-EH	2004	USA	NASA/Goddard Institute for Space Studies	4.0 x 5.0L20	1880-2099
GISS-ER	2004	USA	NASA/Goddard Institute for Space Studies	4.0 x 5.0L20	1880-2100
INM-CM3.0	2004	Russia	Institute for Numerical Mathematics	4.0 x 5.0L21	1871-2100
IPSL-CM4	2005	France	Institute Pierre Simon Laplace	2.5 x 3.75L19	1860-2100
MIRO C3.2 (hires)	2004	Japan	Center for Climate System Research	1.12 x 1.12L56	1900-2100
MIRO C3.2 (medres)	2004	Japan	Center for Climate System Research	2.8 x 2.8L20	1850-2100
MRI-CGCM2.3.2	2003	Japan	Meteorological Research Institute	2.8 x 2.8L30	1851-2100
PCM	1998	USA	National Center for Atmospheric Research	2.8 x 2.8L26	1890-2099
UKMO-HadCM3	1997	UK	Hadley Center for Climate Prediction and Research/Met Office	2.5 x 3.75L19	1860-2099
UKMO-HadGEM1	2004	UK	Hadley Center for Climate Prediction and Research/Met Office	1.25 x 1.9L38	1860-2098

Fuente: Suppiah *et al.*, 2007

de la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre, a las interacciones entre ellos, y a las características físicas de las regiones (IPCC, 2007); Jaggard *et al.*, 2010; El-Sharkawy y Mejía, 2011).

Los efectos en los rendimientos y según el escenario y el modelo que se utilice estiman decrecimientos entre el 1% y el 7% de la producción mundial de cereales, con un efecto más negativo en los países

en desarrollo (-9% hasta -11%), esto como ya se mencionó se debe a que en los países de latitudes altas las estaciones de crecimiento son más limitadas por las bajas temperaturas y por ende un aumento en temperatura aumentará las estaciones de crecimiento de los cultivos.

Otro efecto colateral del CG en la agricultura es la variación que puede causar en los sistemas

económicos, por la alteración de los precios de los alimentos por una combinación de factores como reducción de la oferta, aumento de la demanda, aumento del consumo por la mejora económica de países como India y China, por ejemplo.

Se estima que existen aproximadamente 15 (\pm 1) mil millones de hectáreas libres de hielo en la superficie terrestre. De estas, aproximadamente el 10% se utilizan en cultivos; el 23% en pasturas; el 29% en bosques; estos tres juntos representan algo más que el 60% de la tierra disponible del planeta (Houghton, 1990; FAO, 2007) y son los recursos naturales disponibles para alimentar a 7 mil millones de personas que existimos actualmente y que podrían ser 10 mil millones en 2060 según proyecciones de (FAO, 2007). En la actualidad, cerca de mil millones de personas, especialmente en países en desarrollo, presentan algún tipo de deficiencia alimentaria (FAO, 2013) y esto podría empeorar como consecuencia del calentamiento global.

En este contexto se requiere de gran creatividad para no solo mantener sino aumentar los rendimientos de los cultivos y mitigar la pérdida de recursos naturales, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria mundial. Evaluaciones de la FAO indican que los agro-ecosistemas están expuestos a las amenazas de la variabilidad climática estacional y en largo plazo al cambio climático, además de su degradación por las actividades humanas.

Por otro lado, el aumento de las concentraciones de CO₂ por efecto de las actividades humanas se ha estudiado en algunos cultivos encontrando que las especies C₃ como el arroz y el trigo podrían salir beneficiadas con incrementos en rendimiento, al igual que algunas leguminosas como la soya, el fríjol y el maní a diferencia de las C₄ como maíz y sorgo. El aumento de la concentración de CO₂ mejoró los rendimientos de maíz y soya en un 9% y 14% respectivamente (McGrath and Lobell, 2011).

No menos relevante debe ser considerado el impacto del CC en la disponibilidad del agua pues es crítico para el desarrollo de los cultivos. Los cambios en la distribución de lluvias son más importantes que los cambios en los promedios anuales (Gornall *et al.*, 2010). En el pasado las inundaciones han llevado a grandes reducciones en la producción de los cultivos y en términos globales

los eventos de inundaciones vienen aumentando y afectando grandes áreas de producción de los principales cultivos alimenticios.

Los cambios anormales en el sistema climático tienen implicaciones en el largo plazo para la viabilidad de los ecosistemas, ya que cuando cambian los patrones climáticos también cambian la distribución espacial de las zonas agroecológicas, la dinámica de los hábitats para las especies de animales y plantas, las estructuras y biomasa de los ecosistemas y la diversidad genética de variedades locales, los patrones de distribución y la incidencia e infestación de plagas y enfermedades de las plantas, que pueden tener impactos significativos en la producción de los cultivos (Parry *et al.*, 2004); (Lobell y Bruke, 2010).

En el caso de estrés por aumento de la temperatura se ha documentado efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas por afectación de varios procesos fisiológicos y de rendimiento. Algunos efectos del estrés causan decrecimiento en procesos como la fotosíntesis, la conductancia estomática, uso eficiente del agua, altura de planta, ramificación, área foliar, crecimiento radicular, producción de materia seca, nodulación y fijación de N, floración, viabilidad del polen, número de frutos, entre otros. Por otro lado, se pueden incrementar algunos procesos como la senescencia, la demanda de agua, la transpiración (Egli *et al.*, 2005; Djanaguiraman, *et al.* 2013).

Ante esta situación, una estrategia para adaptarse a los escenarios futuros que plantea el calentamiento global, es incorporar la mayor biodiversidad posible y disponible en programas de mejoramiento. Existen grandes cantidades de germoplasma de cultivos y especies cultivadas en los bancos de semillas (*ex situ*) alrededor del mundo, al igual que en manos de agricultores y comunidades (*in situ*). Aún falta mucho por caracterizar y evaluar, pero existe suficiente documentación Tabla 2 para que los fitomejoradores puedan utilizarlas en la generación de nuevos materiales que se adapten a nuevas condiciones bióticas y abióticas generadas por efectos del CG y el CC (Zeigler, 2013).

Por otro lado, las especies parientes silvestres de los cultivos (EPSC) juegan un papel fundamental por su potencial para contribuir con caracteres

Tabla 2. Ejemplos de información disponible para programas de fitomejoramiento

Core details	Use	Publication
Wild barley	Aluminium tolerance	Dai <i>et al.</i> , 2011
Hordeum – USDA-ARS National Small Grains Colletion	Aphid resistance	Dahleen <i>et al.</i> , 2012
Beta	Allele mining	Reeves <i>et al.</i> , 2012
Global chickpea mini-core	Nitrogen fixation capacity	Biabani <i>et al.</i> , 2011
Finger millet	Grain nutrients	Upadhyaya <i>et al.</i> , 2011
Groundnut reference mini-core	Drought tolerance	Hamidou <i>et al.</i> , 2012
Sour orange core	<i>Citrus tristeza virus</i> resistance	Bernet <i>et l.</i> , 2008
<i>Pisum</i> - USDA	Seed nutrients	Kwon <i>et al.</i> , 2012
US peanut mini-core	<i>Sclerotinia minor</i> resistance	Chamberlin <i>et al.</i> , 2010
Pigeonpea – mini-core collection	Waterlogging response	Krishnamurthy <i>et al.</i> , 2012
Pigeonpea – mini-core collection	<i>Fusarium</i> wilt and sterility mosaic disease	Sharma <i>et al.</i> , 2012
<i>Oryza sativa</i> – USDA-ARS National Small Grains Collection	Rice blast disease – <i>pib</i> gene	Roychowdhury <i>et al.</i> , 2012
International rice core	Blast resistance gene <i>Pi-ta</i>	Wang <i>et al.</i> , 2010
Rice core subset	Rice clast resistance – <i>Pi-z</i> gene	RoyChowdhury <i>et al.</i> , 2012
Rice USDA core	Sheath blight resistance	Jia <i>et al.</i> , 2011
Rice USDA mini-core	Grain yield QTL	Li <i>et al.</i> , 2004
<i>Oryza sativa</i>	Grain quality traits	Redestig <i>et al.</i> , 2011
Sorghum mini-core	Grain mould and downy mildew resistance	Sharma <i>et al.</i> , 2012
Winter wheat USDA core subset	Bacterial leaf streak resistance	Adhikari <i>et al.</i> , 2011
Winter wheat core	Grain yield under drought	Dodig <i>et al.</i> , 2012
Chinese wheat micro-core	Grain dormancy	Chang <i>et al.</i> , 2010

Fuente: Brian, Johannes and Michael, 2013

benéficos para los cultivos tales como resistencia a plagas y enfermedades y estabilidad en los rendimientos Tabla 3.

La diversidad de las EPSC es muy importante por su alta diversidad genética que puede aportar caracteres para factores bióticos y abióticos que pueden ser transferidos a los cultivos mediante técnicas convencionales o biotecnológicas. En este sentido, las EPSC ofrecen una oportunidad para la mitigación al CC como una estrategia para contribuir a la seguridad alimentaria futura (Maxted *et al.*, 2012). Con base en lo anterior, es clara la necesidad de realizar esfuerzos por conservar y caracterizar las EPSC, pues su alta variabilidad genética es una fuente potencial que permitirá contribuir a la seguridad alimentaria global.

Una de las mayores preocupaciones es cómo se verán afectados los sistemas de semillas por el CG y el CC en cuanto a garantizar la seguridad alimentaria mundial. En México (Bellon *et al.*, 2011) concluyeron que los mayores impactos serán sobre los pequeños agricultores, especialmente la capacidad de los sistemas tradicionales de semillas de maíz para proveer a los agricultores de

materiales genéticos que les permitan afrontar los impactos del cambio climático en el futuro.

La mayoría de los países ya viene sufriendo por el rigor de eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones, huracanes. En este sentido es necesario avanzar en estudios de vulnerabilidad para los diferentes sistemas productivos (pequeños, medianos, grandes) en cada país/región/localidad como también en la planificación de la adaptación al cambio climático. Los países necesitan conocimientos sólidos sobre la vulnerabilidad de sus sistemas alimentarios, ecosistemas, sociedades y economías nacionales al CC y al CG. La FAO ha desarrollado una amplia gama de sistemas de datos innovadores y fáciles de usar, además de herramientas para evaluar la repercusión del clima y las vulnerabilidades y planificar las prácticas de adaptación, como por ejemplo: una metodología de optimización de la adaptación dinámica de las explotaciones agrícolas (FAO, 2014).

La adaptación es un proceso integrado y flexible que depende del manejo sostenible de los recursos naturales. En la actualidad ya se cuenta con una gran cantidad de conocimientos sobre las

Tabla 3. Ejemplos de caracteres de las EPSC que podrían ser transferidos con potencial para mitigación al CC

CROP	CWR	Applications
Chickpea (<i>Cicer arietinum</i>)	<i>Cicer reticulatum</i>	Drought and temperature tolerance
Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>)	<i>Helianthus paradoxus</i>	Salt tolerance
Barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	<i>Hordeum spontaneum</i>	Drought and temperature tolerance
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	<i>Lycopersicon cheesmanii</i> <i>Lycopersicon pennellii</i> <i>Lycopersicon peruvianum</i>	Various forms of resistance, drought and salinity tolerance, soluble solids, insect resistance
Cassava (<i>Manihot esculenta</i>)	<i>Manihot angustiloba</i> , <i>Manihot davisiae</i> , <i>manihot rubricaulis</i>	Drought tolerance, adaptation to high altitudes and cool temperature
Banana and plantain (<i>Musa acuminatae Musa balbisiana</i>)	<i>Musa balbisiana</i> , <i>Musa itinerans</i> , <i>Musa nagensium</i>	Drought resistance, water – logging resistance
Rice (<i>Oryza sativa</i>)	<i>Oryza longistaminata</i> <i>Oryza rufipogon</i>	Drought resistance and yield increase Drought resistance
Wheat (<i>Triticum aestivum</i>)	<i>Aegilops cylindrica</i> , <i>Thinopyrum Junceum</i> <i>Aegilops</i> spp., <i>Thinopyrum</i> spp <i>Elytrigia elongata</i> , <i>Hordeum</i> Spp. <i>Aegilops speltoides</i> , <i>T. turgidum</i> <i>aegilops tauschii</i> , <i>triticum turgidum</i> <i>Agropyron elongatum</i> <i>Thihopyrum bessarabicum</i>	Salt tolerance
		Salt tolerance
		Salt tolerance
		Water-logging tolerance
		Drought tolerance Salt tolerance

Fuente: Adaptado de Maxted and Kell, 2009

tecnologías sostenibles y las prácticas innovadoras para fomentar un mejor manejo de los recursos naturales y una mayor resiliencia del ecosistema. El ajuste de estas prácticas al contexto de los impactos actuales y futuros del cambio climático es esencial. (FAO, 2013).

Conclusión

La seguridad alimentaria mundial se encuentra amenazada por efecto del CG y el CC. Ninguno de los sistemas de producción de alimentos, por si solo, garantiza un abastecimiento eficaz. En este sentido, en los diversos cultivos se deben incorporar recursos genéticos de la biodiversidad para la mitigación y/o adaptación a los problemas bióticos y abióticos. Esto requiere el fortalecimiento de los programas nacionales de fitomejoramiento y de las estrategias de conservación y uso de los parientes silvestres que son la fuente de soluciones a los problemas que nuestras especies de cultivo tienen hoy y los que tendrán en los próximos años por efectos del CC y el CG.

Referencias

- Bellon, M.R., Hodsonb, D. and Hellinc, J. (2011). Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(33): 13432–13437.
- Brian, F.; Johannes, M. and Michael Jackson. (2013). *Genetic Resources and Conservation challenges under the Threat of Climate Change* In: Plant genetic resources and climate change / edited by Michael Jackson, Brian Ford-Lloyd and Martin Parry. ISBN 978-1-78064-197-3
- Challinor A.J., Wheeler T.R. 2008. Crop yield reduction in the tropics under climate change: processes and uncertainties. *Agric. Forest. Meteorol.* 148:343–56.
- Djanaguiraman, M., Prasad, P.V.V., Boyle, D.L. and Schapaugh, W.T. 2013. Soybean pollen anatomy, viability, and pod set under high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199: 171–177.

- Egli, D.B., TeKrony, D.M. and Spears, J.F. 2005. High temperature stress and soybean seed quality: Stage of seed development. *Seed Technology* 33: 345–352.
- El-Sharkawy, M.A. y Mejía, S. 2011. Cambio Climático: Causas y Posibles impactos en los Ecosistemas Agrícolas. En: Genómica y Modelación en los nuevos Escenarios de la Ganadería Bovina Tropical. *Segundo Simposio Internacional. Grupo de investigación Conservación, Mejoramiento y Utilización del Ganado Criollo Hartón del Valle y otros Recursos Genéticos en el Suroccidente Colombiano*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 177 p.
- FAO 2007. Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: perspective, framework and priorities. Recuperado de <http://www.fao.org/clim/>.
- FAO 2010. *Agricultura “climáticamente inteligente” Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia. 43 p.
- FAO 2013. *Nuevo informe sobre el hambre*. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/161867/icode/>
- FAO, 2013. *La FAO salvaguarda el medio ambiente mundial: Adaptación de la agricultura al cambio climático*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_SP.pdf
- FAO 2014. *Cambio climático*. Recuperado de www.fao.org/climatechange/es
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365, 2973–2989.
- Houghton JT, Jenkins GJ, Ephraums JJ (eds.) (1990). *Climatic Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- Howden S.M., O’Leary G.J. 1997. Evaluating options to reduce greenhouse gas emissions from an Australian temperate wheat cropping system. *Environ Modell Software*.12:169–76.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC 2013. *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth (AR5) Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Stocker T.F., Dahe Q., Plattner, G.K., Tignor, M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.)]. University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jaggard K.W., Qi A., Ober E.S. 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philos Trans R Soc Lond Biol Sci*. 365(1554):2835–2851.
- Lobell D., Bruke M. (eds.) 2010. *Climate Change and Food Security: Adapting Agriculture to a Warmer World*. Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York.
- McGrath J.M. and Lobell D.B. 2011. An independent method of deriving the carbon dioxide fertilization effect in dry conditions using historical yield data from wet and dry years. *Global Change Biology*, 17: 2689–2696.
- Maxted N. and Kell S.P. 2009. *Establishment of a Global Network for the In Situ Conservation of Crop Wild Relatives: Status and Needs*. Background Study Paper No. 39. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, Rome, Italy. Recuperado de <http://typo3.fao.org>.
- Maxted N., Kell S.P., Ford-Lloyd B.V., Dulloo M.E. and Toledo A. 2012. Toward the systematic conservation of global crop wild relative diversity. *Crop Sciences* 52: 774–785.
- Parry M.L., Rosenzweig C., Iglesias A., Livermore M, Fischer G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environ. Change* 14: 53–67.
- Reddy V.R., Pachepsky Y.A. 2000. Predicting crop yields under climate change conditions from monthly GCM weather projections. *Environ Modell Software*.15:79–86.
- Suppiah R, Hennessy KJ, Whetton PH, 2007. Australian climate change projections derived from simulations performed for the IPCC 4th assessment report. *Aust Meteorol Mag* 56:131–52.
- Zeigler, R. S. 2013. *Food security, climate change and genetic Resources* In: Plant genetic resources and climate change / edited by Michael Jackson, Brian Ford-Lloyd and Martin Parry. ISBN 978-1-78064-197-3