

# **La agricultura mexicana** **y el cambio climático**

**GREENPEACE**

[www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx)

Introducción	(4)
I. Resumen del estatus de los impactos de cambio climático en la agricultura mexicana	(5)
A. El cambio climático en México: temperaturas, lluvias, El Niño, huracanes	(5)
B. Los impactos del clima sobre la agricultura: el papel de la temperatura y las lluvias	(8)
B1. Temperaturas y cultivo	(9)
B1.1 Los umbrales de temperatura y el cambio climático	(9)
B2. Lluvias y sequías	(11)
B2.1 El maíz es especialmente susceptible a la sequía	(11)
B3. Estrés hídrico y térmico combinados	(11)
C. Predicciones de impactos del cambio climático sobre la producción de maíz en México	(12)
II. Transgénicos y clima	(13)
A. La ingeniería genética y la adaptación de las plantas	(13)
A1. Mecanismos de tolerancia a la sequía	(13)
A1.1 Genes involucrados en el mecanismo de respuesta al estrés	(13)
A1.1.1 El producto más cercano al mercado usa CspB, una proteína bacteriana de choque térmico frío	(14)
A1.1.2 Otro producto de Monsanto podría contener NF-YB2, un factor de transcripción	(15)
A1.1.3 El trigo del CIMMYT	(15)
A2. ¿Cuándo veremos estos productos en el Mercado? Se habla mucho de ello pero sin ver resultados. ¿Por qué?	(15)
B. La ingeniería genética no es el enfoque correcto	(16)
B1. La respuesta de la planta al estrés hídrico está contralada por muchos genes que involucran diversas trayectorias de respuesta: algunas citas de literatura científica	(16)
B2. De manera general, las plantas no enfrentarán un solo estrés bajo las condiciones del cambio climático, sino múltiples	(17)
B3. El camino de los cultivos transgénicos representa un alto costo	(18)
B4. Propiedad intelectual: la ingeniería genética como caballo de Troya	(19)
C. El modelo de agricultura industrial, de que la ingeniería genética es un componente esencial, representa una significativa amenaza climática	(19)

III. Soluciones reales	(20)
A. Los retos gemelos: adaptación y mitigación	(21)
B. Soluciones agro- ecológicas	(21)
B1. La contribución de los suelos sanos a la resistencia	(21)
B2. La diversidad crea resistencia	(22)
B3. Los enfoques ecológicos y agroecológicos son las soluciones al cambio climático	(22)
Estudio de caso: CEDICAM: agricultura sustentable y soluciones al cambio climático en La Mixteca Alta	( 23)
IV. El apoyo político es esencial	(24)
1. Demanda de políticas: Una ruta crítica para una agricultura resistente al cambio climático, protegiendo los ecosistemas y alimentando México de manera sustentable	(24)
Referencias	(26)

## Introducción

La crisis climática representa una serie de amenazas para la vida en este planeta. Una de las más serias, críticas y preocupantes es la amenaza a la producción agrícola. Los cambios en los patrones del clima ya están causando pérdida de cosechas a nivel global y reduciendo la seguridad alimentaria.

Los tomadores de decisiones deben desarrollar medidas para que la agricultura pueda adaptarse al cambio climático. Las políticas agrícolas deben estar a la vanguardia en cuanto a los esfuerzos de adaptación y reconocer y proporcionar a los agricultores, con urgencia, el soporte necesario para permitir adaptarse a los retos futuros.

Muchas alternativas están en el conocimiento tradicional de los campesinos, en su capacidad de generar suelos ricos en materia orgánica, los cuales retienen más agua bajo condiciones de sequía, y en la conservación de una gran diversidad de cultivos que permita generar la resistencia necesaria en un contexto de creciente imprevisibilidad de los patrones del clima.

Los funcionarios gubernamentales y los responsables de políticas públicas deben incrementar urgentemente los recursos, tanto naturales como económicos, indispensables para la producción de alimentos, así como proteger la diversidad de cultivos que enriquecerá las opciones de los campesinos para enfrentar los embates del clima.

La propuesta del gobierno mexicano y de la industria biotecnológica ante la crisis del campo ha sido la implementación de cultivos genéticamente modificados, la cual ha recibido mucha atención y gran financiamiento. La naturaleza seductora de una solución tecnológica inmediata es una de las mayores razones que explican esta atracción. Sin embargo, después de décadas de investigación, millones y millones de dólares invertidos, la tecnología no ha producido un solo organismo genéticamente modificado (OGM) que permita a los agricultores contrarrestar el cambio climático.

Esta falta de respuesta por parte de la industria de ingeniería genética contrasta con las técnicas convencionales y agro-ecológicas que están proporcionando a los campesinos soluciones viables para reducir su vulnerabilidad e incrementar su resistencia al cambio climático.

En este reporte, analizamos a los cultivos transgénicos en el contexto que plantea el cambio climático en México, el cual evidencia las limitantes de la ingeniería genética para responder a complejos escenarios climáticos contrastando con las técnicas de una agricultura ecológica al alcance de los campesinos mexicanos. Concluimos nuestro análisis con un esquema de políticas públicas dirigidas a responder a los retos fundamentales que enfrentan la agricultura, la seguridad y la soberanía alimentaria enfocada particularmente al cultivo de maíz.

## Sin maíz, no hay país

Por su importancia en México, nuestro énfasis se centra en el maíz. Sin embargo, muchos de los resultados pueden ser extrapolados a otros cultivos como el frijol y la calabaza -compañeros del maíz en la milpa, la papa, el arroz y el trigo, los otros granos básicos de los cuales millones de mexicanos dependen.

## I. Resumen del estatus de los impactos de cambio climático en la agricultura mexicana

La agricultura mexicana es particularmente vulnerable al cambio climático. Las predicciones no son optimistas para los grandes productores de trigo y maíz de Sonora y Sinaloa, ni para los millones de pequeños campesinos y su milpa. (Conde et al. 2006; Eaking 2000; Instituto Nacional de Ecología [INE] 2010). La amenaza del cambio climático a la seguridad y soberanía alimentaria es inmensa.

### A. El cambio climático en México: temperaturas, lluvias y huracanes.

El cambio climático afectará de diversas maneras a las diferentes regiones del país. Desde un punto de vista global, pocas de las predicciones son favorables para la producción agrícola. En el Norte, las sequías prevalecerán; en el centro del País las heladas e inundaciones amenazarán los cultivos; en el Sur, aumentarán las lluvias extremas y huracanes.

#### Temperaturas:

Es ampliamente aceptado que las temperaturas seguirán aumentando durante el próximo siglo, a nivel global y nacional (Solomon et al. 2007; INE 2009). Para algunas regiones de México como Tlaxcala, un incremento de las temperaturas podría ser benéfico, en particular a través del incremento de la temperaturas mínimas nocturnas (Conde et al. 2004). Para otras regiones, como Chihuahua, Sonora o Aguascalientes, extremas olas de calor amenazarán a los cultivos y al ganado (INE 2010). El Instituto Nacional de Ecología (INE) prevé que el calentamiento podría ser de 2 a 4 grados, particularmente en las partes centrales y norte del país. (INE 2006).

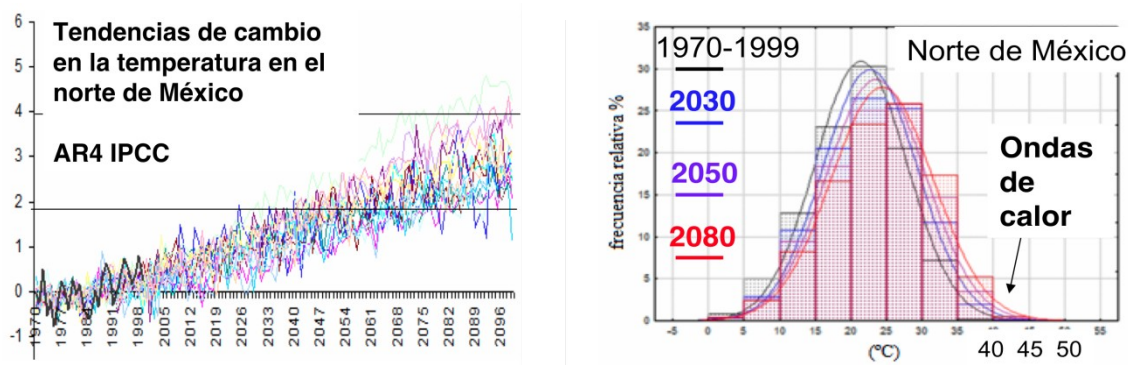


Figura 1: Proyecciones de temperaturas para México. Magaña (Sin fecha). Cambio climático y seguridad nacional.





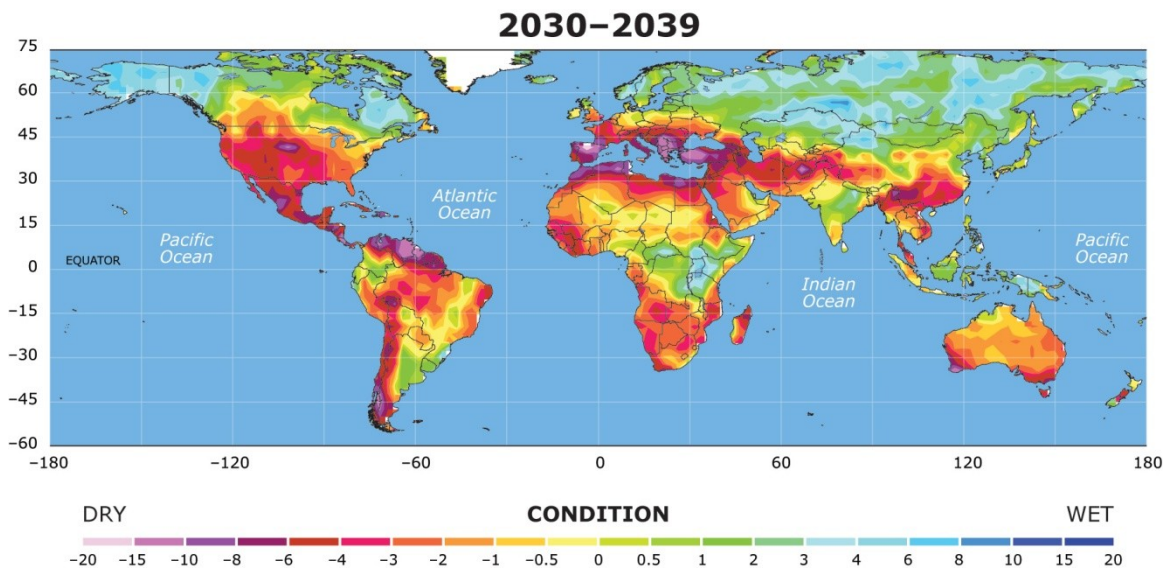


Figura 2: Sequías futuras. Los mapas ilustran proyecciones basadas en previsiones de emisiones de CO<sup>2</sup>. El mapa usa el índice de Severidad de Sequía de Palmer que asigna números positivos cuando las condiciones son anormalmente húmedas para una específica región y negativos cuando son anormalmente secas. Un puntaje de -4 o inferior está considerado como extremadamente seco. Las regiones en azul o verde serán probablemente expuestas en menor medida al riesgo de la sequía, mientras las rojas y violetas podrían enfrentar condiciones más extremas de sequía. (Courtesy Wiley Interdisciplinary Reviews, rediseñado por la University Corporation for Atmospheric Research).

### El Niño y La Niña:

Un factor importante en el clima de México y relacionado con las lluvias es la ocurrencia de los eventos de La Niña y El Niño. Bajo condiciones de clima cambiante, muchos modelos predicen una intensificación de este tipo de eventos -una extensión de su duración y/o una intensificación de sus efectos. (Houghton et al. 2001) Ambos eventos están relacionados con sequías estivales y lluvias intensas en invierno, aumentando el riesgo de pérdidas de cosecha en muchas regiones debido a inundaciones y sequías (Conde et al. 2004; Magaña 2004; Landa et al. 2008).

### Huracanes:

Las predicciones en cuanto a la frecuencia de los huracanes son ambiguas. Sin embargo, el aumento de las temperaturas del agua y del aire puede implicar que el impacto de una tormenta sobre una gran superficie como el golfo de México, pueda exacerbar la intensidad de dichas tormentas en términos de viento y lluvias (INE 2006).

Los cambios de los patrones de lluvia y particularmente las sequías, ya están afectando y seguirán afectando la producción agrícola. Sin embargo, como lo analizamos en la siguiente sección, el aumento de la temperatura puede ser la amenaza más grave para cosechas exitosas.

## B. Los impactos del clima sobre la agricultura: el papel de la temperatura y las lluvias.

El cambio climático implica retos monumentales para la agricultura en cuanto a las variables más importantes para los cultivos: la **temperatura** y las **precipitaciones**.

Durante el próximo siglo, las temperaturas seguirán aumentando de manera más frecuente (Ver figura 3). En muchas regiones, las lluvias serán más imprevisibles tanto en variabilidad (cambios en cantidad de un año para otro) como en distribución (eventos lluviosos por año y cantidad de lluvia en cada evento). Ambos cambios tendrán un impacto significativo sobre dónde y cómo cultivaremos nuestros granos básicos.

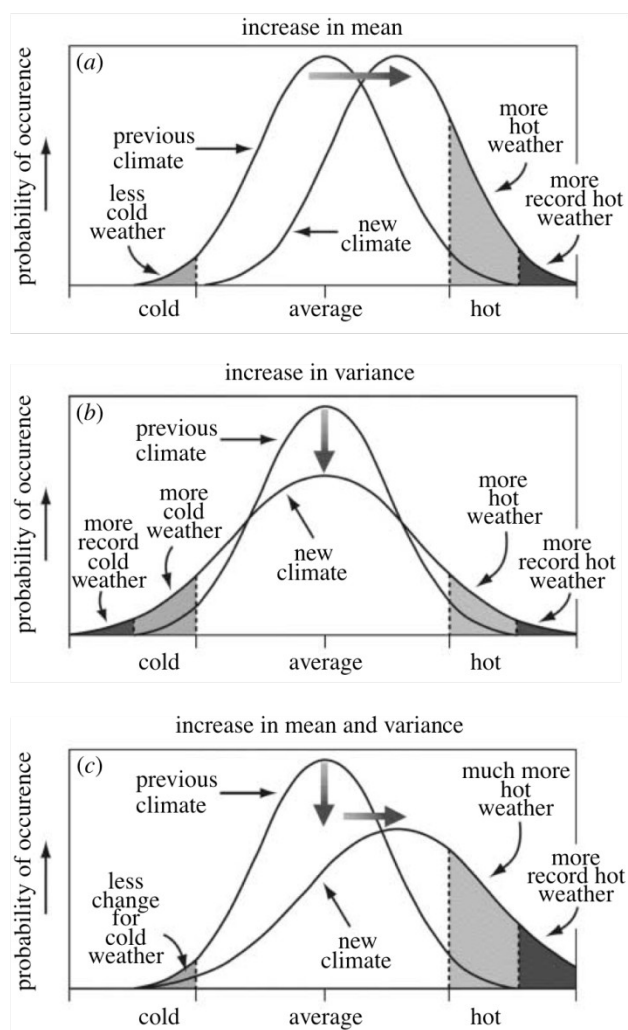


Figura 3: Cambios previstos en la distribución de temperaturas incluyendo cambios en: (a) promedio, (b) variabilidad y (c) frecuencia y ocurrencia de condiciones extremas. De Porter y Semenov (2005), adaptado de IPCC (2001).

Mientras muchas preocupaciones surgieron acerca de los impactos del cambio climático sobre la variabilidad y la distribución de las lluvias, los cambios en la temperatura podrían causar los mayores estragos a los rendimientos de cultivos en las décadas futuras. Además, es probable que múltiples fuentes de estrés, por ejemplo sequía y calor, compliquen aún más el reto de adaptación.



## B1. Temperaturas y cultivos

La temperatura es importante para una serie de procesos fisiológicos de los cultivos: la polinización, el llenado del grano y la fotosíntesis básica. Las altas temperaturas durante varios días o con un pico extremo durante algunas horas, pueden ocasionar serios impactos negativos sobre estos procesos, con consecuencias posteriores para el rendimiento de los cultivos. Los órganos reproductivos son particularmente sensibles: los eventos de calor extremo durante la floración o polinización, aunque sean de corta duración, pueden reducir severamente una cosecha. (Araus et al. 2008; Semenov and Halford 2009).

En términos generales, altas temperaturas aceleran el desarrollo de la planta, con un llenado de grano adelantado, reduciendo la temporada de crecimiento y la fase reproductiva y por ende reduciendo los rendimientos (Semenov and Halford 2009; Barnabas 2008).

El fenómeno no es específico de un sólo cultivo. “El análisis de las respuestas de los cultivos sugiere que incluso incrementos moderados de temperatura bajarán los rendimientos de maíz, trigo, sorgo, frijol, arroz, algodón y cacahuates” (Hatfield 2008).

Las temperaturas nocturnas altas pueden influenciar negativamente los rendimientos. En Estados Unidos los rendimientos de maíz bajaron significativamente precisamente por ello. En octubre de 2010, el United States Department of Agriculture y el National Agricultural Statistics Service reportaron un rendimiento de maíz aún inferior a lo esperado, debido también a temperaturas nocturnas altas durante la última temporada- “no dieron a los cultivos el tiempo de “descansar” y limitaron el crecimiento del grano” (Berry 2010).

Desafortunadamente, los modelos más importantes que fueron desarrollados para evaluar los impactos del clima sobre la agricultura no modelan adecuadamente la dependencia a la temperatura de estas variables claves (Stanford University 2009). Se ha subestimado el impacto de las altas temperaturas sobre la producción y los rendimientos agrícolas.

### B1.1 Los umbrales de temperatura y el cambio climático

Temperaturas más altas afectarán los rendimientos agrícolas de manera casi lineal hasta ciertos límites. Una vez que estos límites estén rebasados, los rendimientos bajarán drásticamente dado que los procesos reproductivos y fisiológicos son afectados o totalmente detenidos.

#### Polen.

La viabilidad del polen declina con el aumento de las temperaturas. (Stone 2001) Se ha demostrado que temperaturas arriba de los 35 a 38 grados, hacen perder la viabilidad del polen de maíz (Rosenzweig et al. 2001; Maestri 2002; Barnabás 2008; Hatfield 2008).

## Desarrollo de la semilla.

El desarrollo de plantas jóvenes - desde las etapas embrionarias- puede ser detenido si las temperaturas exceden ciertos límites (Klueva et al. 2001; Maestri 2002).

## Fotosíntesis:

Los ratios de fotosíntesis se reducen con el incremento de la temperatura, dado que la actividad de una enzima importante en el proceso fotosintético (Rubisco, ribulose 1,5 biphosphate carboxylase/oxygenase) se reduce arriba de 35 grados. Conforme las temperaturas aumentan las reducciones en el ratio de fotosíntesis se convertirán en una limitante importante para los rendimientos agrícolas (Barnabas 2008).

Investigadores asociados al programa de “Seguridad Alimentaria y Medio Ambiente” de la Universidad de Stanford, se enfocaron a describir los posibles impactos del aumento de las temperaturas sobre los rendimientos globales de los cultivos. Llegaron a la conclusión de que “tan sólo el cambio en el promedio de las temperaturas causará limitantes importantes a los cultivos. Temperaturas de 35 o 40 grados serán alcanzados durante más días en la mayoría de las regiones. Casi todas las prospecciones concuerdan en que muchas regiones importantes para la producción de cultivos experimentarán un rápido incremento del número de días con altas temperaturas (arriba de los 35 grados), la mayoría de estos modelos proyectan el doble de días de exposición para mediados de siglo” (Stanford University 2009).

Schlenker y Roberts usan modelaciones de cultivo y una amplia base de datos de rendimientos en la región norte central de EE-UU para medir el efecto de los aumentos de temperaturas sobre los rendimientos de maíz, con resultados preocupantes. Sus resultados “sugieren una caída significativa de los rendimientos cuando las cubiertas vegetales están expuestas a temperaturas arriba de 30 grados” (Ver figura 4 arriba. Schlenker y Roberts 2009). Esto podría implicar que la escasez de agua en las zonas más importantes de producción de cultivos en Sinaloa y Sonora representa un gran problema en el cultivo de maíz en el futuro, dado que altas temperaturas amenazarán la viabilidad del polen de maíz y los procesos reproductivos (Ver también figura 1).

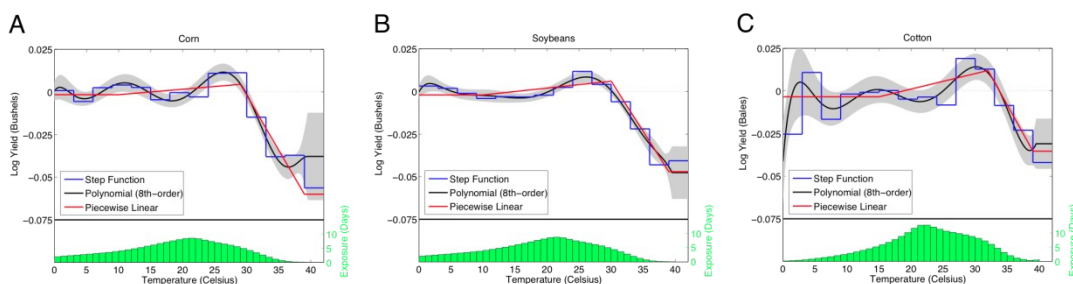


Figura 4: Relación no lineal entre temperatura y rendimientos. Schlenker and Roberts (2009).

## B2. Lluvias y sequías

El acceso al agua, a través de precipitaciones o de irrigación, es el factor más importante en la producción agrícola. La falta de acceso al agua, particularmente en tiempos críticos en las etapas del ciclo de vida de un cultivo, es un factor de estrés abiótico (externo) que limita su productividad. (Araus et al. 2008).

Los mismos procesos reproductivos amenazados por el estrés térmico -floración, polinización y llenado de grano- son igualmente más sensibles al estrés hídrico (Rosenzweig 2001).

Obviamente, la productividad de un cultivo puede igualmente sufrir de un exceso de lluvias (huracanes e inundaciones), de lluvias en malas temporadas o bajo malas formas (granizo). Se pronostica que el cambio climático atraerá más eventos climáticos extremos (Solomon et al, 2007), con consecuencias negativas para la producción de alimentos.

### B2.1 El maíz es especialmente susceptible a la sequía

El maíz reacciona a temperaturas y volúmenes de precipitación extremos, al igual que cualquier otra planta. El maíz, uno de los cultivos más importantes del mundo, cultivado en diversas condiciones agronómicas por los agricultores más ricos y los más pobres del mundo, será seriamente afectado por el cambio climático. Particularmente, el hecho de que el maíz sea cultivado en condiciones de temporal aumenta su vulnerabilidad. (Bänziger and Araus 2007)

Jones y Thornton (2003) estiman que “hasta 10 millones de toneladas de maíz pueden ser perdidas cada año en el mundo en desarrollo dado que el cambio climático aumenta la temperatura, reduce la eficiencia en el uso del agua y cambia los patrones de lluvia” (Bänziger y Araus 2007).

En 2008 la revista Science publicó un análisis de los riesgos climáticos para cultivos de doce regiones con inseguridad alimentaria. El análisis fue llevado a cabo para identificar las prioridades de adaptación, basadas en modelos estadísticos de los cultivos y las proyecciones climáticas para el año 2030 a partir de 20 modelos de circulación general. Los resultados indican que, debido al cambio climático, Sudáfrica podría perder para el año 2030 más del 30 por ciento de su cosecha principal, el maíz. En el sur de Asia, las pérdidas de alimentos básicos regionales como el arroz, el mijo y el maíz podrían alcanzar un 10 por ciento.

## B3. Estrés hídrico y térmico combinados

La temperatura y la composición del suelo están obviamente relacionadas. Temperaturas más altas generan un aumento de la evapotranspiración así como la evaporación del suelo. Una reducción de la humedad del suelo genera un periodo de crecimiento más corto, amenazando de manera más frecuente a las plantas por el estrés originado por la falta de humedad hacia finales de temporada (Rosenzweig 2001; Stanford University 2009).

Las plantas han desarrollado diferentes respuestas bioquímicas al estrés. La investigación muestra que diferentes tipos de estrés generan diferentes tipos de respuestas. Una de las respuestas de las plantas a las altas temperaturas es el aumento de la evapotranspiración, la cual enfría la cubierta vegetal de la planta, una respuesta que es casi siempre mortal en un contexto de estrés hídrico. A la inversa, en una situación de estrés hídrico, las plantas reducen su evapotranspiración, calentando la cubierta vegetal. Ambos estreses simultáneos representan una mayor amenaza para la sobrevivencia de las plantas que de manera separada (Mittler 2006).

### **C. Predicciones de impactos del cambio climático sobre la producción de maíz en México.**

La historia reciente brinda algunas perspectivas sobre los impactos esperados para la agricultura mexicana. Por ejemplo, el evento El Niño de 1997-1998 generó daños de alrededor de 1500 millones de pesos al sector agrícola. Lluvias tardías en 2005 fueron responsables de una caída del 13 por ciento de la producción (INE 2010).

Dado que la mayor parte de la producción de maíz en México es de temporal y que está cultivado en el conjunto del territorio, este cultivo será el más afectado por el cambio climático, particularmente durante la temporada Primavera-Verano P/V. Según datos del INE y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap), entre 2020 y 2025, las lluvias estivales disminuirán, con consecuencias negativas para toda la agricultura de temporal, y sobre todo, el maíz (INE 2010).

En las décadas posteriores al 2025, se pronostica un incremento de la escasez de agua para la producción de cultivos, no solamente debido a la sequía sino también a la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos, generando serias amenazas para los cultivos de riego. La irrigación dejará de ser económicamente rentable debido a los crecientes costos del bombeo de agua. Aunque los impactos serán seguramente más severos en el norte y noroeste del país, habrá una presión creciente sobre los recursos de agua en todo el país. El resultado será una reducción de la superficie cultivada de maíz, particularmente en Sonora (Banco Mundial 2009; INE 2010).

Los escenarios para 2020 y 2050 indican, dependiendo de la región, un incremento de las temperaturas de entre 1 y 3 grados, una reducción de precipitaciones de entre el 5 y el 10 por ciento y un incremento concomitante de entre el 5 y el 15 por ciento de la evapotranspiración.

Conde y su grupo de investigación de la UNAM realizaron un extenso trabajo con modelos de circulación global para tratar de predecir posibles impactos de estas temperaturas y cambios de precipitaciones sobre la producción agrícola, particularmente sobre el maíz de temporal. Un trabajo reciente de Conde y sus colegas (2008) estima que la reducción del área disponible para el cultivo de maíz será para el 2020 del 10 al 25 por ciento y para el 2040 del 40 por ciento. Las implicaciones de tal reducción para la seguridad alimentaria deberían de ser claras para todos.

Las amenazas relacionadas al clima para la producción de maíz en México no son de un sólo tipo. Aunque las preocupaciones más importantes a corto plazo están relacionadas con la sequía, el lento aumento de la temperatura podría ser una amenaza más seria a largo plazo. Los cultivos que reciben suficiente agua un año podrían recibir demasiada el siguiente año, o ser destruidos por un granizo. Es muy probable que historias como la contada por Cesar Longoria de Reynosa, Tamaulipas, sean cada vez más la norma. En 2009, su cosecha bajó del 30 por ciento debido a la sequía. En 2010, más de la mitad de sus campos fueron dañados por las inundaciones relacionadas al Huracán Alex (Rosenberg 2010).

## II. Transgénicos y cambio climático

Debido a la importancia de los retos para la agricultura mexicana frente al cambio climático, las comunidades científicas y de tomadores de decisiones deben movilizarse para facilitar los cambios necesarios en el sector agrícola. En esta sección, evaluaremos si los transgénicos tienen que desempeñar o no un papel en la respuesta científica y evidenciaremos su inutilidad. Además, concluiremos que seguir invirtiendo en una tecnología extremadamente costosa y que no tiene ninguna capacidad para enfrentar el reto del cambio climático es arriesgado y poco sensato -un mensaje importante para los tomadores de decisiones.

### A. La ingeniería genética y la adaptación de las plantas

Mucha atención y recursos han sido dirigidos a la ingeniería genética con la expectativa de crear plantas capaces de soportar los estreses ocasionados por el cambio climático. Sin embargo, actualmente no se encuentra en el catálogo de líneas transgénicas ninguna con una tolerancia más alta al calor, ni tampoco a estreses hídricos ni térmicos.

#### A1. Mecanismos de tolerancia a la sequía

Muchos estudios se enfocaron a buscar posibles estrategias para inventar plantas tolerantes a la sequía y a otros estreses abióticos (Por ejemplo ver Wang et al 2003; Flowers 2004; y Vinocur y Altman 2005). La mayoría de las estrategias de ingeniería genética se centran en genes aislados, involucrados de diferentes maneras en la respuesta al estrés, como proteínas “cold shock” (Castiglioni et al. 2008) o factores de transpiración (Nelson et al. 2007). Ese enfoque contrasta con las estrategias de tolerancia al estrés a través del cultivo convencional, complejas en la naturaleza, como estrategias para captar más agua en suelo, reducir el tiempo de floración y ahorrar agua (Araus et al. 2008).

##### A1.1 Genes involucrados en el mecanismo de respuesta al estrés

Los componentes de la planta que pueden estar involucrados en la tolerancia abiótica incluyen la proteína de choque térmico, antioxidantes, moléculas involucradas en la membrana, proteínas y la estabilidad mRNA. (Klueva et al. 2001) Tan sólo en la literatura acerca de la tolerancia a la sequía, alrededor de 50 genes fueron descritos, con descripciones de experimentos transgénicos con cada uno de esos genes,



documentando su eficiencia en laboratorio o situaciones de estrés hídrico en invernaderos (Umezawa et al., 2006; Christensen and Feldmann 2007).

Algunos de esos genes y mecanismos incluyen:

- Genes involucrados con el uso eficiente del agua;
- Genes regulatorios-involucrados en señalar las cascadas y controlar las transcripciones, como factores transcritores y otras moléculas marcadoras;
- Genes que codifican proteínas que confieren tolerancia al estrés protegiendo membranas y proteínas como antioxidantes, proteínas de choque térmico, fríos y calientes y otros chaperones moleculares;
- Genes para enzimas que sintetizan sustancias claves en agua y retenedores de iones (Chaves y Oliviera 2004): ácidos aminados, aminos, azúcares y alcohol.

(Klueva et al. 2001; Wang et al. 2003; Vinocur y Altman 2005; Araus 2008)

#### **A1.1.1 El producto más cercano al mercado usa CspB, una proteína bacteriana de choque térmico frío.**

La primera planta tentativamente resistente a la sequía desarrollada por Monsanto, un maíz que la compañía desea introducir en los Estados Unidos en 2012, contiene una proteína bacteriana de choque térmico frío, CspB por *Bacillus Subtilis*. La proteína funciona como un chaperón de ARN, una molécula involucrada en la estabilización de proteínas bajo condiciones de choque térmico frío. “Los chaperones moleculares funcionan en la estabilización de proteínas y membranas, y asistiendo la reconfiguración de las proteínas bajo condiciones de estrés”. (Wang et al. 2003)

En 2008, investigadores de Monsanto (Castiglioni 2008) reportaron haber “aumentado la estabilidad del rendimiento bajo condiciones de disponibilidad limitada de agua”, pero declararon que “la tolerancia en el medio ambiente y el germoplasma son elementos claves para establecer el valor de estrategias transgénicas para la tolerancia al estrés del cultivo, y requiere años de pruebas rigurosas en campo para caracterizar los potenciales beneficios”.

Monsanto pretende comercializar dicho maíz este año (2012) en Estados Unidos, en las áreas de la “corn belt” -básicamente desde la punta de Texas hasta Dakota del Norte-, que tienen una disponibilidad de agua y de lluvia limitada (Gilbert 2010). Esta variedad está igualmente siendo investigada en diversos sitios experimentales en Sudáfrica, y probablemente será probada en varios otros países como parte del proyecto “Efficient Maize for Africa” de la African Technology Foundation (African Centre for Biosafety 2009).

### A1.1.2 Otro producto de Monsanto podría contener NF-YB2, un factor de transcripción

Hasta la fecha, Monsanto ha anunciado únicamente un gen para su primera generación de maíz tolerantes a la sequía, la proteína CspB, pero la compañía indicó que hay un segundo gen relativamente avanzado en sus proyectos: un factor de transcripción del maíz: ZmNF-YB2.

Un factor de transcripción es una molécula involucrada en un conducto bioquímico que regula las expresiones de los genes en este conducto. El ZmNF-YB2 participa aparentemente en el conducto de una respuesta al estrés con efectos sobre el rendimiento y la posición de la semilla (Nelson 2007). Una vez más, no está claro si se trata de un segundo producto de Monsanto.

### A1.1.3 El trigo del CIMMYT

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha estado trabajando desde hace varios años sobre transgénicos para la tolerancia a la sequía. La combinación gen-cultivo que más estudiaron es un trigo con un elemento de respuesta a la deshidratación que lleva un factor de transcripción. Ningún resultado de este trabajo ha sido publicado (Anon 2005).

### A.2. ¿Cuándo veremos estos productos en el mercado? Se habla mucho de ello pero sin ver resultados. ¿Por qué?

“Hay ahora cientos de artículos científicos publicados. (...) Sin embargo, en condiciones de confinamiento uno puede ver los efectos pero no en campo” (Pennisi 2009).

Un número inmenso de artículos se ha publicado sobre presuntos genes de tolerancia a la sequía (Por ejemplo: Klueva et al. 2001; Maestri 2002; Wang et al. 2003; Vinocur and Altman 2005; Umezawa et al. 2006; Christensen and Feldman 2007.) Muchas empresas e institutos de investigación pública han investigado durante décadas la tolerancia a la sequía.

Sin embargo, después de décadas de trabajo, el único producto generado por esta costosa investigación, que involucró a hordas de científicos alrededor del mundo, es un gen que, según la empresa que lo desarrolló (Monsanto), produce rendimientos superiores de entre 8 y 10 por ciento bajo condiciones de estrés hídrico. Pero por otro lado, una gran cantidad de científicos críticos de los cultivos transgénicos han planteado severas dudas acerca de plantas transgénicas resistentes al estrés abiótico.

Una amplia gama de autores (Flowers 2004; Tester y Bacic 2005; Bänziger y Araus 2007; Christensen y Feldmann 2007; Araus et al. 2008; Semenov y Halford 2009) lamentan el hecho de que a pesar de que haya habido muchos estudios científicos

sobre enfoques transgénicos a la tolerancia al estrés abiótico, ninguna de estas presuntas soluciones están hoy en día en el mercado.

Mientras muchos genes diferentes fueron insertados en plantas, algunos con resultados experimentales publicados entre hace 10 y 15 años, ninguna planta pudo salir de los proyectos de investigación y ninguna es visible en el horizonte. Algunas de las razones que fueron publicadas:

- Las bases genéticas y fisiológicas de la tolerancia al estrés son complejas y un sólo gen no puede tener un impacto en ello (Para más información ver las secciones B.1 y B.2).
- Ha habido “errores fundamentales en el diseño de los experimentos y/o información insuficiente de la fisiología básica de la tolerancia al estrés abiótico” (Araus et al. 2008).
- “Falla de muchos estudios genéticos y moleculares para que los resultados de laboratorio se traduzcan “bona fide”, y muestren la tolerancia a la sequía en condiciones de campo” (Christensen y Feldmann 2007).
- Hay una correlación inherente entre la tolerancia a la sequía y la productividad. “Es comparativamente más difícil diseñar una respuesta óptima a la deficiencia de agua que permita lograr la protección del rendimiento bajo condiciones de sequía sin impactar negativamente los rendimientos bajo condiciones favorables” (Christensen and Feldmann 2007).
- El ciclo de desarrollo de cultivos transgénicos es de más de 10 años (Christensen and Feldmann 2007).

## **B. La ingeniería genética no es el enfoque correcto**

“La pregunta más importante para la biotecnología de la planta es: ¿la manipulación de algunos de estos genes provee una mejora consistente de la tolerancia a la sequía y/o al calor en campo, a diferencia de condiciones de laboratorio?” (Semenov and Halford 2009)

Claramente, la complejidad de ambos, cambio climático y respuesta de las plantas a estos cambios, requiere una solución que no es un simple arreglo tecnológico como el que propone la ingeniería genética.

### **B.1. La respuesta de la planta al estrés hídrico está contralada por varios genes que involucran diversas trayectorias de respuesta**

La ingeniería genética ha sido exitosa con productos simples basados en genes simples que actúan en una trayectoria única; una proteína que mata a un insecto o que permite a una planta ser resistente a un herbicida.

Las respuestas a la sequía y al calor no son simples: involucran a muchos genes de muchas maneras diferentes. Las siguientes citas de literatura científica ilustran el escepticismo científico actual acerca del enfoque que presenta la ingeniería genética como una manera de responder al reto de la tolerancia a la sequía:

- “En contraste con la resistencia de plantas al estrés abiótico, que es sobre todo dependiente de características mono-génicas, las complejas respuestas genéticas al estrés abiótico son multi-génicas, y por ende más difíciles de controlar y desarrollar” (Vinocur and Altman 2005).
- “Las características complejas del fenómeno de estrés abiótico en plantas convierte las modificaciones genéticas para una tolerancia eficiente a la sequía difíciles de lograr” (Wang 2003).
- “La tolerancia a la sequía es una característica compleja, que convierte la producción transgénica en un reto” (Valliyodan y Nguyen 2006).
- “Muchas de las características que determinan la tolerancia al estrés abiótico y la calidad y cantidad del rendimiento son controlados por un gran número de genes, que tienen efectos individuales menores pero que actúan juntos”. Además “diversos componentes de tolerancia son determinados por diferentes configuraciones de genes (...) en diferentes etapas del ciclo de vida y en varios tejidos” (Maestri 2002).
- La tolerancia a la sequía es un “complejo de procesos biológicos y físicos que no puede ser controlado por un sólo gen” (Porter and Semenov 2005).
- “La tolerancia a una combinación de diversos estreses es probablemente una característica compleja que involucra muchas trayectorias (...) identificar los genes esenciales para la tolerancia a una combinación de estreses abióticos podría, por ende, ser muy costosa e implicar un reto técnico que requiere muchos controles” (Mittler 2006).
- “Pensar que la inserción de un gen reemplaza la siembra convencional para la tolerancia a la sequía es irrealista. Aún no entendemos suficientemente las interacciones genéticas”(Mark Reynolds citado en Finkel 2009).
- “No hay una única característica mágica de tolerancia a la sequía” (Mark Reynolds como citado en Finkel 2009).

## **B2. De manera general, las plantas no enfrentarán un sólo estrés bajo las condiciones del cambio climático, más bien múltiples.**

Agravando el problema de descubrir genes y de diseñar plantas para características genéticas complejas está el hecho de que las plantas no suelen enfrentar un sólo estrés durante un ciclo agrícola (Klueva et al. 2001; Mittler 2006; Christensen y Feldmann 2007). “Muchas veces es la ocurrencia simultánea de varios estreses abióticos, más que una condición particular de estrés mortal para los cultivos” (Mittler

2006). Con una combinación de estreses hídricos y térmicos, la planta no puede responder de la misma manera en una situación que sólo involucra el estrés térmico, donde el incremento de la transpiración por las hojas enfriaría la cubierta vegetal. En una situación de estrés hídrico, la planta no puede aguantar una estrategia tan intensa de uso eficiente del agua (Christensen and Feldmann 2007).

Adicionalmente, la investigación muestra que la respuesta al estrés de la planta depende del tipo de estrés al que se enfrenta. La respuesta al estrés para la combinación sequía-calor es distinta a nivel metabólico y molecular que la respuesta a alguno de los estreses experimentados.

Además, “los efectos dañinos de diversos estreses impuestos a una planta simultáneamente son generalmente más que aditivos. Por ejemplo, altas temperaturas y una irradiación alta redujeron la fotosíntesis gradualmente cuando fueron impuestas separadamente y rápidamente cuando fueron impuestas simultáneamente” (Al-Khatib and Paulsen 1990 as cited in Klueva et al. 2001).

### **B3. El tomar el camino de los cultivos transgénicos representa un alto costo.**

A pesar de las importantes barreras tecnológicas y biológicas que se ponen en el camino de la ingeniería genética como un enfoque capaz de responder a los retos del cambio climático, los gobiernos y la industria siguen invirtiendo sumas enormes de dinero en la búsqueda del transgénico “Santo Grial”. Otra inversión pública mucho más fuerte, redituable y finalmente exitosa, consta en el desarrollo convencional de semillas y enfoques agronómicos tradicionales para adaptar la agricultura al cambio climático.

“Las estimaciones actuales para determinar el costo del desarrollo de una planta transgénica, una vez que el gen haya sido identificado, son de más de 60 millones de dólares, comparado con el costo aproximado y ampliamente acordado de 1 millón de dólares para desarrollar una línea convencional. En este contexto, el desarrollo comercial de un sólo gen es hoy aproximadamente 50 veces más caro que el de desarrollo de una línea comercial convencional” (Goodman 2004).

Otra consecuencia de tal estrategia de inversión pública es el reforzamiento de falsa solución de que los transgénicos, u otros nuevos arreglos tecnológicos por desarrollar, pueden responder al cambio climático. Dado que las temperaturas aumentan arriba de los límites que matarán al polen y detendrán el desarrollo de la planta, ninguna tecnología salvará la planta.

La inversión más importante que los gobiernos deben hacer en la actualidad es la inversión para reducir las emisiones de GEI y frenar el peligroso camino hacia un planeta más caliente. Perpetuar el mito que un sólo gen puede brindar de efectos milagrosos en el complejo contexto de cambio climático es decepcionante y distrae a los tomadores de decisiones de la búsqueda de medidas efectivas para la mitigación y la adaptación a este fenómeno.



## **B4. Propiedad intelectual: la ingeniería genética como caballo de Troya**

No hay ninguna razón válida para invertir en la búsqueda de un transgén milagroso. Para las empresas de ingeniería genética como Monsanto, el descubrimiento de nuevos transgenes no significa simplemente resolver problemas de insectos o malezas. Para su estrategia de negocios a largo plazo es más importante patentar transgenes y dónde se pueda, insertar sus derechos de propiedad intelectual en la gran diversidad de plantas.

La estrategia actual de Monsanto parece ser la de insertar su simple gen tolerante a la sequía en variedades que ya son bastante tolerantes a la sequía. Al hacer eso, proclamarán que el incremento de la tolerancia de la variedad bajo condiciones de sequía es el resultado de la inserción del gen. La realidad es que la resistencia a la sequía vista en campo es el efecto de los múltiples genes en la variedad tolerante a la sequía que fueron transferidos con técnicas convencionales.

Sin embargo, la simple inserción del transgén da a Monsanto la propiedad intelectual y le permite cobrar mucho más caro por sus semillas. En los Estados Unidos, Los maíces genéticamente modificados por Monsanto cuestan significativamente más caro que las semillas no transgénicas. La supremacía de la empresa en el mercado de semillas fue uno de los mayores factores en el incremento de precios durante la última década. “Los precios que los agricultores pagaron por sus semillas se incrementaron del 146 por ciento desde 1999, y del 64 por ciento tan sólo en los 3 últimos años. Los precios de las semillas híbridas de maíz son 30 por ciento más caros y las de soya de alrededor del 25 por ciento, comparado con los precios de 2008” (Hubbard 2009). Claramente, el beneficio económico de la tolerancia a la sequía para la empresa es mucho mayor si afirman que es un producto que proviene de la ingeniería genética.

El transgén no sólo es el elemento central para un mayor control sobre la propiedad intelectual y los beneficios asociados a las patentes, es igualmente útil para los esfuerzos de propaganda de Monsanto para ganarse la aceptación de la ingeniería genética internacionalmente. Por ejemplo, muchos países africanos siguen siendo altamente escépticos respecto a la ingeniería genética. La combinación de maíz OGM-convencional (hídrico eficiente) para África es el perfecto caballo de Troya para abrir de una vez por todas la puerta de África a los cultivos transgénicos.

## **C. El modelo de agricultura industrial, de la cual la ingeniería genética es un componente esencial, representa una grave amenaza climática.**

El modelo industrial de monocultivo, altamente dependiente de fertilizantes sintéticos e intensiva en el uso de energía, tecnología y transporte, representa una parte enorme del problema climático. La ingeniería genética y sus cultivos transgénicos son cómplices de la amenaza climática.

A nivel mundial, la agricultura industrial es directamente responsable de alrededor del 11-15 por ciento de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) e indirectamente responsable del 6-17 por ciento por el cambio en uso de suelos. Las contribuciones más significativas provienen de la producción de carne y del uso de fertilizantes sintéticos de nitrógeno (Bellarby et al. 2008).

La producción y uso de cantidades importantes de fertilizantes sintéticos genera enormes emisiones de óxido de nitroso -un gas de efecto invernadero que es muchas veces más potente que el dióxido de carbono- en la atmósfera. La producción y el uso global de fertilizantes a base de nitrógeno por el sector agrícola contribuyen al equivalente de 2.5 billones de toneladas de CO<sup>2</sup> por año. (Bellarby et al. 2008) Además, las emisiones de N<sub>2</sub>O están incrementando rápidamente -se anticipa que las emisiones globales de esta fuente incrementarán de entre el 35 y el 60 por ciento por el 2030 (Solomon et al. 2007).

Paralelamente a la enorme amenaza climática que representan los sistemas agrícolas industriales, éstos son altamente vulnerables frente al cambio climático. El modelo industrial y las variedades de cultivos que están adaptadas a éste, dependen de sistemas de irrigación intensivos en energía y agua, así como en energías fósiles y otros factores contaminantes como las cosechas mecanizadas, los fertilizantes y los pesticidas. Son altamente vulnerables a las reducciones de disponibilidad de agua y gasolina y económicamente inviables a largo plazo (Vandermeer et al. 2009).

### III. Soluciones reales

Los retos climáticos que enfrentará la agricultura mexicana son severos. Incrementos significativos en la temperatura y reducciones de precipitaciones, combinadas o de manera separada, dificultarán enormemente la producción de comida en México. No cabe duda que es urgente un esfuerzo intenso para adaptar la agricultura mexicana a las condiciones del cambio climático, con miras a preservar la producción alimenticia y de auto-consumo en las áreas rurales.

Las semillas transgénicas, incluso las que puedan ser capaces de soportar condiciones de clima seco, no son la solución para la producción agrícola en México. Las semillas son destinadas para un modelo de producción agrícola que esta rebasado. Como lo dijo recientemente Tim Garrity del Centro Mundial para la Agroforestería: “necesitamos reinventar la agricultura de una manera sustentable y accesible para que se pueda adaptar al cambio climático y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero” (Centro Mundial para la Agroforestería, 2010).

En realidad, lo que es necesario es un replanteamiento radical de la agricultura. La reciente Evaluación Internacional del Papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola (IAASTD), financiada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) y el Banco Mundial, concluyó que “Los negocios de siempre ya no son la opción” (McIntyre et al. 2009).

## A. Dos retos paralelos: adaptación y mitigación

A nivel global, la agricultura debe responder al cambio climático de dos formas, técnicamente conocidas como mitigación y adaptación. En los países y sistemas de producción donde la agricultura es responsable de un monto significativo de las emisiones de CO<sup>2</sup>, las soluciones deben ser encontradas para mitigar esas emisiones, reduciéndolas o eliminándolas. Los campesinos de todos los países deberán adaptarse al cambio climático, es decir, cambiar aspectos de sus sistemas de producción para seguir produciendo alimentos bajo nuevas condiciones climáticas.

En muchos países, la adaptación implicará cambios estructurales. Afortunadamente, muchas de las prácticas que deben de ser adoptadas para crear una agricultura más resiliente al cambio climático, como prácticas que incrementan la salud de los suelos y por ende la capacidad de retención de agua y el secuestro de carbono, ayudan igualmente a reducir o eliminar el uso de fertilizantes sintéticos basados en nitrógeno, el mayor reto de mitigación para los sistemas agrícolas industriales. Las prácticas de reconstrucción orgánica del suelo y el sistema de agroforestería facilitan ambas: mitigación de emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático (Niggli et al. 2009).

## B. Soluciones agro-ecológicas

Como hemos mencionado, la ingeniería genética y el conjunto del modelo industrial agrícola no sólo son incapaces de responder a los retos del cambio climático, sino también contribuyen ampliamente a agravar este problema. La agricultura industrial es un modelo que depende de la homogeneidad -sobre inmensos terrenos de monocultivo que dependen de agro-químicos basados en energías fósiles para la fertilización y el control de plagas y enfermedades. El cultivo de esas enormes porciones de territorio implica una maquinaria que usa grandes cantidades de energías fósiles y muchas veces una irrigación a gran escala, dependiente de energías fósiles (Vandermeer et al. 2009).

### B1. La contribución de los suelos sanos a la resiliencia al cambio climático.

Las prácticas de la agricultura industrial agotaron progresivamente los suelos, privándolos de sus nutrientes de vida. Cada año, más productos agro-químicos deben ser aplicados para mantener la misma productividad. Los suelos desprovistos de vida tienen poca capacidad para retener el agua y pueden ser fácilmente erosionados por fuertes lluvias (Lim 2009; Vandermeer et al. 2009).

Las pequeñas unidades de producción de México sufren igualmente de una sobreexplotación del suelo. La solución no son los químicos para generar fertilidad con un suelo desprovisto de nutrientes, pero sí recrear esta salud a través de prácticas que incrementan la materia orgánica en el suelo y por ende la capacidad de retención de agua y nutrientes (Lotter et al. 2003; Boege y Carranza 2009; Pan et al. 2009).

Los cultivos de cubierta, los abonos de estiércol y composta, el intercalado de leguminosas y las técnicas de agroforestería que protegen los suelos y contribuyen a enriquecer con materia orgánica a través de la caída de las hojas -son prácticas que regeneran los suelos y contribuyen a la resiliencia climática del sistema agrícola, incrementando la capacidad de absorción y almacenamiento de agua (Altieri y Koohafkan 2009; Boege y Carranza 2009; Lim 2009; Niggli et al. 2009; Tirado y Cotter 2010).

## **B2. La diversidad crea resistencia.**

Patrones de cultivos diversificados, en tiempo y espacio, incrementarán igualmente la resiliencia climática del sistema agrícola. Como los patrones del clima son cada vez más erráticos, será más difícil predecir cuales cultivos darán buenos rendimientos en un año determinado.

La diversidad de cultivos proporciona un seguro necesario frente a un clima impredecible, a la vez que contribuye al control de plagas y enfermedades. El policultivo, incluyendo el policultivo tradicional en la milpa con el maíz, frijol y calabaza, puede proporcionar otros beneficios como la conservación de la humedad del suelo a través de la sombra proporcionada por las hojas de las calabazas (Altieri and Koohafkan 2009; Boege and Carranza 2009; Tirado and Cotter 2010).

Además, es igualmente importante utilizar diversidad de cultivos y de especies. Sembrar una diversidad de maíces y otras especies tolerantes a diferentes estreses ambientales, puede proporcionar seguridad frente a eventos climáticos extremos, además de fomentar la soberanía alimentaria (Boege and Carranza 2009).

Es necesario apoyar la conservación de semillas a la par de esfuerzos individuales y colectivos para adaptar los cultivos a condiciones cambiantes. Zonas como la Mixteca representan un reservorio muy importante de diversidad de maíz con características adaptadas a las rudas condiciones de esta zona: lluvias erráticas, sequías prolongadas, granizo, suelos degradados (Boege and Carranza 2009). El conjunto de diversidad genética en las parcelas de los campesinos debe ser salvaguardado, dado que muchas alternativas para el futuro dependen de esas semillas. Además, los campesinos deben ser apoyados en el reto de adaptar sus cultivos para poder hacerle frente a los retos del clima.

## **B3. Los enfoques ecológicos y agro-ecológicos son las soluciones al cambio climático**

Los sistemas de producción orgánicos son promovidos por la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) por su potencial de resiliencia al cambio climático. “La diversidad de paisajes, actividades agrícolas, terrenos y agro-biodiversidad es ampliamente realzada en la agricultura orgánica, que convierte estas unidades de producción en un gran potencial frente al cambio climático. El sistema de agricultura orgánica basado en la conservación y mejoramiento de la diversidad usando diversos cultivos, rotaciones y estrategias

agrícolas mixtas -agrosistemas diversificados- reducen la vulnerabilidad de los cultivos y las enfermedades de los animales al tiempo que mejoran la utilización del agua y de los nutrientes del suelo”.

Muchos expertos sugieren soluciones similares-promoviendo las prácticas de producción agro-ecológica para construir resistencia. Olivier de Shutter, Relator Especial de Naciones Unidas para el Derecho a la Alimentación, en su más reciente informe sobre agricultura mexicana declaró: “Podemos incrementar la resiliencia de la agricultura al cambio climático combinando diversos cultivos dentro de la misma unidad de producción, sembrando más árboles y desarrollando técnicas de cosecha para abonar el suelo. El enfoque clásico de “Revolución Verde” debería de ser totalmente replanteado para lograr esto. La agricultura, siendo ahora parte del problema del cambio climático, debería de ser parte de la solución” (de Schutter 2010).

El Instituto Nacional de Ecología de México (INE 2010) recomienda un programa de restauración de suelo, la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia e invernaderos para la agricultura orgánica, además de proporcionar apoyo oficial para los campesinos, sistemas de información climática y seguros agrícolas como elementos de la estrategia nacional de adaptación.

#### **Estudio de caso :**

#### **CEDICAM: agricultura sustentable y soluciones al cambio climático en la Mixteca Alta.**

Los impactos del cambio climático, como la erosión, inundaciones, desertificación y los cambios en los patrones del tiempo, afectarán profundamente a los pequeños campesinos. La zona mixteca tiene una de las tasas de erosión más importantes del mundo, que afecta el 83 por ciento del territorio con 500 mil hectáreas que son consideradas como severamente erosionadas.

Tras haber adoptado variedades de semilla de maíz híbrido demandantes de insumos químicos en los ochentas, muchos pequeños productores de la zona mixteca vieron sus rendimientos caer y el suelo agotarse. Como resultado del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y de los subsidios estadounidenses al maíz, los precios bajaron drásticamente y muchos campesinos no pudieron cubrir el precio de los fertilizantes y pesticidas que requerían las nuevas variedades. Conforme la productividad del suelo fue decayendo, la agricultura en pequeña escala fue cada vez más difícil. La erosión, junto con los precios declinantes del maíz, obligo a miles de mixtecos a dejar su región.

#### **Reconstruyendo terrazas y construyendo zanjas.**

El Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca (CEDICAM) ayudó a identificar antiguos sistemas agrícolas de la región, muchos en ruinas, apoyando a las comunidades en la reconstrucción de las barreras mediante el uso de piedras de las parcelas. Las áreas aplanadas impiden la erosión y favorecen la producción agrícola. La organización ha sido pionera en la construcción de zanjas, paredes de retención y



terrazas para captar agua de lluvia y prevenir la erosión en las laderas. Se comprobó que cinco kilómetros de zanjas de contorno pueden capturar 1,800,000 litros de agua después de cada lluvia pesada, recargando los acuíferos subterráneos. Anteriormente, alrededor del 80 por ciento del agua de lluvia escurría sin filtrar, causando erosión e impidiendo el llenado de los acuíferos.

El CEDICAM trabajó con campesinos de la región para construir cientos de kilómetros de zanjas de contorno. Posteriormente, protegieron 5 mil hectáreas con terrazas de piedras y paredes, generando un aumento del 50 por ciento en la producción agrícola e incrementando la retención de agua y materia orgánica, proporcionando una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos. Donde del 25 al 30 por ciento del territorio era cultivable, las comunidades pueden ahora producir sobre más del 80 por ciento. Las zanjas de contorno que previenen el escurrimiento del agua de lluvia generaron un incremento del 50 al 100 por ciento del nivel de los manantiales.

### **Sembrando árboles.**

Con la asistencia del CEDICAM, los campesinos están plantando cerca de 200 mil árboles nativos al año. Esos árboles previenen la erosión, ayudan a la filtración del agua en el suelo, generan captura de carbono, forman espacios verdes y contribuyen a enriquecer el suelo en materia orgánica. En total han sido plantados más de un millón de árboles y más de mil hectáreas han sido reforestadas.

### **Construyendo suelos.**

Los campesinos de la zona dejaron de usar fertilizantes sintéticos industriales para aplicar fertilizantes naturales. Para mejorar los suelos degradados e incrementar la retención de humedad, fueron usadas una serie de técnicas locales: estiércol y abonos verdes, composta, lombricomposta y cultivos de cubierta. Esos métodos para mejorar la fertilidad del suelo incrementaron hasta cuatro veces la producción de maíz (Información adicional de Boege y Carranza 2009; Adaptado de: Premio Ambiental Goldman, Jesús León Santos, México, Desarrollo Sustentable (<http://www.goldmanprize.org/node/733>)).

## **IV. El apoyo político es esencial**

Las políticas agrícolas deben fomentar y apoyar la investigación pública y el desarrollo hacia la adaptación, apoyar a los pequeños productores que están emprendiendo esos cambios -no sólo apoyo directo para la adopción de prácticas particulares, sino también la creación de políticas públicas que apoyen el sustento económico de las zonas rurales.

### **1. Demandas políticas una ruta crítica para una agricultura resiliente al cambio climático, protegiendo los ecosistemas y alimentando a la población de manera sustentable.**

La agricultura mexicana esta seriamente amenazada por el cambio climático. Los pequeños productores de maíz y otros cultivos de temporal serán particularmente

amenazados por la pérdida de rendimiento y de sustento económico en sus comunidades. Las políticas públicas que apoyan a los campesinos son esenciales no sólo para los campesinos sino para la seguridad nacional y soberanía alimentaria. Los temas fundamentales para la aplicación de inversiones y políticas públicas incluyen:

I. Apoyar directamente las prácticas agrícolas que contribuyen a la resiliencia e incrementan la capacidad de adaptación a través de incrementar y mantener la calidad de los suelos; desarrollar y apoyar la conservación comunitaria del agua y sistemas de captación de agua; fomentar la agrobiodiversidad; desarrollar y apoyar sistemas agroforestales, incluyendo la conversión de suelos degradados en sistemas perenes de agroforestería:

- Financiar la adopción de prácticas agroecológicas.
- Reorientar la investigación para apoyar la innovación agroecológica de campesino a campesino, reforzar las redes y alianzas para apoyar, documentar e intercambiar experiencias.
- Garantizar que los productores tengan acceso a la información acerca de prácticas que permitan resistir al cambio climático, por métodos formales e informales: servicios de difusión, organizaciones de campesinos, escuelas campesinas.
- Enfocar los esfuerzos de investigación y desarrollo hacia la adaptación al cambio climático e incrementar los lazos entre los investigadores y los campesinos.
- Fortalecer el sistema agrícola de innovación y difusión para métodos agrícolas ecológicos, haciendo énfasis en los pequeños productores.

II. Mejorar el manejo del riesgo climático a través de:

- Mejorar las redes de seguridad social.
- Mejorar el uso de la información sobre el clima, a través de un sistema más eficiente de comunicación e información, incluso a través del desarrollo de un sistema de alerta para los fenómenos como los del Niño y La Niña.
- Fortalecer a los pequeños productores, mujeres, indígenas y organizaciones comunitarias.
- Invertir en áreas rurales: construyendo y reforzando la estructura básica: carreteras y el abastecimiento de agua.
- Involucrar a los campesinos en la evaluación de riesgos y las alternativas de adaptación.

### III. Mejorar la agrobiodiversidad para la resiliencia climática a través de:

- Apoyar la conservación y el uso del saber y de las semillas locales, apoyando a los sistemas campesinos de intercambio y selección de semillas.
- Priorizar los esfuerzos de investigación agronómica hacia semillas adaptadas a las futuras condiciones, particularmente a temperaturas más altas.
- Prohibir las patentes sobre las semillas.

### IV. Reorientar las políticas agrícolas para apoyar una agricultura resiliente a través de:

- Reorientar los subsidios de los monocultivos hostiles para el clima e insumos dañinos hacia prácticas resistentes al cambio climático del sector campesino.
- Apoyar prácticas que reduzcan la vulnerabilidad e incrementen la resiliencia y que al mismo tiempo reduzcan las emisiones de GEI:
  - Reducir del uso de fertilizantes sintéticos mediante la eliminación de las políticas fiscales y de precios que contribuyen a un uso excesivo de estos fertilizantes.
  - Reorientar el apoyo a prácticas resilientes al cambio climático e incremento de la fertilidad del suelo (p.e. el uso de composta para mejorar la calidad y la capacidad de retención de CO<sup>2</sup> y de agua del suelo).
- Construir una capacidad de adaptación y resiliencia y por ende reducir la vulnerabilidad.

### Referencias

Al-Khatib, K., and G.M. Paulsen. 1990. Photosynthesis and productivity during high-temperature stress of wheat genotypes from major world regions. *Crop Science* 30: 1127-1132.

Altieri, Miguel A., and Parviz Koohafkan. 2008. *Enduring farms: Climate change, smallholders and traditional farming communities*. Penang, Malaysia: Third World Network.

Anon 2005. The quest for drought tolerance. *New Agriculturalist*. <http://bit.ly/bsbk17>. [Accessed 14 November 2010].

Araus, José Luis, Gustavo A. Slafer, Conxita Royo, and M. Dolores Serret. 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Science* 27: 377-412.

Banziger, Marianne, and Jose-Luis Araus. 2007. Recent advances in breeding maize for drought and salinity stress tolerance. In *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*,

ed. Matthew A. Jenks, Paul M. Hasegawa, and S. Mohan Jain, 587-601. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Barnabás, Beáta, Katalin Jäger, and Attila Fehér. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment* 31: 11-38.

Bellarby, Jessica, Bente Foereid, Astley Hastings, and Pete Smith. 2008. *Cool farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Amsterdam, Netherlands: Greenpeace International.

Berry, Ian. 2010. "Falling crop outlook puts corn above \$5." *Wall Street Journal* 18 September. <http://on.wsj.com/dpudpk> [Accessed 14 November 2010].

Boege, Eckart and Tzinnia Carranza. 2009. *Agricultura sostenible campesino-indígena, soberanía alimentaria y equidad de género: Seis experiencias de organizaciones indígenas y campesinas en México*. Chapter 3, La agricultura sostenible campesino-indígena frente a la desertificación de la Mixteca Alta. México, D.F.: PIDAASSA.

Castiglioni, Paolo, Dave Warner, Robert J Bensen, Don C Anstrom, Jay Harrison, Martin Stoecker, Mark Abad, et al. 2008. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. *Plant Physiology* 147, no. 2 (June): 446-55.

Chaves, M M, and M M Oliveira. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55, no. 407 (November): 2365-84.

Christensen, Cory A., and Kenneth A. Feldmann. 2007. Biotechnology approaches to engineering drought tolerant crops. In *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops*, ed. Matthew A. Jenks, Paul M. Hasegawa, and S. Mohan Jain, 333-357. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Climate Progress. 2010. New study puts the "hell" in Hell and High Water. <http://climateprogress.org/2010/10/20/ncar-daidrought-under-global-warming-a-review/> [accessed 9 November 2010].

Conde, Cecilia. 2008. *Adaptación al cambio climático en el sector agrícola*. PowerPoint presentation at the Taller de Evaluación de Medidas de Adaptación al Cambio Climático en Iberoamérica, Cartagena de Indias, Colombia. 10 June.

Conde, C, R Ferrer, and S Orozco. 2006. Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures: a Mexican case study. *Atmosfera* 19, no. 3: 181-194.

Conde, Cecilia, Rosa Ma. Ferrer, and Diana Liverman. 2000. Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-Maize. In *México: Una Visión hacia el Siglo XXI. El Cambio Climático en México*, edited by C. Gay García, 119-142. PUMA, UNAM. México.

Conde, Cecilia, Rosa Ma. Ferrer, Carlos Gay, and R. Araujo. 2004. Impactos del cambio climático en la agricultura en México. In *Cambio climático: una visión desde México*, edited by Julia Martínez and Adrián Fernández. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Conde, Cecilia, Rosa Ma. Ferrer, Raquel Araujo, Carlos Gay, Víctor Magaña, José Luis Perez, Tomás Morales, Saturnino Orozco. 2004. El Niño y la agricultura. In Magaña Rueda Víctor (Editor), *Los impactos del niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México.

Dai, Aiguo. "Drought under global warming: a review." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* (October 2010): n/a-n/a. doi:10.1002/wcc.81. <http://doi.wiley.com/10.1002/wcc.81>.

De Schutter, Olivier. 2010. It's time to tackle climate change and agricultural development in tandem. *The Guardian*. 16 October.

Eakin, Hallie. 2000. Smallholder maize production and climatic risk: a case study from Mexico." *Climatic Change* 45: 19-36.

Finkel, Elizabeth. 2009. Making every drop count in the buildup to a blue revolution. *Science* 323, no. 5917 (February): 1004-5.

Flowers, T J. 2004. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany* 55, no. 396 (February): 307-19.

Goodman, Major M. 2004. Plant breeding requirements for applied molecular biology. *Crop Science* 44: 1913-1914.

Hatfield, J., K. Boote, P. Fay, L. Hahn, C. Izaurralde, B.A. Kimball, T. Mader, J. Morgan, D. Ort, W. Polley, A. Thomson, and D. Wolfe, 2008. Agriculture. In: *The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity*. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, D.C., USA.

Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.). 2001. Climate Change 2001: The scientific basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hubbard, Kristina. 2009. *Out of hand: farmers face the consequences of consolidation in the seed industry*. Washington, D.C.: National Family Farm Coalition.

Instituto Nacional de Ecología [INE]. 2006. *México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México.

Instituto Nacional de Ecología [INE]. 2009. *México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México.

Instituto Nacional de Ecología. 2010. Coordinación del Programa de Cambio Climático. <http://www2.ine.gob.mx/cclimatico/> [accessed 9 November 2010]

Jones, Peter G., and Philip K. Thornton. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change* 13: 51-59.

Kaskey, Jack, and Antonio Ligi. 2010. Monsanto, DuPont fight on parched Kansas battlefield. *Bloomberg*. 21 April.

Klueva, Natalya Y., Elena Maestri, Nelson Marmioli, and Henry T. Nguyen. 2001. Mechanisms of thermotolerance in crops. In *Crop responses and adaptations to temperature stress*, ed. Amarjit S. Basra, 177-217. Binghamton, NY: The Haworth Press.

Landa, R., V. Magaña and C. Neri. 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. México, D.F.: SEMARNAT y UNAM.

Lim, Li Ching. 2009. *The case for sustainable agriculture: Meeting productivity and climate challenges*. Penang, Malaysia: Third World Network.

Long, Stephen P, Elizabeth A Ainsworth, Andrew D B Leakey, and Patrick B Morgan. 2005. Global food insecurity: treatment of major food crops with elevated carbon dioxide or ozone under large-scale fully open-air conditions suggests recent models may have overestimated future yields. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 360, no. 1463 (November): 2011-20.

Long, Stephen P., Elizabeth A Ainsworth, Andrew D B Leakey, Josef Nösberger, Donald R Ort 2006. [Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO2 concentrations](#). *Science* 312 (5782): 1918-21.



Lotter, D.W., R. Seidel, and W. Liebhardt. 2003. The performance of organic and conventional cropping systems in an extreme climate year. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, no. 2: 1-9.

Maestri, Elena, Natalya Klueva, Carla Perrotta, Mariolina Gulli, Henry T. Nguyen, and Nelson Marmioli. 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Plant Molecular Biology* 48: 667-681.

Magaña Rueda, Victor Orlando. No date. Cambio climático y seguridad nacional: Adaptación – prevención de riesgo de desastres. PowerPoint presentation available at <http://bit.ly/d8C4m3>. [Accessed 14 November 2010]

Magaña Rueda, Víctor (Editor). 2004. *Los impactos de El Niño en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México.

McIntyre, Beverly, Hans R. Herren, Judi Wakhungu, and Robert T. Watson. 2009. *International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development (IAASTD): synthesis report with executive summary: a synthesis of the global and sub-global IAASTD reports*. Washington, D.C.: Island Press.

Mittler, Ron. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* 11, no. 1 (January): 15-19.

Moola, Shenaz. 2010. *Africa's Green Revolution Drought Tolerant Maize Scam*. ACB Briefing Paper No. 12. Johannesburg, South Africa.

Nelson, Donald E., Peter P. Repetti, Tom R. Adams, Robert A. Creelman, Jingrui Wu, David C. Warner, Don C. Anstrom, et al. 2007. Plant nuclear factor Y (NF-Y) B subunits confer drought tolerance and lead to improved corn yields on water-limited acres. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, no. 42: 16450-16455.

Niggli, Urs, Andreas Fließbach, and Paul Hepperly. 2008. *Low greenhouse gas agriculture: mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems*. Rome, Italy: UN Food and Agriculture Organization.

Pan, Genxing, Pete Smith, and Weinan Pan. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 344-348.

Pennisi, Elizabeth. 2008. The blue revolution, drop by drop, gene by gene. *Science* 320, no. 5873 (April): 171-3.

Porter, John R, and Mikhail A Semenov. 2005. Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 360, no. 1463 (November): 2021-35.

Rosenberg, Mica. 2010. Ancient seeds in Mexico help fight warming effects. *Reuters*, 17 September.  
Rosenzweig, Cynthia, Ana Iglesias, X.B. Yang, Paul R. Epstein, and Eric Chivian. 2001. Climate change and extreme weather events: Implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change & Human Health* 2, no. 2: 90-104.

Schlenker, Wolfram, and Michael J Roberts. 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106, no. 37 (September): 15594-8.

Semenov, Mikhail A, and Nigel G Halford. 2009. Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate. *Journal of Experimental Botany* 60, no. 10: 2791-804.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Stanford University, Program on Food Security and Environment. 2009. Climate extremes and crop adaptation. Summary Statement, Meeting on Climate Extremes and Crop Adaptation, Stanford University, Palo Alto, California. 16-18 June.

Stone, Peter. 2001. The effects of heat stress on cereal yield and quality. In *Crop responses and adaptations to temperature stress*, edited by Amarjit S. Basra, 243-291. Binghamton, NY: The Haworth Press.

Tirado, Reyes, and Janet Cotter. 2010. *Ecological farming: drought-resistant agriculture*. Amsterdam, Netherlands. Greenpeace International.

Umezawa, Taishi, Miki Fujita, Yasunari Fujita, Kazuko Yamaguchi-Shinozaki, and Kazuo Shinozaki. 2006. Engineering drought tolerance in plants: discovering and tailoring genes to unlock the future. *Current Opinion in Biotechnology* 17, no. 2 (April): 113-22.

Valliyodan, Babu, and Henry T. Nguyen. 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 9: 1-7.

Vandermeer, John, Gerald Smith, Ivette Perfecto, and Eileen Quintero. 2009. *Effects of industrial agriculture on global warming and the potential of small-scale agroecological techniques to reverse those effects*. Ann Arbor, MI: The New World Agriculture and Ecology Group.

Vinocur, Basia, and Arie Altman. 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology* 16: 123-132.

Wang, Wangxia, Basia Vinocur, and Arie Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218: 1-14.

World Agroforestry Center. 2010. A reinvention of agriculture is needed to meet global challenges. Press release. <http://bit.ly/cy8NIZ> [Accessed 14 November 2010].

World Bank. 2009. Climate change aspects in agriculture. Mexico country note. January. Available at <http://bit.ly/aMWfHo>. [Accessed 14 November 2010].

GREENPEACE

