



El cambio climático y la producción agrícola

Rodomiro Ortiz

**Banco
Interamericano de
Desarrollo**

Unidad de
Salvaguardias
Ambientales (VPS/
ESG)

NOTAS TÉCNICAS

ESG-TN-383

Febrero 2012

El cambio climático y la producción agrícola

Rodomiro Ortiz



Banco Interamericano de Desarrollo

2012

<http://www.iadb.org>

Las "Notas técnicas" abarcan una amplia gama de prácticas óptimas, evaluaciones de proyectos, lecciones aprendidas, estudios de caso, notas metodológicas y otros documentos de carácter técnico, que no son documentos oficiales del Banco. La información y las opiniones que se presentan en estas publicaciones son exclusivamente de los autores y no expresan ni implican el aval del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representan.

Este documento puede reproducirse libremente.

Rodomiro Ortiz es Profesor de Genética y Mejora Vegetal en la Universidad de Ciencias Agrónomas de Alnarp, en Suecia. A lo largo de los años, se ha desempeñado como investigador en la Universidad Nacional Agraria La Molina, el Centro Internacional de la Papa en Perú, la Universidad Rutgers y el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA, por sus siglas en inglés) en Nigeria, y como Profesor Nórdico en la Universidad Real de Veterinaria y Agricultura de Dinamarca. Previamente, ocupó el cargo de director de programas en el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT, por sus siglas en inglés) en India, en IITA y en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en México.

Siglas

GEI	Gases de efecto invernadero
ENSO	El Niño – Oscilación del Sur
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

Índice

1.	Panorama mundial y continental sobre el impacto del cambio climático en la agricultura	1
	El calentamiento global y sus efectos sobre la agricultura	2
	El cambio climático en América Latina y el Caribe	3
	Otros fenómenos climáticos extremos	4
	Modelos de predicción climática	5
2.	Efectos esperados de los cambios de temperatura y precipitaciones sobre la producción, los recursos hídricos, el rendimiento de los cultivos y los medios de subsistencia en las zonas rurales	7
	El cambio climático y la disponibilidad de agua	9
	El cambio climático y la erosión del suelo	9
	El cambio climático y los rendimientos de los cultivos en América Latina y el Caribe	10
	Impacto social del cambio climático sobre el pequeño productor y sobre la agricultura de subsistencia	11
3.	Aplicación de la información disponible a casos particulares.....	13
	Mesoamérica	13
	Islas del Caribe.....	15
	La Comunidad Andina.....	16
	Cono Sur	17
4.	La adaptación de la agricultura al cambio climático: un mismo enfoque no funciona para todos	19
5.	La mitigación del cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero.....	24
6.	Panorama.....	27
	Referencias bibliográficas.....	30

1. Panorama mundial y continental sobre el impacto del cambio climático en la agricultura

Como resultado del cambio climático a nivel mundial, se espera que se produzcan temperaturas extremas, escasez de agua e inundaciones, debido principalmente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidos por la acción humana. Algunos animales y plantas pueden reducirse en tamaño debido a las altas temperaturas y a las menores precipitaciones,¹ lo que limitará la disponibilidad de fuentes alimentarias esenciales para la nutrición del ser humano. Este cambio de clima afectará seriamente la agricultura a nivel mundial.² En la mayoría de los escenarios de calentamiento global (véase la Tabla 1), existe una alta probabilidad de que se produzca una disminución en los rendimientos de los cultivos debido a las crecientes temperaturas y a las menores precipitaciones, lo que a su vez agudizará la inseguridad alimentaria. Otras de las consecuencias esperables son la disminución de la calidad de los cultivos, una mayor lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo, y la menor disponibilidad de tierras y recursos hídricos para la actividad agropecuaria.

Tabla 1. Principales características de los escenarios de cambio climático

Escenario	Principales características
A1	Rápido crecimiento demográfico y económico asociado a la incorporación de nuevas tecnologías más eficientes
A1F1	Uso intensivo de combustibles de origen fósil
A1T	Uso predominante de fuentes de energía de origen no fósil
A1B	Uso equilibrado de todo tipo de fuentes de energía
B1	Comprende cierta reducción del nivel de emisiones mediante el uso más eficiente de energía y de tecnologías más desarrolladas
B2	Comprende cierta reducción del nivel de emisiones mediante el uso más eficiente de energía y de soluciones más localizadas

Los gobiernos y los productores rurales a nivel mundial —especialmente el pequeño productor— deberán adaptar sus agroecosistemas a patrones climáticos variables e inestables, debido a que el cambio climático afectará el acceso a los alimentos, como así también su disponibilidad, estabilidad y uso.³ Por ejemplo, para el año 2050, el precio de los principales alimentos básicos podría aumentar entre un 30 por ciento (en el caso del arroz, en un escenario “optimista”) y un 100 por ciento (en el caso del maíz, en un escenario de

¹ Sheridan y Bickford 2011.

² Tubiello y otros, 2007.

³ Schmidhuber y Tubiello 2007.

referencia) debido a los menores rendimientos de los cultivos.⁴ De aquí que los principales desafíos para la agricultura en este siglo serán mejorar el acceso a los alimentos, incrementar su oferta, mejorar su distribución, y mejorar la capacidad de recuperación del sistema alimentario, al tiempo que se reducen las emisiones de GEI y se elimina la contaminación del aire y del agua producida por la actividad agropecuaria y el uso de las tierras, evitando perjudicar el hábitat y la biodiversidad y eliminando en forma gradual las extracciones de agua no sostenibles.⁵

El calentamiento global y sus efectos sobre la agricultura

La temperatura de la Tierra aumentó entre los años 1850 y 2010 a razón de 0,5 °C por siglo, pero dicha marca aumentó a 0,7 °C a partir de 1900, a 1,3 °C a partir de 1950 y a 1,8 °C durante los últimos 35 años. Las últimas dos décadas se encuentran entre las más calurosas desde que se comenzó a llevar registro de las temperaturas. Desde 1981, se han perdido 40 millones de toneladas anuales de cebada, maíz y trigo debido al calentamiento global (lo que al año 2002 equivale a USD 5 mil millones),⁶ aunque estas fueron compensadas con los mayores rendimientos logrados a partir de mejoras genéticas desarrolladas en materia de cultivos y de otros avances agrotecnológicos.

Parecería que, más allá de lo que se ha advertido en los últimos 50 años, las altas temperaturas estacionales pueden generalizarse aún más en diversas zonas de Mesoamérica y América del Sur en lo que resta de este siglo.⁷ Se estima que las temperaturas podrían aumentar entre 0,4 °C y 1,8 °C para el año 2020, y este incremento se acentuaría aún más en las zonas tropicales. Las altas temperaturas (en especial cuando los aumentos superan los 3 °C) afectarán considerablemente la productividad agrícola, los ingresos de los productores y la seguridad alimentaria. Diversos cultivos que representan fuentes esenciales de alimentación para grandes poblaciones que padecen inseguridad alimentaria verán seriamente afectados sus rendimientos, aunque parecería que los escenarios son más inciertos para algunos cultivos que para otros.⁸ Por ejemplo, el rendimiento del grano de arroz disminuye un 10 por ciento por cada incremento de 1 °C en la temperatura al aproximarse la estación seca,⁹ en tanto que se espera una pérdida del 10 por ciento en la producción de maíz para el

⁴ Nelson y otros, 2010.

⁵ Foley y otros, 2011.

⁶ Lobell y Field, 2007.

⁷ Battisti y Naylor, 2009.

⁸ Lobell y otros, 2008.

⁹ Peng y otros, 2004.

año 2055.¹⁰ Por otro lado, el calentamiento global podría resultar beneficioso para el trigo en algunas regiones, aunque este cultivo podría ver reducida su productividad en forma considerable en aquellas zonas donde actualmente ya se registran temperaturas óptimas o bien podría extenderse a ámbitos más fríos o templados en donde aún no se desarrolla.¹¹ Asimismo, la presencia de numerosos insectos y ácaros perjudiciales para los cultivos podría ir en aumento, con motivo de las crecientes temperaturas y las mayores concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera.

El cambio climático en América Latina y el Caribe

Durante los últimos 50 años, se han observado en el continente americano variaciones de temperaturas extremas que afectan la agricultura. (Véase la Figura 1). En Mesoamérica y América del Sur, la temperatura media aumentó 1 °C durante el siglo XX, aunque evidenció una variabilidad estacional y espacial considerable. Por ejemplo, durante el periodo comprendido entre los años 1960 y 2000, la frecuencia de noches cálidas se incrementó en todas las zonas de América del Sur ubicadas por debajo de los 10° S.^{12,13} Asimismo, se registró una tendencia positiva de fenómenos extremos de precipitaciones en las zonas sudoriental de América del Sur, septentrional central de Argentina y noroccidental de Perú y de Ecuador, en tanto que se observó una tendencia negativa en la zonas meridionales de Perú y de Chile.¹⁴ (Véase la Figura 2). Por otra parte, fue notoria la sucesión de días secos que se observó en gran parte de la zona sudoriental de América del Sur y, en menor grado, en las zonas meridional de Perú y septentrional de Argentina y de Bolivia. Asimismo, según se desprende de los registros de precipitaciones, se ha observado una marcada tendencia hacia los veranos secos en las regiones del Caribe y de América Central.¹⁵ Según el índice de riesgo climático de largo plazo para el periodo 1990-2008, Honduras, Nicaragua, Haití y República Dominicana se encuentran entre los países más afectados por fenómenos climáticos extremos.¹⁶

En razón de su geografía, América Latina y el Caribe son vulnerables a los cambios climáticos.¹⁷ Por su parte, Mesoamérica y las islas del Caribe se encuentran situadas en el cinturón de los huracanes, cuya fuerza y volatilidad han ido en aumento en los últimos años.¹⁸ Asimismo, parte de la agricultura de América del Sur depende de los cursos de agua

¹⁰ Jones y Thornton, 2003.

¹¹ Ortiz y otros, 2008.

¹² Marengo y otros, 2010.

¹³ Vincent y otros, 2005.

¹⁴ Haylock y otros, 2006.

¹⁵ Neelin y otros, 2006.

¹⁶ Harmeling, 2009.

¹⁷ Isbell, 2011.

¹⁸ Vergara y otros, 2007.

provenientes de los glaciares andinos, que se encuentran en plena retracción como consecuencia del calentamiento global y que podrían desaparecer durante las próximas dos décadas.¹⁹ Por lo tanto, la disponibilidad de agua y la generación de energía hidroeléctrica podrían verse seriamente afectadas por efecto de la reducción de los glaciares.

Otro de los fenómenos de peso que afectan la variabilidad climática de América Latina es la Oscilación del Sur El Niño (ENSO). El Niño fue el nombre con el que pescadores peruanos bautizaron a este fenómeno climático, en honor al Niño Jesús. Se caracteriza por un aumento de la temperatura del agua en el Océano Pacífico oriental que revierte los patrones climáticos y produce incrementos de precipitaciones en las zonas costeras y sequías en las zonas de altura media a elevada. *La Niña* —su contraparte fría— puede suceder a El Niño con patrones opuestos.

Durante el siglo XX, ENSO fue apodado dos veces “El Niño del siglo”, debido al calentamiento sin precedentes registrado en 1983 y en 1998 en el Océano Pacífico ecuatorial oriental. Las intensas precipitaciones causaron desprendimientos de tierra e inundaciones, en tanto que en otras aéreas fue notoria la sequía producida por la intermitencia de periodos secos. Durante el periodo 1997-1998, los daños causados por El Niño a la agricultura de la Comunidad Andina con motivo de la escasez de agua y las temperaturas extremas oscilaron entre el 17 por ciento (Perú) y el 47 por ciento (Ecuador) de los daños totales, lo que equivalió a USD 2.200 millones (20 por ciento de los daños totales).

Por su parte, los cambios inducidos por la acción humana podrían afectar la frecuencia y la magnitud crecientes de El Niño.²⁰ Si estas magnitudes continuarán en aumento o no debido al cambio climático constituye materia de debate. De lo que no cabe duda es que ENSO continuará afectando la agricultura del continente. Por ejemplo, durante el episodio de El Niño de 1998, los productores observaron que el ciclo de los cultivos se había reducido; tal fue el caso del algodón y del mango en la zona septentrional de Perú. Asimismo, la sequía produjo un aumento de plagas de insectos, en tanto que el exceso de precipitaciones y los cambios de temperatura brindaron un ámbito propicio para el desarrollo de enfermedades micóticas.

Otros fenómenos climáticos extremos

Entre los fenómenos más significativos que pueden presentarse como consecuencia del cambio climático se encuentran las inundaciones, las sequías, las heladas, las olas de calor,

¹⁹ Bradley y otros, 2006.

²⁰ Bronnimann y otros, 2004.

las tormentas de granizo, como así también las variaciones en el equilibrio entre temperatura y precipitaciones o en la intensidad y frecuencia de los huracanes. Algunos de estos fenómenos —especialmente la mayor cantidad de periodos de noches cálidas, las precipitaciones intensas y las sucesiones de días secos— han afectado seriamente la región de América Latina y el Caribe en los últimos años: por ejemplo, las intensas precipitaciones en Venezuela (1999, 2005); las inundaciones en la región pampeana de Argentina (2000–2002), Bolivia (2006), Guyana (2006) y Colombia (2011); la sequía en la Amazonia (2005), Ecuador (2004) y Guatemala (2004); las heladas en Perú (2005); las tormentas de granizo en Bolivia (2002) y en el Gran Buenos Aires (2006); el insólito huracán Catalina en la zona del Atlántico sur de Brasil (2004); y la temporada de huracanes de 2005 en la cuenca del Caribe.

Este aumento de fenómenos extremos incrementó 2,4 veces las inundaciones, las sequías y los desplazamientos de tierra, aunque algunos de estos fenómenos podrían estar relacionados con ENSO. Estas variaciones en intensidad y frecuencia de los fenómenos extremos acentuará la vulnerabilidad de la agricultura de América Latina y el Caribe al cambio climático. Por ejemplo, durante las sequías registradas en el Cono Sur durante el periodo 2004-2006, en la provincia del Chaco (Argentina) se perdieron 120.000 cabezas de ganado vacuno, en tanto que en Río Grande del Sur (Brasil) las producciones de soja y maíz cayeron un 65 y un 56 por ciento respectivamente.

Estos fenómenos extremos dejan ver a las claras la necesidad de desarrollar mecanismos que permitan una mejor gestión de agroecosistemas en forma sostenible. En ese sentido, debería prestársele especial atención a los métodos tradicionales de gestión de agroecosistemas empleados por los pueblos indígenas. Por ejemplo, estas formas de gestión autóctonas podrían proporcionar medidas de adaptación que permitan compensar la menor disponibilidad de agua para riego, producto de la retracción de los glaciares, o el aumento de la altura mínima necesaria para la plantación de cultivos. Asimismo, podrían brindar mecanismos para gestionar los ciclos de *aguaje* asociados a los ciclos de vientos secos y húmedos que afectan en forma notoria la agricultura en la Amazonia.

Modelos de predicción climática

Si bien la credibilidad de los modelos de predicción climática puede cuestionarse hasta cierto punto (véase la Tabla 2),²¹ los escenarios de cambio climático previstos para el continente sugieren un incremento en las temperaturas de entre 1 y 6 °C (véase la Figura 3). Sin

²¹ Koutsoyiannis y otros, 2008.

embargo, los pronósticos disponibles sobre precipitaciones son muy heterogéneos.²² No obstante ello, en lo que respecta al cambio de régimen de precipitaciones, los modelos coinciden en que se producirá un aumento en las precipitaciones estivales en la zona sudoriental subtropical de América del Sur, una disminución en las precipitaciones durante el invierno que se extenderá a todo el continente, y una reducción en las precipitaciones en los Andes meridionales, que no estará atada a ninguna estación en particular.²³ (Véase la Figura 4). Los breves periodos de precipitaciones reducirán el ciclo de los cultivos, lo que afectará la productividad. En la zona noreste de Brasil, el clima favorable para el ciclo de desarrollo de los cultivos durará menos tiempo y la sequía se extenderá aún más. Por su parte, las noches cálidas serán cada vez más frecuentes en toda la zona tropical de América del Sur, en tanto que las noches frías serán cada vez más esporádicas.²⁴ Los aumentos de temperatura y las menores precipitaciones perjudicarán los rendimientos de los cultivos, en tanto que un aumento del orden de los 4 °C reducirá la productividad de la actividad ganadera en forma notoria. De aquí que será una prioridad para la región de América Latina y el Caribe el adaptar los cultivos y el ganado de los diversos agroecosistemas al calentamiento global y a la escasez de agua. Como ya lo advirtió el Banco Interamericano de Desarrollo, los productores rurales —en especial el pequeño productor— deberán incorporar innovaciones tecnológicas y métodos de producción (incluido el cambio de cultivos) que sean económicamente rentables y respetuosos del medio ambiente.²⁵

Tabla 2. Algunos modelos de circulación general utilizados para la predicción de climas futuros

Denominación	Desarrollador	Resolución (°) en latitud y longitud	Puntos de cuadrícula latitud x longitud
ECHAM4/OPYC3	Instituto de Meteorología Max Planck y <i>Deutsches Klimarechenzentrum</i> , Hamburgo, Alemania	2,8 × 2,8	64 × 128
CGCM2	Centro Canadiense de Modelización y Análisis del Clima [<i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis</i>]	3,7 × 3,7	48 × 96
HadCM3	Centro Hadley para la Predicción e Investigación del Clima [<i>Hadley</i>]	2,5 × 3,7	73 × 96

²² PNUMA, 2010.

²³ Vera y otros, 2006.

²⁴ Marengo y otros, 2009.

²⁵ BID, 2010.

Denominación	Desarrollador	Resolución (°) en latitud y longitud	Puntos de cuadrícula latitud x longitud
	<i>Centre for Climate Prediction and Research]</i>		
CGCM3-T47	Centro Canadiense de Modelización y Análisis del Clima	3,7 × 3,7	48 × 96
ECHAM5-OM	Instituto de Meteorología Max Planck y <i>Deutsches Klimarechenzentrum</i> , Hamburgo, Alemania	1,9 × 1,9	96 × 192
PCM	Centro Nacional de Investigación Atmosférica [<i>National Center for Atmospheric Research</i>], EE. UU.	2,8 × 2,8	64 × 128

2. Efectos esperados de los cambios de temperatura y precipitaciones sobre la producción, los recursos hídricos, el rendimiento de los cultivos y los medios de subsistencia en las zonas rurales

El efecto preciso que el cambio climático producirá sobre la agricultura en América Latina y el Caribe es aún incierto, habida cuenta de que Argentina, Brasil y México representan por lo menos el 70 por ciento de la producción total de esa región.²⁶ El maíz, el arroz, la soja, el trigo y el ganado (destinado a la producción de carne, leche y lana) se encuentran entre los productos más importantes y, en su mayor parte —con excepción del maíz—, se producen en establecimientos agropecuarios medianos y grandes. Los aportes de la agricultura al producto bruto interno varían según la región: en la mayor parte del Caribe, representan menos del 5 por ciento; en todos los países del Cono Sur —excepto uno—, Cuba, República Dominicana y Jamaica representan entre el 4 y el 8 por ciento; en la Comunidad Andina, Costa Rica, El Salvador y Panamá representan entre el 8 y el 15 por ciento; y en Belice, Dominica, Guatemala, Guyana, Haití, Nicaragua y Paraguay representan más del 15 por ciento.

El impacto del cambio climático variará en función del sistema de producción agropecuaria y de su ubicación geográfica.²⁷ Por ejemplo, los valores de las tierras aptas para la producción pueden disminuir en las regiones cálidas y húmedas de la Amazonia y del Ecuador, en tanto que pueden aumentar en las zonas geográficas templadas o elevadas y en el

²⁶ Baethgen, 1997.

²⁷ Mendelsohn y otros, 2007.

cono sur de América del Sur.²⁸ Las regiones ecuatoriales son en extremo vulnerables al cambio climático porque en esa región la producción agropecuaria se desarrolla en un ámbito cuyas altas temperaturas se encuentran cerca de los límites máximos tolerables.

Se estima que, en América del Sur, los valores de los establecimientos especializados en producción agrícola o ganadera y de aquellos dedicados tanto a la producción agrícola como a la ganadera (sistema mixto) caerán un 19 y un 34 por ciento respectivamente, aunque esta caída será menor en el caso del sistema mixto (15 por ciento) para el año 2060 (considerándose un aumento de temperatura de 3 °C y una disminución en las precipitaciones del 10 por ciento).²⁹ Las utilidades de los establecimientos agrícolas especializados caerán un 20 por ciento, en tanto que esta disminución será del 34 por ciento en el caso de los establecimientos ganaderos especializados y de sólo el 13 por ciento en el caso de los establecimientos mixtos, lo que podría llevar al productor rural sudamericano a adoptar sistemas de producción mixtos. Estas pérdidas serán del 11 por ciento en el caso de los establecimientos agrícolas, del 22 por ciento en el caso de los establecimientos ganaderos y del 5 por ciento en el caso de los establecimientos mixtos si las temperaturas aumentan sólo 1,7 °C y las precipitaciones disminuyen un 5 por ciento para el año 2060. En América Central, las pérdidas para finales del este siglo oscilarán entre un 1 por ciento (Costa Rica) y un 66 por ciento (Guatemala).³⁰

Los efectos en cada país dependerán de la interacción entre el clima, la topografía, los tipos de suelo, la disponibilidad de agua y las clases de cultivos, ganado y árboles utilizados por los productores en sus agroecosistemas. Sin embargo, las menores precipitaciones, las mayores inundaciones o los valores de temperatura extremos (superiores a los 2 °C) afectarán la seguridad alimentaria, en especial en las zonas áridas y semiáridas. La fertilización con CO₂ puede equilibrar algunos de los efectos adversos del cambio climático en los valles situados a media altura, pero, en promedio, la productividad agrícola y ganadera podría disminuir en toda la región de América Latina y el Caribe para finales de este siglo. Además, se estima que en algunas zonas (como por ejemplo el centro y sur de Chile, la costa peruana y el sudeste de Brasil), alrededor del 50 por ciento de las tierras aptas para la agricultura resultará afectado por la desertificación y la salinidad.³¹

²⁸ Seo y Mendelsohn, 2006.

²⁹ Seo, 2008.

³⁰ CEPAL 2011a.

³¹ Rodríguez, 2007.

Un estudio reciente sugiere que en América Latina y el Caribe las pérdidas de ingreso en la agricultura podrían oscilar entre un 12 y un 50 por ciento para el año 2100, aun luego de la adaptación de los cultivos, el ganado y los sistemas de producción agropecuaria al cambio climático.³² Otro estudio sugiere que la producción agrícola total de la región podría caer un 12 por ciento para el año 2080 si se produce la fertilización con CO₂, y un 24 por ciento si esta última no se produce.³³ Este último informe, sin embargo, omite considerar los efectos de la escasez de agua sobre la producción agrícola y ganadera.

El cambio climático y la disponibilidad de agua

La agricultura es una de las mayores demandantes de agua en todo el mundo, y su competitividad depende de que pueda disponer de este recurso en forma oportuna para el desarrollo de los cultivos, el ganado y los árboles. La escasez de agua producida por el cambio climático, sumado a una creciente demanda de agua para riego, para la industria, para la producción de energía hidroeléctrica y para otros usos por parte del hombre, exacerbará la competencia por este recurso entre los diversos sectores de la región. La disminución de los niveles de aguas subterráneas y los costos crecientes de energía que demanda su extracción producirán un aumento en los costos de la actividad agropecuaria.

Por su parte, los glaciares de la zona andina de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú han perdido el 20 por ciento de su volumen, lo que afectará el suministro de agua y energía en América del Sur. La energía de origen hidroeléctrico representa por lo menos el 50 por ciento del suministro de energía de la Comunidad Andina, donde en numerosas zonas los productores son también fuertemente dependientes del agua de los glaciares. Asimismo, los aumentos de temperatura en los Andes están afectando los ciclos hidrológicos y los hábitats de las zonas montañosas, en donde las variaciones del régimen de precipitaciones también afectarán el suministro de agua. También las zonas costeras podrían verse afectadas por el cambio climático debido a la elevación del nivel del mar,³⁴ lo que podría convertir el suministro de agua en no apto tanto para la agricultura como para el consumo humano.

El cambio climático y la erosión del suelo

Un potencial efecto adverso del cambio climático —que afectaría particularmente al pequeño productor— lo constituye la pérdida de materia orgánica del suelo. Las altas temperaturas aceleran la descomposición de la materia orgánica y aumentan el ritmo de desarrollo de otros

³² de la Torre y otros, 2009.

³³ Cline 2007.

³⁴ *Ibíd.*

procesos que tienen lugar en el suelo y que pueden afectar su fertilidad.³⁵ Los ritmos de crecimiento de las raíces y de la descomposición de la materia orgánica disminuyen considerablemente en los suelos secos, lo que reduce la cobertura del suelo y hace a este último más vulnerable a la erosión eólica. Por su parte, el aumento de las precipitaciones también puede causar una erosión importante del suelo en las laderas montañosas.

El cambio climático y los rendimientos de los cultivos en América Latina y el Caribe

Con respecto a la cuantificación de los efectos del cambio climático sobre la agricultura, existen diversos escenarios que algunas veces resultan contradictorios. Algunos autores señalan que los efectos sobre la producción agrícola aún son desconocidos y que se requieren mayores investigaciones para comprender mejor la complejidad de las respuestas de los cultivos al cambio climático, debido a la variabilidad de este último y al desconocimiento de cuál será el clima medio a largo plazo.³⁶ Estos difieren en su enfoque, método y nivel de complejidad, lo que dificulta la comparación entre las estimaciones correspondientes a los distintos países. Asimismo, algunos autores cuestionan los modelos que predicen que los cambios climáticos afectarán seriamente la agricultura y el suministro de alimentos en América Latina.³⁷

Las investigaciones sobre los efectos del cambio climático en la agricultura de América Latina y el Caribe se han limitado sólo a algunos cultivos y sistemas de producción y se han circunscripto a pequeñas áreas geográficas.³⁸ Asimismo, las proyecciones futuras del clima y los enfoques de modelización se limitan sólo a algunas plataformas, sumado a que no existe una evaluación integral de la región que permita validar las proyecciones de los modelos climáticos globales, lo que dificulta enormemente el proceso de toma de decisiones en materia de medidas de adaptación para la agricultura.³⁹ Por otra parte, existen dudas acerca de qué sucederá con el clima, ya que no se cuenta con escenarios que proporcionen niveles de probabilidad para las evaluaciones de impacto *ex ante*. No obstante ello, se sabe que los productores rurales suelen seguir de cerca los cambios de clima y que suelen responder de manera expeditiva ante la presencia de nuevas condiciones climáticas por medio de la implementación de complejos mecanismos de adaptación en sus agroecosistemas. Por lo tanto, sus conocimientos constituirán una valiosa fuente para el desarrollo de medidas de adaptación específicas para cada región, dado que los productores suelen tener en cuenta los

³⁵ Altieri y Nicholls, 2008.

³⁶ Jarvis y otros, 2011.

³⁷ Maletta, 2009.

³⁸ Jarvis y otros, 2011.

³⁹ *Ibíd.*

factores culturales y ambientales propios de sus sistemas de producción agropecuaria. Por ejemplo, la ocupación de los suelos altos amazónicos, las “*chinampas*” de las tierras bajas y las terrazas andinas han sido algunas de las respuestas de los pueblos indígenas de América Latina a los cambios climáticos.

A solicitud del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se confeccionó una reseña de estos escenarios contrapuestos.⁴⁰ Por ejemplo, la productividad del maíz y de la tierra de pastoreo puede aumentar debido al incremento de las precipitaciones en la región pampeana de Argentina, de Uruguay y del sur de Brasil, en tanto que el rendimiento del trigo disminuirá en la pampa húmeda de Argentina y aumentará en Uruguay y en la pampa semiárida de Argentina, como resultado de las mayores temperaturas. El rendimiento del arroz disminuirá mayormente en Bolivia y América Central, en tanto que la producción de soja en América del Sur podría aumentar. Es muy probable que la productividad del café en Brasil resulte perjudicada por un aumento en las plagas de nematodos,⁴¹ en tanto que las mayores precipitaciones favorecerán el desarrollo de fusariosis de la espiga de trigo durante la primavera en el Cono Sur. El IPCC sugiere, asimismo, que las mayores temperaturas asociadas con la menor presencia de agua en los suelos pueden dar como resultado la sustitución gradual de los bosques tropicales por la sabana en el este de la Amazonia, en tanto que en América Latina la vegetación de las zonas semiáridas tenderá a sustituirse por vegetación de tierras áridas. Por su parte, se esperan pérdidas considerables en materia de biodiversidad al extinguirse las especies de las regiones tropicales.

Impacto social del cambio climático sobre el pequeño productor y sobre la agricultura de subsistencia

El cambio climático agrega una nueva amenaza a los medios de subsistencia en las zonas rurales —particularmente en lo tocante a la subsistencia del pequeño productor— dado que afecta el crecimiento económico y las iniciativas para reducir la pobreza, por lo que pone en riesgo muchos de los logros obtenidos en las últimas décadas en materia de desarrollo en la región de América Latina y el Caribe⁴²—región que representa sólo el 12 por ciento de las emisiones de CO₂ a nivel mundial. Por otra parte, las zonas rurales de América Latina son en extremo vulnerables a los cambios en los patrones climáticos, dado que un alto porcentaje de su economía y parte de su mano de obra dependen primordialmente de una agricultura sensible al clima. El cambio de clima podría, asimismo, perjudicar la productividad de los

⁴⁰ Magrin y otros, 2007.

⁴¹ Ghini y otros, 2008.

⁴² Verner, 2011.

trabajadores rurales y la salud de sus familias, dado que podría afectar la calidad y cantidad de los alimentos que producen.

La mayor parte de la población rural en situación de pobreza vive en zonas de riesgo de naturaleza heterogénea con recursos marginales y ecosistemas frágiles cuya agricultura depende de las precipitaciones. La variabilidad climática dejará a estas poblaciones de escasos recursos, que son quienes menos responsabilidad tienen por el cambio climático, inermes ante la ocurrencia de los cambios de clima. Numerosos pequeños productores de los Andes, de América Central y de algunas islas del Caribe —que ya de por sí viven en ambientes hostiles— pueden volverse en extremo vulnerables a los efectos del cambio climático, dada su exposición geográfica a los fenómenos extremos, a los bajos ingresos, a la dependencia de la agricultura y a la escasa disponibilidad de otros medios alternativos de subsistencia. Las poblaciones en situación de pobreza podrían enfrentarse a una creciente escasez de tierras aptas para la agricultura, a una creciente dificultad para obtener suficientes alimentos y a una reducción significativa de fuentes de agua potable a medida que el clima se vuelve más errático. Por caso, alrededor de 50 millones de personas en los Andes sufrirán de falta de agua en la estación seca (cuyos usos abarcan desde el consumo, el riego y el saneamiento ambiental hasta la generación de energía hidroeléctrica), en tanto que otros 77 millones de residentes de zonas proclives a la sequía sufrirán escasez de agua debido al cambio climático.⁴³ Las mujeres serán quienes más sufran estas consecuencias, dado que son las principales abastecedoras de alimentos, combustibles y agua para sus hogares.⁴⁴ Las comunidades rurales podrían verse perjudicadas debido a la imposibilidad de disfrutar de su cultura, como resultado del impacto del cambio climático sobre tierras y ecosistemas de trascendencia histórica, cultural y espiritual.⁴⁵

Las variaciones en la cantidad y disponibilidad de agua por efecto del cambio climático afectarán el acceso a los alimentos, su disponibilidad, estabilidad y uso. Asimismo, la disponibilidad de alimentos media per cápita podría disminuir 300 calorías como mínimo (una reducción del 12 por ciento) para el año 2050, como resultado del cambio climático. La consecuencia de ello sería la destrucción de los avances en la lucha contra la desnutrición.⁴⁶ Al respecto, se estima que en el año 2050 habrá alrededor de 6,4 millones de niños desnutridos —esto es, alrededor de 1,4 millones más que en un escenario sin cambios

⁴³ AIDA, 2011.

⁴⁴ Simms y Reidd, 2006.

⁴⁵ AIDA, 2011.

⁴⁶ IFPRI 2009.

climáticos. Otras implicancias sociales que obedecen al cambio climático se relacionan con la salud humana, la desigualdad de ingresos, la migración rural y las disputas. El cambio climático también afectará la forma en que la agricultura hace uso del agua y los patrones de consumo alimentario. Por ello, los gobiernos deberían invertir ya mismo en adaptar la agricultura al cambio climático sobre una base científica, debido a lo incierto de los efectos de este último sobre la primera en el largo plazo.

3. Aplicación de la información disponible a casos particulares

Independientemente de la incertidumbre asociada con los modelos de predicción de cultivos y del clima utilizados por diversos grupos de investigación, la agricultura y la seguridad alimentaria se encuentran claramente amenazadas por el cambio climático en América Latina y el Caribe. (Véase la Figura 5). Los efectos que este pueda producir en cada país dependerán de la geografía, de los recursos biofísicos y de su gestión, de la agroecología, de los sistemas de producción agropecuaria, del comportamiento ante el riesgo, de las inversiones y de la capacidad de adaptación, entre otros factores.

Mesoamérica

La agricultura en América Central y México es en extremo vulnerable al cambio climático, debido al calentamiento y a las menores precipitaciones. Los principales alimentos básicos, como los frijoles, el maíz y el arroz —la principal fuente de calorías en las dietas— se verán seriamente afectados por las altas temperaturas y por la escasez de agua. Se estima que para el año 2080 podría perderse el 30 por ciento de la producción de granos en América Central, lo que agudizaría la inseguridad alimentaria en la región.⁴⁷ El rendimiento del maíz puede reducirse como resultado de la disminución de las precipitaciones entre un 15 y un 20 por ciento, y el perjuicio será aún mayor si las temperaturas aumentan más de 2 °C. Por su parte, el rendimiento del frijol se reducirá si las temperaturas aumentan entre 1 y 2 °C, en tanto que el rendimiento del arroz podría disminuir si las temperaturas se incrementan en más de 1,5 °C. Si estos cultivos no se someten a un proceso de adaptación al cambio climático, los rendimientos esperados para finales del presente siglo serán de 1,4 toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$) para el maíz (vis a vis las $2\ t\ ha^{-1}$ de hoy en día), $0,1\ t\ ha^{-1}$ para el frijol (vis a vis las $0,7\ t\ ha^{-1}$ de 2009), y $2\ t\ ha^{-1}$ para el arroz (vis a vis las actuales $3,5\ t\ ha^{-1}$).⁴⁸ El costo total de

⁴⁷ Gutiérrez y Espinoza, 2010.

⁴⁸ CEPAL, 2011a.

los efectos producidos por el cambio climático en la agricultura de América Central podría oscilar entre el 13,7 y el 18,5 por ciento del producto bruto interno en el año 2100.

Asimismo, el cambio climático afectará seriamente al pequeño productor de México, cuyos medios de subsistencia dependen del maíz de secano. Los modelos de predicción climática indican que habrá un cambio en los patrones de distribución espacial de los ambientes agroclimáticos, como resultado de las tendencias hacia la sequía y el calentamiento. Si bien los productores maiceros están acostumbrados a hacer acopio de semillas provenientes de cosechas anteriores o a obtenerlas de otros productores, algunos de ellos (en particular los de las tierras altas) se verán obligados a conseguirlas en lugares ajenos a las zonas en las que habitualmente desarrollan su actividad.⁴⁹ Por consiguiente, los sistemas tradicionales de aprovisionamiento de semillas de maíz resultarán afectados por el cambio climático en el principal centro de la diversidad de cultivos.

Las temperaturas han aumentado entre 0,2 y 1 °C y las precipitaciones han disminuido un 15 por ciento durante las últimas tres décadas en las zonas cafeteras de Mesoamérica. Las condiciones óptimas para la producción de café de alta calidad, como el arábigo ácido, se verán afectadas por el calor, que a su vez también favorece el desarrollo de plagas, como la roya del café. Por otra parte, el ciclo de este cultivo depende del régimen de precipitaciones, dado que las primeras lluvias dan origen a la floración. Sin embargo, cuando las precipitaciones son bajas o elevadas, el cafeto florece y los frutos caen de los árboles, lo que reduce la calidad del café y disminuye los precios de mercado. ENSO también ha afectado la producción de café: por ejemplo, durante los años de bajas precipitaciones provocadas por los efectos de El Niño (2004 y 2006), la producción fue de 1 millón de sacas de 46 kg, en tanto que en los años de elevadas precipitaciones provocadas por La Niña (2005 y 2007), la producción fue de 2 millones de sacas de 46 kg.⁵⁰ El cambio climático afectará en forma notoria la producción de café en América Central porque ciertas zonas dejarán de producir este cultivo (y quienes lo producen se verán obligados a sustituirlo por otros cultivos o incluso a migrar), porque los productores de otras zonas deberán adaptar el cultivo a nuevas formas de gestión y porque habrá nuevas zonas aptas para la producción de café.⁵¹

⁴⁹ Bellon y otros, 2011.

⁵⁰ Haggard, 2008.

⁵¹ Laderach y otros, 2009.

El cambio climático puede afectar, asimismo, los rendimientos de la banana y del plátano y la resistencia de su planta huésped a las plagas. Es posible que los aumentos de temperatura, que limitan la fotosíntesis, perjudiquen los cultivos de banana en las zonas costeras, pero paralelamente pueden permitir que la actual producción de *musa* se expanda hacia elevaciones de mayor altura. Los cambios en el régimen anual de precipitaciones y la escasez de agua también afectan los rendimientos de la banana y del plátano. Si bien las altas temperaturas también pueden relacionarse con la mayor presencia de plagas, la plaga más nociva para la banana y el plátano (la raya negra de la hoja o Sigatoka negra) puede reducir su presencia en zonas productoras de América Central y otras zonas costeras del continente,⁵² debido a que pueden presentarse cambios en el ambiente que resulten desfavorables para el agente patógeno (la baja humedad relativa y las bajas precipitaciones inhiben su desarrollo). Sin embargo, los áfidos (que actúan como vectores de transmisión de virus), los trips y los ácaros pueden resultar más nocivos para las plantas huéspedes en ambientes secos.

Islas del Caribe

Algunas de estas islas son en extremo vulnerables a los fenómenos climáticos. Por ejemplo, el huracán Mitch destruyó un tercio de la zona de cultivos de República Dominicana (lo que produjo pérdidas por valor de USD 278 millones) y perjudicó alrededor del 20 por ciento de los cultivos, el 80 por ciento de los establecimientos bananeros y 100.000 cabezas de ganado menor en Haití. La frecuencia e intensidad de los huracanes puede aumentar en la región del Caribe debido al cambio de clima, lo que afectará la agricultura de las zonas que se encuentren en la trayectoria de las tormentas. La región del Caribe también puede sufrir escasez de precipitaciones, lo que podría provocar sequías intensas y prolongadas. El cambio climático puede también afectar los niveles de humedad del suelo y aumentar la erosión y la acidez, lo que tendría efectos evidentes sobre la agricultura.

Por su parte, el nivel creciente del mar podría afectar las zonas costeras al provocar la degradación de los ecosistemas, la erosión de los suelos, el incremento de la salinidad de las tierras y la disminución en la calidad del agua destinada a la agricultura. La elevación del nivel del mar puede asimismo perjudicar los árboles y los cultivos perennes (como la banana), al provocar la desaparición de la tierra arable y el aumento de la salinidad del suelo. Los análisis de escenarios sugieren que puede reducirse el periodo de desarrollo de la

⁵² CCAFS, 2011.

Sigatoka negra u otros agentes fitopatógenos foliares que afectan las bananas.⁵³ Sin embargo, tal como se señaló anteriormente, algunos áfidos y ácaros podrían aumentar su presencia en ambientes secos, lo que provocaría mayores perjuicios a los cultivos.

La Comunidad Andina

Las temperaturas han aumentado aproximadamente 0,1 °C por década —sólo dos años en las últimas dos décadas estuvieron por debajo de la media correspondiente al periodo 1961–1990—, en tanto que las precipitaciones se han incrementado levemente en los últimos 60 años en los trópicos interiores, pero se han reducido en los trópicos exteriores.⁵⁴ Los escenarios climáticos futuros sugieren que se producirá un calentamiento continuo (de entre 4,5 y 5 °C) en la región de los Andes tropicales para el año 2100, en tanto que las temperaturas podrían aumentar en zonas de gran altura, mientras que las precipitaciones se intensificarían durante la estación húmeda y disminuirían durante la estación seca. Todo ello afectaría el ciclo hidrológico y reduciría la disponibilidad de agua para riego, como así también la extensión del periodo de desarrollo de los cultivos. Las estimaciones sugieren que la productividad de la agricultura podría descender entre un 12 y un 50 por ciento como resultado de los cambios de clima. Por ejemplo, se estima que para el año 2080 las pérdidas en Ecuador provocadas por los menores rendimientos podrían alcanzar el 20 por ciento en el caso del cacao y el café, y el 40 por ciento en el caso de la banana y la caña de azúcar.⁵⁵ Si bien los rendimientos del maíz podrían no sufrir cambio alguno en Colombia, las predicciones indican que caerá a niveles cercanos a cero en el Piamonte venezolano.⁵⁶ Por su parte, en Bolivia la productividad del arroz disminuirá entre un 2 y un 15 por ciento.⁵⁷

También la papa será vulnerable al calor que afecta el desarrollo de la planta y del tubérculo, lo que provocará una caída en los rendimientos.⁵⁸ Las altas temperaturas también perjudicarán el contenido de materia seca y la formación de almidón en este tubérculo de primordial importancia, cuyo principal centro de diversidad lo constituyen los Andes. La temperatura y humedad crecientes favorecerán el desarrollo del tizón tardío de la papa —la plaga que más daño puede provocarle a este tubérculo— que podría extenderse a zonas ubicadas por sobre los 3.000 m (en donde hoy en día es inexistente). La polilla de la papa,

⁵³ Pérez Vicente y Porras.

⁵⁴ Vuille y otros, 2008.

⁵⁵ CEPAL 2010.

⁵⁶ Jones y Thornton, 2003.

⁵⁷ Jarvis y otros, 2011.

⁵⁸ Quiroz y otros, 2011.

que en la actualidad se presenta en las zonas costeras y en los valles interandinos, también se extenderá a mayores alturas como consecuencia del cambio climático.

Las heladas, por su parte, también pueden aumentar en frecuencia e intensidad durante el invierno, lo que podría incrementar las tasas de mortalidad del ganado (en particular del ganado lanar), en tanto que las altas temperaturas producidas en horas diurnas podrían reducir la producción de leche. Por otra parte, si no se presta especial atención a los efectos del CO₂, el ganado vacuno en Bolivia podría experimentar una leve pérdida de peso. No obstante, si la concentración de este gas se duplica y ello va acompañado de un aumento de temperatura de 4 °C, podría producirse hasta un 20 por ciento de aumento de peso en el ganado (dependiendo del genotipo y ubicación geográfica de los animales). Por su parte, la disminución de la humedad relativa en las tierras altas (en particular en la zona de mesetas) puede constituir una amenaza para la vegetación autóctona, incluidas las pasturas naturales y las plantas medicinales.

Cono Sur

En Argentina, durante la primavera y el verano de las últimas tres décadas del siglo XX, se produjo un aumento en el nivel de precipitaciones, en tanto que la temperatura máxima y el nivel de radiación solar descendieron. Por su parte, la temperatura mínima experimentó un aumento durante todo el año.⁵⁹ Como resultado de ello, se produjo un incremento en los rendimientos de los cultivos de verano, en especial en las zonas semiáridas. Los cambios de clima produjeron un aumento de rendimiento del 38 por ciento para la soja, del 18 por ciento para el maíz, del 13 por ciento para el trigo y del 12 por ciento para el girasol, datos que surgen de cotejar los periodos 1970-2000 y 1950-1970. Sin embargo, el rendimiento potencial del trigo ha disminuido desde la década de 1930, mayormente debido al progresivo calentamiento del invierno y la primavera en la parte central y septentrional de la pampa argentina. Al respecto, se estima que el rendimiento del trigo se reducirá en un 7,5 por ciento por cada aumento de temperatura de 1 °C. Los escenarios futuros sugieren que la temperatura podría aumentar entre 2 y 3 °C y que las precipitaciones podrían incrementarse levemente durante la primavera y el verano, lo que provocaría, en promedio, una disminución del 4 por ciento en el rendimiento del trigo en todo el país, pero con una considerable variabilidad espacial. Así, el rendimiento del trigo disminuirá un 30 por ciento en las zonas septentrionales, en tanto que aumentará un 20 por ciento en la zona sudoccidental.⁶⁰ En los

⁵⁹ Magrin y otros, 2005.

⁶⁰ Magrin y otros, 2008.

casos en que se considera la fertilización con CO₂, los rendimientos de este cultivo se elevan un 14 por ciento en la zona pampeana, en tanto que disminuyen un 10 por ciento en las zonas centrales y septentrionales. Dependiendo del escenario, las cosechas de soja en la zona pampeana podrían caer un 22 por ciento o incrementarse entre un 3 y un 21 por ciento. En tanto, la producción de maíz podría disminuir entre un 8 y un 16 por ciento o aumentar un 2 por ciento.⁶¹

Por su parte, en Brasil, las pérdidas en la agricultura provocadas por el cambio climático podrían ascender a BRL 7.400 millones en el año 2020 y a BRL 14.000 millones en 2070.⁶² Asimismo, los rendimientos del trigo y del maíz en este país se reducirán un 30 por ciento y un 15 por ciento respectivamente, en tanto que los rendimientos de la soja aumentarán un 21 por ciento⁶³ o disminuirán un 40 por ciento en 2070.⁶⁴ En tanto, las cosechas de café de tipo arábigo podrían disminuir un 33 por ciento, particularmente en San Pablo y Minas Gerais. Por otra parte, también el frijol, el algodón, el arroz y el girasol podrían experimentar caídas en sus rendimientos en la zona nororiental, en tanto que el rendimiento de la caña de azúcar podría duplicarse. También los rendimientos de la mandioca podrían aumentar, aunque se producirán pérdidas considerables en la zona nororiental.

En Uruguay, la productividad del maíz, del arroz, de la soja y de las pasturas podría aumentar para mediados de siglo, debido a las precipitaciones estivales. Por su parte, en Paraguay, la productividad del algodón, de la soja, del trigo y del ganado se verá perjudicada por efecto de las mayores temperaturas y por los cambios en el régimen de precipitaciones.⁶⁵ Como contrapartida, podrían producirse en este país aumentos en los rendimientos del frijol, de la mandioca, del sésamo y de la caña de azúcar. Cualquiera sea el modelo que se utilice, parecería que la soja responde mejor que el maíz ante los cambios climáticos del Cono Sur.

Por su parte, el rendimiento del trigo de secano disminuirá entre un 5 y un 10 por ciento en la zona septentrional y central de Chile debido a las sequías que se esperan en estas zonas, en tanto que, en las inmediaciones de la región del Biobío e incluso más al sur, podría aumentar (más de un 30 por ciento) debido al aumento de temperaturas en el invierno.⁶⁶ En

⁶¹ Travasso y otros, 2006.

⁶² Assad y Pinto, 2008.

⁶³ CEPAL 2011a.

⁶⁴ Assad y Pinto, 2008.

⁶⁵ CEPAL 2010.

⁶⁶ Neuschwander Alvarado y Zabaleta Caicheo, 2010.

tanto, los rendimientos del frijol, del maíz, de la papa y de la remolacha azucarera disminuirán desde el norte hasta la región del Biobío, aunque aumentarán en la costa, en la Precordillera, y desde La Araucanía hacia el sur. Por otro lado, la productividad anual de las pasturas disminuirá en Atacama y desde Coquimbo hasta Los Lagos, debido a la menor disponibilidad de agua en los suelos de esas zonas, en tanto que aumentará en la región central de Chile y en El Altiplano. También los rendimientos de las pasturas se reducirán en la cordillera oriental por efecto de la radiación solar, y lo mismo sucederá desde el Biobío hasta Los Lagos como consecuencia de periodos secos prolongados. Sin embargo, estos rendimientos se incrementarán hasta un 10 por ciento desde Valparaíso hasta Río Maule, debido a las mayores temperaturas invernales. Por su parte, los rendimientos de la uva se reducirán en el norte de Chile debido al desarrollo prematuro del cultivo por efecto de las altas temperaturas esperadas para el invierno y la primavera. Estos menores rendimientos se registrarán también en la zona metropolitana hacia el sur, debido a la menor radiación solar, a las altas temperaturas y precipitaciones, y a las heladas de final de primavera. Como contrapartida, la productividad del cultivo podría aumentar en las regiones del Maule y del Biobío, y lo mismo sucedería desde La Araucanía hacia el sur. En tanto, la productividad del durazno podría verse afectada al igual que la de la uva. Por último, los rendimientos de la manzana disminuirán en todo el país hasta La Araucanía, debido al exceso de calor (esto es, inviernos menos fríos y veranos más cálidos) que reduce el período de fructificación.

4. La adaptación de la agricultura al cambio climático: un mismo enfoque no funciona para todos

La adaptación de la agricultura al cambio climático debe contemplar los aumentos en las temperaturas, las épocas cortas de cultivo y la escasez de agua y el triple impacto que estos factores tienen: a nivel global, a nivel nacional y sobre cada establecimiento agropecuario⁶⁷. Habrá cambios a escala global en los padrones de los consumidores y el mercado de la alimentación, mientras que los cambios en el uso del suelo, el suministro de alimentos y los precios se esperan a nivel nacional. Si bien el cambio climático tendrá impactos negativos sobre la agricultura (como ya se ha mencionado), habrá una oportunidad de forjar agroecosistemas productivos, competitivos y compatibles con el medio ambiente. Los enfoques para adaptarse al cambio climático en cada establecimiento agropecuario dependerán de la elección de nuevos cultivos y ganados por parte de los productores rurales, el empleo de cultivares y razas resistentes al clima, la utilización de prácticas ecológicas en la

⁶⁷ Rodríguez Vargas 2007.

producción de cultivos y ganado, la diversificación y la intensificación sostenible de los sistemas de producción agropecuaria y las opciones en pos de otras actividades económicas (incluso abandonar la agricultura cuando deja de ser redituable).

Los componentes sociales que deben considerarse necesariamente para la adaptación al cambio climático comprenden la organización, el capital social, la gobernabilidad, la administración de conflictos, la educación en todos los niveles, el fortalecimiento de la capacidad, el uso compartido de conocimientos, la información y comunicación, la investigación, el desarrollo de la tecnología, los conocimientos tradicional e indígena y la incidencia política⁶⁸. Por lo tanto, los productores rurales, los diseñadores de políticas y los investigadores tendrán que trabajar en conjunto para definir una estrategia integral para adaptar la agricultura al cambio climático en cada uno de los países de América Latina y el Caribe.

Se ha señalado que la región tendrá que invertir USD 1.300 millones anuales adicionales para combatir la desnutrición derivada del cambio climático⁶⁹. Estas inversiones se asignarán principalmente a la investigación agrícola, la eficiencia del riego y la mejora de las carreteras rurales. Una mejor infraestructura ayudará a los productores rurales a aumentar la productividad y calidad de los cultivos, reducir las pérdidas tras la cosecha y garantizar su acceso a insumos y mercados.

Las medidas de adaptación incluyen el control de la erosión del suelo, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, los cambios en el uso y la aplicación de fertilizantes, la construcción de represas para el riego, la diversificación y la intensificación sostenible de los sistemas de producción agropecuaria, la introducción de nuevos cultivos que se adapten mejor a la escasez de agua y las temperaturas extremas, el cambio a cultivares y razas resistentes al clima, la oportunidad de la siembra y la cosecha, el diseño de una política ambiental conducente para que la agricultura pueda enfrentar el cambio climático, el empleo de sistemas de alerta anticipada y los seguros de cosechas, ganado y árboles ajustados sobre la base del clima.

Los productores rurales tienden a modificar su cartera económica familiar con actividades menos vulnerables al clima en temporadas problemáticas (por ejemplo, debido a

⁶⁸ Arce Rojas 2011.

⁶⁹ Nelson et al. 2009.

sequías, inundaciones o temperaturas extremas). Su acceso a la información y los recursos, su capital social, su etapa en el ciclo de la vida y su posición económica condicionan su capacidad de hacer este cambio⁷⁰. Los pronósticos del tiempo oportunos, confiables y pertinentes pueden ayudar a las familias rurales a decidir qué estrategia de subsistencia seguir ante un clima cambiante, como por ejemplo respaldarse sobre los ingresos ajenos a la producción agropecuaria o sobre la agricultura. La diversificación desempeña un papel importante en la administración de los riesgos de la producción, especialmente en los pequeños establecimientos agropecuarios.

La agrobiodiversidad a nivel de genes, especies y agroecosistemas aumenta la resistencia al cambio climático⁷¹. Por ende, fomentar la agrobiodiversidad continúa siendo un factor crucial para la resistencia y adaptación local de los agroecosistemas. Por ejemplo, las razas locales, que parecen responder mejor al cambio climático que los plasmata germinales exóticos, y la cría comunitaria participativa podrían ayudar a adaptar el ganado al calentamiento global y las sequías. De la misma manera, los diversos sistemas agrosilvopastoriles pueden brindar estabilidad a los agroecosistemas que puedan alcanzar niveles de productividad aceptables en condiciones climáticas adversas.

La zonificación agroecológica ayudará a determinar las zonas más adecuadas para los distintos cultivos, ganados y especies de árboles, con lo cual se logrará una mejora en los agroecosistemas y en el trazado de mapas de áreas vulnerables. Las necesidades de agua para la producción de los cultivos o ganados también representarán un factor importante que considerar al seleccionar la producción más adecuada para entornos propensos a la sequía. La adaptación de la agricultura al cambio climático también dependerá de la correcta combinación de cultivares y razas con los climas futuros y del mejoramiento genético de los cultivos y el ganado para afrontar tanto la variabilidad como los extremos climáticos, pero también para fomentar la resistencia y adaptabilidad de los productores rurales. El calor, la sequía, la salinidad, el anegamiento y las inundaciones son algunas de las más importantes problemáticas abióticas que se verán exacerbadas debido al cambio climático. El mejoramiento genético (incluido el uso de agrobiotecnología)⁷² puede ayudar a mejorar la adaptabilidad de los cultivos al cambio climático, aunque el engendramiento y la

⁷⁰ Valdivia et al. 2000.

⁷¹ Ortiz 2011.

⁷² Ortiz 2008.

diseminación de nuevos plasmata germiales en los agroecosistemas objetivos conlleva tiempo. De la misma manera, la resistencia de las plantas huésped revestirá suma importancia ya que los aumentos en las temperaturas y las variaciones de la humedad pueden propiciar el surgimiento de epidemias de plagas. Por lo tanto, los investigadores públicos y privados están engendrando nuevos cultivos que puedan sobrevivir en climas extremos y continuar mejorando su rendimiento en entornos tan adustos.

El sector público y el privado están fomentando la integración de los cultivos y el manejo de las tierras, la implementación de las mejores prácticas para el uso de fertilizantes y la conservación agrícola en varios sistemas de producción agropecuaria en América Latina. Las prácticas agrícolas de conservación ayudan a disminuir la erosión del suelo y cuidar los cultivos frente a fenómenos climáticos extremos; por ejemplo, la labranza reducida y la retención del rastrojo pueden aumentar la captación de agua y compensar la escasez que irá en aumento a medida que la temperatura ascienda⁷³. Los productores rurales deberán adoptar otras técnicas que capturen una mayor cantidad de agua de lluvia, mejoren la humedad del suelo, eviten o reduzcan desperdicios en el riego para alcanzar “más producción por gota”, así como cultivar especies con la capacidad de crecer y rendir incluso ante la escasez de agua. El mejoramiento de la eficiencia del uso del agua y de la productividad del agua al nivel de las cuencas hidrográficas por medio de la captación de agua junto con el reabastecimiento del agua subterránea resultará en la obtención de mayores recursos disponibles para los cultivos, el ganado y los árboles. Ello podría progresar aún más por medio del riego por goteo o invernaderos de bajo costo con circulación de agua. Asimismo, las fuentes alternativas son necesarias para asegurar la disponibilidad del agua, a la par que deberían buscarse otras opciones energéticas (que no dependan de la energía hidráulica).

El sector privado ha estado investigando el desarrollo de nuevos productos para la protección de los cultivos que puedan ayudar a las plantas a adaptarse a las problemáticas resultantes de los padrones climáticos cambiantes. Por ejemplo, un nuevo preparado en aerosol bloquea las respuestas negativas naturales de las plantas ante la sequía, tales como el marchitamiento de las hojas y la formación insuficiente de semillas, con lo cual aumenta su salud y rendimiento potencial. Se lograron aumentos de productividad del 15 por ciento en ensayos en campos de maíz y trigo, así como mejores rendimientos en parcelas de algodón y arroz en algunas áreas de América Latina y América del Norte.

⁷³ Reynolds y Ortiz 2010.

Los gobiernos deberían fomentar el conocimiento tradicional junto con las nuevas prácticas para la captación y el uso del agua o la conservación del suelo. (Ver la Figura 6). Al adaptar la agricultura al cambio climático, no se deben desatender los métodos de adaptación locales, basados en los conocimientos de los indígenas⁷⁴. Algunos ejemplos son los “waruwaru”, campos elevados utilizados en el Altiplano de Perú que brindan humedad durante las épocas secas, drenaje durante las inundaciones y mitigación de las heladas nocturnas; las “qhuthañas”, pequeños embalses utilizados por el pueblo aimara en Bolivia para captar y almacenar agua de lluvia; el agroecosistema de “cajetes” en las laderas de Tlaxcala en México, que capta el agua y evita la pérdida del suelo; y la construcción de barreras de piedra y piña en las laderas de América Central para enfrentar la sequía, conservar el suelo y brindar frutas comestibles y un ingreso adicional a los pequeños productores. En este aspecto, el Banco Interamericano de desarrollo ha otorgado financiamiento a Perú para restaurar los “andenes”, un antiguo sistema precolombino de manejo de la tierra en las abruptas laderas de los Andes que posibilita el uso del suelo para la agricultura, aumenta la eficiencia del uso del agua y previene la erosión del suelo. La agrosilvicultura también puede resultar útil para conservar los recursos hídricos, mejorar los suelos y estabilizar los climas locales.

La adaptación de la agricultura al cambio climático debería ser considerada un bien público que, por lo tanto, requiere de políticas sólidas para respaldar a los productores rurales, especialmente a los pequeños productores, quienes, a fin de cuentas, serán los actores principales en la adaptación de la producción de sus cultivos, ganados y árboles al cambio climático. Ellos son quienes están al frente de la batalla de la implementación de varias de las medidas de adaptación descritas, si reciben incentivos sólidos y confiables. De lo contrario, los sectores pobres de la población rural, que se encuentran entre los más vulnerables, estarán desprovistos de los medios necesarios para romper el espiral descendente de la pobreza y lograr un desarrollo sostenible. Al respecto, el acceso a programas de micro financiamiento también puede ayudar a los pequeños establecimientos agropecuarios a adaptarse al cambio climático. Por supuesto, tales planes de micro créditos deben ser transparentes y estar regulados de manera adecuada para resultar enteramente beneficiosos.

⁷⁴ CMNUCC 2007.

5. La mitigación del cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero

La agricultura representa aproximadamente un tercio de los GEI globales, principalmente debido a la deforestación tropical, el metano emitido por el ganado y el cultivo de arroz y el óxido nitroso proveniente de los suelos fertilizados con nitrógeno y abono. Las emisiones de gases de efecto invernadero son, sin embargo, relativamente bajas en América Latina y el Caribe (alrededor del 7 por ciento del total de GEI y el 12 por ciento de CO₂). Asimismo, la agricultura de la región representa únicamente el 14 por ciento del total de GEI en contraste con el 65 por ciento provocado por los sectores industrial y energético. No obstante, la mayor parte de las emisiones de GEI en América Latina y el Caribe provienen del cambio en el uso del suelo, lo cual hace de la región la mayor contribuyente de CO₂ (48 por ciento) debido a esta causa. Los principales países contribuyentes son Brasil, México, Venezuela, Argentina, Colombia y Perú, los cuales representan conjuntamente el 83 por ciento de las emisiones de GEI en la región.

La prevención de la deforestación y el empleo de un manejo adecuado del uso del suelo son de suma importancia en la contención de las emisiones de GEI⁷⁵. La intensificación agrícola es un factor clave tanto para asegurar la producción de alimentos como para mitigar el cambio climático⁷⁶. El aumento de la productividad de los cultivos debe destacarse en la estrategia para reducir las emisiones de GEI; los rendimientos más altos obtenidos en los cultivos como resultado de la Revolución Verde, por ejemplo, han prevenido emisiones de hasta 161 gigatonnes de carbono (GtC) (590 GtCO₂e) desde 1961⁷⁷. El aumento del rendimiento de las tierras de cultivo existentes también coadyuva a restringir la expansión de la agricultura en las selvas. Las áreas protegidas de las selvas amazónicas pueden ayudar a reducir aún más las emisiones de CO₂⁷⁸. De la misma manera, no quemar los rastrojos ni las hierbas será muy importante para la mitigación de las emisiones de GEI y la conservación de los suelos.

El sector privado ha emitido y distribuido códigos de las mejores prácticas agrícolas para productos específicos con el fin de maximizar la eficiencia de los productos y la absorción de nutrientes por parte de las plantas, a la par que se reducen los efectos

⁷⁵ Galford et al. 2010.

⁷⁶ DeFries y Rosenzweig 2010.

⁷⁷ Burney et al. 2010.

⁷⁸ Soares-Filho et al. 2010.

perjudiciales para el medio ambiente. La industria de los fertilizantes ha seguido evaluando posibles prácticas de captura de carbono e instando a los productores rurales a que implementen las mejores prácticas de administración para maximizar el aporte de la agricultura a la captura de carbono. Asimismo, el sector privado ha estado investigando distintas opciones tecnológicas para minimizar las pérdidas anteriores y posteriores a la cosecha, ya que ello puede reducir las emisiones de GEI. Las pérdidas de cultivos anteriores y posteriores a la cosecha debido a plagas podrían duplicarse en la ausencia de productos para la protección de los cultivos. La industria agrónoma ha estado investigando métodos para el mejoramiento de la calidad y seguridad de los alimentos, así como para la reducción de los desperdicios a lo largo de la cadena alimenticia. Hoy en día se desperdicia alrededor del 30 por ciento de los alimentos a escala mundial. Algunos emprendedores están mejorando aún más los protocolos de control de seguridad para los equipos de procesamiento y manipulación de alimentos, así como diseñando nuevas técnicas de almacenamiento, sistemas de cadena de frío e infraestructura de transporte para contener las emisiones de GEI. Las fuentes renovables producidas en los establecimientos agropecuarios también son utilizadas por la industria para producir polímeros en reemplazo de materiales derivados del petróleo. Las utilizan para telas y fibras textiles, alfombras, embalajes (film, impermeabilizantes, espuma y envases) y artículos de cuidado personal.

Los montos adecuados de nitrógeno aplicados en el momento correcto pueden ayudar a disminuir las emisiones sin afectar el rendimiento de los cultivos. La tecnología de conservación de recursos también puede reducir las emisiones de GEI mejorando la precisión en la aplicación de fertilizantes (especialmente aquellos con nitrógeno) y durante el riego; por ejemplo, los sensores ópticos portátiles se emplean cada vez más en la agricultura de precisión para calcular los requisitos de fertilizantes con nitrógeno específicos de cada sitio. Las prácticas agrícolas de conservación como la siembra directa y la labranza reducida brindan beneficios adicionales, tales como la mejora en la eficiencia en el uso de nitrógeno y la disminución en el uso de combustibles fósiles, con lo cual se reducen las emisiones de GEI. Asimismo, los cultivos resistentes a los herbicidas provistos a los productores rurales por el sector semillero privado en todo el mundo han coadyuvado a la adopción de prácticas agrícolas de siembra directa, lo cual cumple una función crucial en la reducción de las emisiones de GEI, la captura de carbono del suelo y la conservación del suelo y la biodiversidad agrícola. Los aumentos en la captura de carbono del suelo asociados con la labranza reducida al usar cultivos biotecnológicos previnieron la creación de alrededor de

16.300 millones de kilogramos de CO₂ en 2009, el equivalente a remover 7.200.000 automóviles de las calles.

El mejoramiento genético de los cultivos posee un gran potencial para la reducción de emisiones de N₂O desde los suelos hacia la atmósfera. Por lo tanto, se están engendrando cultivos que ofrezcan eficiencia en el uso del nitrógeno ya que este atributo será un factor clave para la reducción de la contaminación por fertilizantes con nitrógeno así como para la mejora de los rendimientos en entornos donde el uso de nitrógeno se ve restringido. Las emisiones de las temporadas de cultivo de arroz pueden reducirse mediante diversas prácticas, tales como mantener el suelo lo más seco posible y prevenir el anegamiento mediante la incorporación de materiales orgánicos durante la temporada seca en lugar de la temporada de inundaciones, abonando los residuos antes de la incorporación o produciendo biogás para utilizarlo como combustible en la producción de energía.

El ganado es un propulsor clave del cambio ambiental⁷⁹. La administración del ganado con el fin de lograr un uso más eficiente de las raciones para alimento suele disminuir la cantidad de metano producido. Por ejemplo, las legumbres para forraje con bajo contenido de taninos pueden mejorar la calidad de la dieta de los rumiantes. La implementación de tierras de pastoreo mejoradas, la intensificación de la dieta de los rumiantes, los cambios en las prácticas del uso del suelo y el cambio de razas de grandes rumiantes pueden representar el 7 por ciento del potencial de mitigación agrícola global para 2030 en la producción de metano y CO₂⁸⁰. Por consiguiente, el objetivo será minimizar las emisiones por unidad de producto animal al administrar el ganado con el fin de aumentar su productividad. Otro enfoque para la mitigación de las emisiones resultantes de animales confinados en áreas reducidas (tales como el ganado porcino y lechero) será el uso de biodigestores. El procesamiento de sus desechos y la captura de metano serán también útiles para la quema (con lo cual se generarán créditos de carbono, por ser menos potentes que el metano como GEI) o para la generación de electricidad para uso local o en los establecimientos agropecuarios⁸¹. Los sistemas silvopastoriles que combinan hierbas forrajeras productivas y árboles también pueden utilizarse para recuperar las tierras de pastoreo degradadas, ya que pueden capturar cantidades considerables de carbono de la atmósfera y retenerlas en sus

⁷⁹ Pelletier y Tyedmers 2010.

⁸⁰ Thornton y Herrero 2010.

⁸¹ Rodríguez 2007.

profundos sistemas radiculares. Estos sistemas pueden constituir una alternativa más eficiente y menos destructiva que la ganadería extensiva.

6. Panorama

Es posible medir los impactos del cambio climático en la agricultura según la pérdida de productividad debido a las temperaturas extremas, que afectan los ciclos de crecimiento, y la escasez de agua, que reduce el rendimiento. Los cambios en la radiación solar también pueden influenciar la acumulación de biomasa, mientras que los niveles de concentración de CO₂ afectarán la eficiencia del nitrógeno, el agua y el proceso de fotosíntesis. El cambio climático causará mayores disminuciones en la escorrentía, lo cual podría afectar el suministro de agua para la agricultura.

Como lo denotan la elevada frecuencia e intensidad de tormentas, sequías, inundaciones y otros fenómenos climáticos extremos, la salinidad, los ciclos hidrológicos alterados y las precipitaciones, el cambio climático ya está en proceso. Si bien los modelos de predicción del clima ofrecen escenarios contradictorios, la mayoría señala que las áreas más vulnerables del continente son los Andes sudamericanos, América Central y las islas del Caribe.

Los impactos del cambio climático sobre los agroecosistemas y la disponibilidad y el precio de los alimentos dependen del sistema de producción agropecuaria, su tamaño y su ubicación. Los desafíos a los que se enfrentarán los productores rurales y los consumidores se relacionan con el suministro y la distribución de los alimentos y el acceso a ellos. Cómo adaptar la agricultura al cambio climático continuará siendo el principal desafío de las próximas décadas. El Cuadro 3 presenta algunas opciones de adaptación. Por ejemplo, los productores rurales necesitarán mejores pronósticos del tiempo conjuntamente con información adecuada para seleccionar cultivos, razas y especies de árboles resistentes al clima capaces de soportar los nuevos climas. La mejora de la capacidad de los productores rurales de usar el agua y los fertilizantes de manera eficiente, así como su manejo de los frágiles suelos, es esencial para adaptar la agricultura a los impactos del cambio climático.

La agricultura debe reducir las emisiones de GEI para mitigar el cambio climático, así como para disminuir progresivamente la contaminación del agua y del aire, eliminar las extracciones insostenibles de agua y prevenir la pérdida de la biodiversidad y los hábitats.

Serán muy importantes el uso más eficiente del suelo, el agua y otros recursos naturales por parte de la agricultura. El Cuadro 3 resume algunas de las acciones de mitigación necesarias para el éxito de esta misión. Estas acciones incluyen, entre otras, prevenir la deforestación, manejar el suelo de manera apropiada, intensificar la agricultura para reducir la expansión a las selvas, crear áreas protegidas (por ejemplo, en las selvas amazónicas), evitar la quema de rastrojos y hierbas, utilizar cantidades adecuadas de fertilizantes con nitrógeno en los momentos correctos, emplear tecnología conservadora de recursos, engendrar cultivos para una mayor eficiencia de los insumos, administrar las raciones y la dieta del ganado e implementar sistemas silvopastoriles.

Cuadro 3. Resumen de algunas opciones de adaptación y mitigación para enfrentar el cambio climático y sus impactos sobre la agricultura, o aquellos derivados de ella

Adaptación

- Desarrollar pronósticos sólidos que faciliten la adopción de tecnologías resistentes al clima por parte de los productores rurales
- Mejorar el manejo del suelo y el agua
- Utilizar semillas y razas resistentes al clima
- Reevaluar el conocimiento indígena y tradicional para enfrentar el cambio climático
- Intensificar la investigación interdisciplinaria sobre la capacidad de adaptación de la agricultura
- Brindar incentivos a los productores rurales para que implementen prácticas de adaptación al cambio climático
- Ofrecer herramientas de administración de riesgos para ayudar a los productores rurales a enfrentar las variaciones en el clima y el mercado
- Invertir en infraestructura (por ejemplo, en carreteras) que provean a los productores rurales de un mejor acceso a los insumos y mercados

Mitigación

- Intensificar la agricultura de manera sostenible para mejorar la productividad de los agroecosistemas
- Fomentar la agricultura de conservación y otras tecnologías de conservación de recursos
- Reducir las emisiones minimizando las pérdidas anteriores y posteriores a la cosecha y los desperdicios en los sistemas alimenticios
- Disminuir las emisiones resultantes del ganado y el cultivo de arroz
- Prevenir la deforestación y fomentar la reforestación y la forestación
- Recompensar a los productores rurales y la industria alimenticia por la mitigación del cambio climático
- Asegurar que la agricultura reúna los requisitos necesarios para el otorgamiento de créditos de carbono voluntarios por las compensaciones en invernaderos
- Extender el alcance de los mercados del carbono para incluir el papel crucial del suelo como drenaje del carbono

Los gobiernos deberían emplear herramientas de planificación y administración para la adaptación al cambio climático en la agricultura, así como para su mitigación. Deberían brindar incentivos para que los productores rurales implementen prácticas en pos de la adaptación de sus actividades agropecuarias al cambio climático. De la misma manera, los productores rurales se verían beneficiados por las herramientas de administración de riesgos al enfrentar las variaciones en el clima y el mercado. También debería recompensarse a los productores rurales y las empresas de la industria alimenticia cuyas prácticas ayuden a mitigar el cambio climático. Los sistemas de administración de conocimientos, tanto a nivel nacional como regional, para la divulgación de la información sobre las mejores prácticas y la tecnología relevante ayudarán a superar los desafíos frente a los cuales se encuentra la agricultura debido al cambio climático.

Se necesitan enfoques integrados para adaptar la agricultura al cambio climático y mitigar sus emisiones de GEI. Por lo tanto, la agenda debería enfocarse en la mejora de los medios de subsistencia y la resistencia, ecoeficiencia y sostenibilidad de los agroecosistemas en lugar de abocarse únicamente a los aumentos de productividad. La intensificación sostenible de los agroecosistemas mediante la producción de una mayor cantidad de alimentos con menos insumos, la adaptación de la agricultura al cambio climático (así como la mitigación del cambio climático a través de la ecoeficiencia en la agricultura), la conservación de la agrobiodiversidad mediante su uso, la adición de valor a lo largo de la cadena alimenticia, la mejora de la calidad nutritiva de la dieta humana y la puesta en funcionamiento de los mercados a favor de los pequeños productores constituyen pasos clave necesarios para enfrentar el cambio climático y cuestiones vitales relativas al desarrollo.

Referencias bibliográficas

- AIDA (Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente). 2011. *Principales impactos del cambio climático para los derechos humanos en América Latina*. Oakland, CA, México D.F. y Bogotá, Colombia.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7–28.
- Arce Rojas, R. 2011. *Adaptación al Cambio Climático. Una Perspectiva Regional. Sistematización del Diálogo Regional de Adaptación y de Aprovechamiento de Aguas de la Agricultura al Cambio Climático en los Andes*. Serie Documentos de Referencia Programa AACC Adaptación de la agricultura y del aprovechamiento de aguas de la agricultura al cambio climático en los Andes. Países andinos 2010–2013. Bonn, Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Assad, E. D. y H. S. Pinto (editores). 2008. *Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil.
- Baethgen, W. E. 1997. Vulnerability of the agricultural sector of Latin America to climate change. *Climate Research* 9: 1–7.
- Battisti, D. S. y R. L. Naylor. 2009. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science* 323: 240–44.
- Bellon, M., D. Hodson y J. Hellin. 2011. Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 13432–37.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2010. *Estrategia integrada del BID de mitigación y adaptación al cambio climático, y de energía sostenible y renovable*. Washington, D.C.
- Bradley, R. S., M. Vuille, H. F. Diaz y W. Vergara. 2006. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science* 312: 1755–56.
- Bronnimann, S., J. Luterbacher, J. Staehelin, T. M. Svendby, G. Hansen y T. Svenoe. 2004. Extreme climate of the global troposphere and stratosphere in 1940–42 related to El Niño. *Nature* 431: 971–74.
- Burney, J. A., S. J. Davis y D. B. Lobell. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 12052–57.
- CCAFS (Climate Change, Agriculture and Food Security). 2011. *Banana Boom and Bust as Climate Changes*. Copenhagen, Dinamarca.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. *La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe - Síntesis*. Santiago, Chile.
- . 2011a. Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación. *CEPAL Serie Seminarios y Conferencias* 65. Santiago, Chile.

- . 2011b. *La Economía del Cambio Climático en Centroamérica. Reporte Técnico 2011*. México D.F.
- Cline, W. R. 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington D.C.: Center for Global Development y Peterson Institute for International Economics.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2007. *Climate Change: Impact, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*. Bonn, Alemania.
- DeFries, R. y C. Rosenzweig. 2010. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 19627–32.
- de la Torre, A., P. Fajnzylber y J. Nash. 2009. *Low Carbon, High Growth: Latin American Responses to Climate Change – An Overview*. Washington, D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial.
- Foley J. A., N. Ramankutty, K. A. Brauman, E. S. Cassidy, J. S. Gerber, M. Johnston, N. D. Mueller et al. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337–42.
- Galford, G. L., J. M. Melillo, D. W. Kicklighter, T. W. Cronin, C. E. P. Cerri, J. F. Mustard y C. C. Cerri. 2010. Greenhouse gas emissions from alternative futures of deforestation and agricultural management in the southern Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 19649–54.
- Ghini, R., E. Hamada, M. J. P. Júnior, J.A. Marengo y R. Ribeiro do Valle Gonçalves. 2008. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 43: 187–194.
- Gutiérrez, M. E. y T. Espinoza. 2010. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica. *Notas Técnicas IDB-TN-144*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Haggard, J. 2008. *Impact of Climate Change on Coffee Farming Households in Central America and Steps for Adaptation in the Future*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Harmeling, S. 2009. *Global Climate Risk Index 2010*. Berlín: Germanwatch e. V.
- Haylock, M. R., T. C. Peterson, L. M. Alves, T. Ambrizzi, Y. M. T. Anunciação, J. Baez, V. R. Barros et al. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate* 19:1490–512.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2009. *Impact of Climate Change on Agriculture – Factsheet on Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C.
- Isbell, P. 2011. What climate change means for Latin America. *Hemisphere* 20:19–21.
- Jarvis A., J. Ramírez, O. Bonilla-Findji y E. Zapata. 2011. Impacts of climate change in crop production in Latin America. En S. S. Yadav, R. J. Redden, J. L. Hatfield, H. Lotze-

- Campan y A. E. Hall (editores), *Crop Adaptation to Climate Change*, 44–56. Nueva York: John Wiley & Sons, Ltd y Blackwell Publishing Ltd.
- Jones, P. G. y P. K. Thornton. 2003. The potential impact of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13: 51–59.
- Koutsoyiannis, D., A. Efstratiadis, N. Mamassis y A. Christofides. 2008. On the credibility of climate predictions. *Hydrological Sciences* 53: 671–84.
- Laderach, P., A. Jarvis, J. Ramirez, A. Eitzinger y O. Ovalle. 2009. *The Implications of Climate Change on Mesoamerican Agriculture and Small-farmers Coffee Livelihoods*. Hamburgo, Alemania: Tropentag 2009, 6–8 de octubre.
- Lobell, D. B. y C. B. Field. 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters* 2 DOI:10.1088/1748-9326/2/1/014002.
- Lobell, D. B., M. B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W. P. Falcon y R. L. Naylor. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319: 607–10.
- Magrin, G. O., M. I. Travasso y G. R. Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* 72: 229–49.
- . 2008. Global warming and wheat production in Argentina. En *Proceedings of the Global Conference on Global Warming –2008 (GCGW-08)*, Estambul, Turquía, 6–10 de julio.
- Magrin, G., C. Gay García, D. Cruz Choque, J. C. Giménez, A. R. Moreno, G. J. Nagy, C. Nobre et al. 2007. Latin America. En Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *Cambio Climático 2007: Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 581–615. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Maletta, H. 2009. El pan del futuro: cambio climático, agricultura y alimentación en América Latina. *Debates en Sociología* 34: 117–76.
- Marengo, J., R. Jones, L. M. Alves y M. C. Valverde. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate model system. *International Journal of Climatology* DOI: 10.1002/joc.186.
- Marengo, J. A., M. Rusticucci, O. Penalba y M. Renom. 2010. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. *Climate Change* 98: 509–29.
- Mendelsohn, R., A. F. Dias Ávila y N. Seo. 2007. *Proyecto: Incorporación del Cambio Climático a las Estrategias de Desarrollo Rural – Síntesis de los Resultados en América Latina*. Montevideo, Uruguay: Programa Cooperativo para el Desarrollo Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur.

- Neelin, J. D., M. Münnich, H. Su, J. E. Meyerson y C. E. Holloway. 2006. Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:6110–15.
- Nelson, G. C., M. W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler et al. 2009. *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.
- Nelson, G. C., M. W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson, S. Tokgoz et al. 2010. *Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options*. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.
- Neueschwander Alvarado, A. y J. F. Zabaleta Caicheo. 2010. *El Cambio Climático en el Sector Silvoagropecuario de Chile*. Santiago, Chile: Fundación para la Innovación Agraria.
- Ortiz, R. 2008. Crop genetic engineering under global climate change. *Annals of Arid Zone* 47: 343–54.
- . 2011. Agrobiodiversity management for climate change. En J. Lenné y D. Wood (editores), *Agrobiodiversity Management for Food Security: Critical Review*, 189–211. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Ortiz, R., K. D. Sayre, B. Govaerts, R. Gupta, G. V. Subbarao, T. Ban, D. Hodson et al. 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126: 45–58.
- Pelletier, N. y P. Tyedmers. 2010. Forecasting potential global environmental costs of livestock production 2000–2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 18371–74.
- Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno et al. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 9971–75.
- Pérez-Vicente, L. y A. Porras. 2011. Potential impact of climate change on banana and plantain pests and diseases in Cuba. En simposio de ISHS/ProMusa *Bananas and plantains: Toward sustainable global production and improved uses. Program and Abstracts*, 39. Hotel Bahia Othon Palace, Salvador, Brasil, 10–14 de octubre, International Society of Horticultural Science, ProMusa, Bioversity International, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Salvador, Brasil.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2010. *Gráficos Vitales del Cambio Climático para América Latina y El Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Ciudad de Panamá, Panamá.
- Quiroz, R., A. Posadas, C. Yarlequé, H. Heidinger, C. Barreda, R. Raymundo, C. Gavilán et al. 2011. *Challenges to Sustainable Potato Production in a Changing Climate: A Research Perspective*. Conferencia en la 95^o Asamblea Anual de la Potato Association of America, 15 de agosto, Wilmington, N.C.

- Reynolds, M. P. y R. Ortiz. 2010. Adapting crops to climate change: A summary. En M. P. Reynolds (editor), *Climate Change and Crop Production*, 1–8. Wallingford, Reino Unido: CAB International.
- Rodríguez, A. G. 2007. Cambio climático y agricultura: implicaciones para la adaptación y las políticas públicas. VIII Reunión del Foro Regional Andino para el Diálogo y la Integración de la Educación Agropecuaria y Rural, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 27 de noviembre – 1 de diciembre.
- Rodríguez Vargas, A. 2007. Cambio climático, agua y agricultura. *ComuniICA* 1 (II Etapa): 13–23.
- Schmidhuber, J. y F. N. Tubiello. 2007. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19703–08.
- Seo, S. N. 2008. Agricultural systems in South America under climate change: A microeconomic analysis. Working Paper Series. Disponible en SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1192922>.
- Seo, S. N. y R. Mendelsohn. 2006. Climate change impacts on Latin American farmland values: The role of farm type. *Revista de Economía e Agronegocio* 6: 159–76.
- Sheridan, J. A. y D. Bickford. 2011. Shrinking body size as an ecological response to climate change. *Nature Climate Change* 1: 401–06.
- Simms, A. y H. Reid (compiladores). 2006. *Up in Smoke? Latin America and the Caribbean. The Threat from Climate Change to the Environment and Human Development. The Third Report from the Working Group on Climate Change and Development*. Oxford: Oxfam Publishing.
- Soares-Filho, B., P. Moutinho, D. Nepstad, A. Anderson, H. Rodrigues, R. Garcia, L. Dietzsch et al. 2010. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 10821–26.
- Thornton, P. K. y M. Herrero. 2010. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 19667–72.
- Travasso, M. I., G. O. Magrin, W. E. Baethgen, J. P. Castaño, G. R. Rodríguez, J. L. Pires, A. Giménez et al. 2006. Adaptation measures for maize and soybean in Southeastern South America. *AIACC Working Paper* 28. Washington, D.C.: Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change.
- Trenberth, K. E., P. D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker et al. 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. En Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, *Cambio Climático 2007: Base de las Ciencias Físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 235–336. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Tubiello F. N., J.-F. Soussana y S. M. Howden. 2007. Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 19686–90.

- Valdivia, C., C. Jetté, R. Quiroz, J. L. Gilles y S. Materer. 2000. *Peasant Households Strategies in the Andes and Potential Users of Climate Forecasts: El Niño of 1997–1998*. Trabajo Seleccionado en la Asamblea Anual de la American Agricultural Economics Association de 2000, 30 de julio– 2 de agosto, Tampa, Florida.
- Vera, C., G. Silvestri, B. Liebmann y P. González. 2006. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters* 33: L13707.
- Vergara, W., H. Kondo, E. Pérez Pérez, J. M. Méndez Pérez, V. Magaña Rueda, M. C. Martínez Arango, J. F. Ruiz Murcia et al. 2007. *Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the Application of the Earth Simulator. LAC Region Sustainable Development Working Paper* 30. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Verner, D. 2011. Social implications of climate change in Latin America and the Caribbean. *Economic Premise* 61. Washington D.C.: Banco Mundial.
- Vincent, L., T. Peterson, V. R. Barros, M. B. Marino, M. Rusticucci, G. Miranda, E. Ramirez et al. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America, 1960–2002. *Journal of Climate* 18: 5011–23.
- Vuille, M., B. Francou, P. Wagon, I. Juen, G. Kaser, B. G. Mark y R. S. Bradley. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews* 89: 78–96.

Epígrafes de las Figuras

Fig. 1. Tendencias en la temperatura anual, 1979–2005

Fuente: CEPAL 2010, de Trenberth et al. 2007.

Fig. 2. Índice de intensidad de sequías, 1990–2002: De más seco (rojo) a más húmedo (azul oscuro)

Fuente: CEPAL 2010, de Trenberth et al. 2007.

Fig. 3. Cambios en la temperatura según los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha)

Fuente: CEPAL 2010.

Fig. 4. Pronósticos de precipitaciones (%) según los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha)

Fuente: CEPAL 2010.

Fig. 5. Impacto del cambio climático en la agricultura de América Central, Ecuador, Chile, Argentina, Paraguay y Uruguay

Fuente: CEPAL 2010, según las fuentes nacionales seleccionadas.

Fig. 6. Los productores rurales andinos se enfrentan constantemente a los desafíos del clima. En el pasado, empleaban diversas opciones tecnológicas tales como los “andenes” (esquina superior izquierda) para posibilitar el uso del suelo para la agricultura, mejorar la eficiencia en el uso del agua y prevenir la erosión del suelo en las laderas abruptas, o las lagunas artificiales conocidas como “cochas” (esquina inferior izquierda) para almacenar el agua de las lluvias en las regiones montañosas, la cual era utilizada para regar los cultivos o dar de beber al ganado, así como los “waruwaru” o campos elevados (derecha) para administrar el agua resultante de las inundaciones y, luego, para rehabilitar los suelos marginales, mejorar el desagüe, almacenar agua, emplear la energía radiante disponible de manera óptima y atenuar las heladas.

Fuentes fotográficas: www.incas.info/incan-agriculture.html.