

# Adaptar la agricultura al cambio climático



José Ariel Ruiz Corral

La tendencia predominante del cambio climático en México –fenómeno que más bien se intensificará en un futuro mediano–, es hacia un aumento de temperatura y una disminución de los volúmenes de lluvia. Hoy, una de las opciones de adaptación más aceptadas y buscadas es la generación de variedades de semillas que sobrevivan a ambientes con estrés por calor y falta de humedad.

## Clima, cambio climático y alimentos

La producción de alimentos en México se realiza fundamentalmente en tierras de labor, ya sea bajo condiciones de temporal (lluvias) o condiciones de regadío. También se lleva a cabo, aunque en una menor proporción, mediante la utilización de invernaderos. Se cultivan especies de ciclo anual, bianual, semiperenne y perenne en una amplia gama de ambientes climáticos.

En la Figura 1 se puede ver un aspecto de la diversidad ambiental de México; en todos los 28 ambientes climáticos mostrados en dicha figura se realiza algún tipo de agricultura. La diversidad climática, aunada a la diversidad tecnológica y de condiciones socioeconómicas bajo las cuales se cultiva en México imponen diferentes grados de vulnerabilidad por riesgo climático a los sistemas de producción de la República Mexicana.

El cambio climático incrementa los niveles de vulnerabilidad de los sistemas de producción, y representa una amenaza para la producción de alimentos, ya que aumenta la frecuencia de fenómenos meteorológicos adversos como sequías, olas de calor, inundaciones, heladas, granizadas, vientos fuertes y otros.

## Cambio climático e insumos ambientales para plantas

Los insumos ambientales básicos para el crecimiento y desarrollo de las plantas son dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua, luz y temperatura.







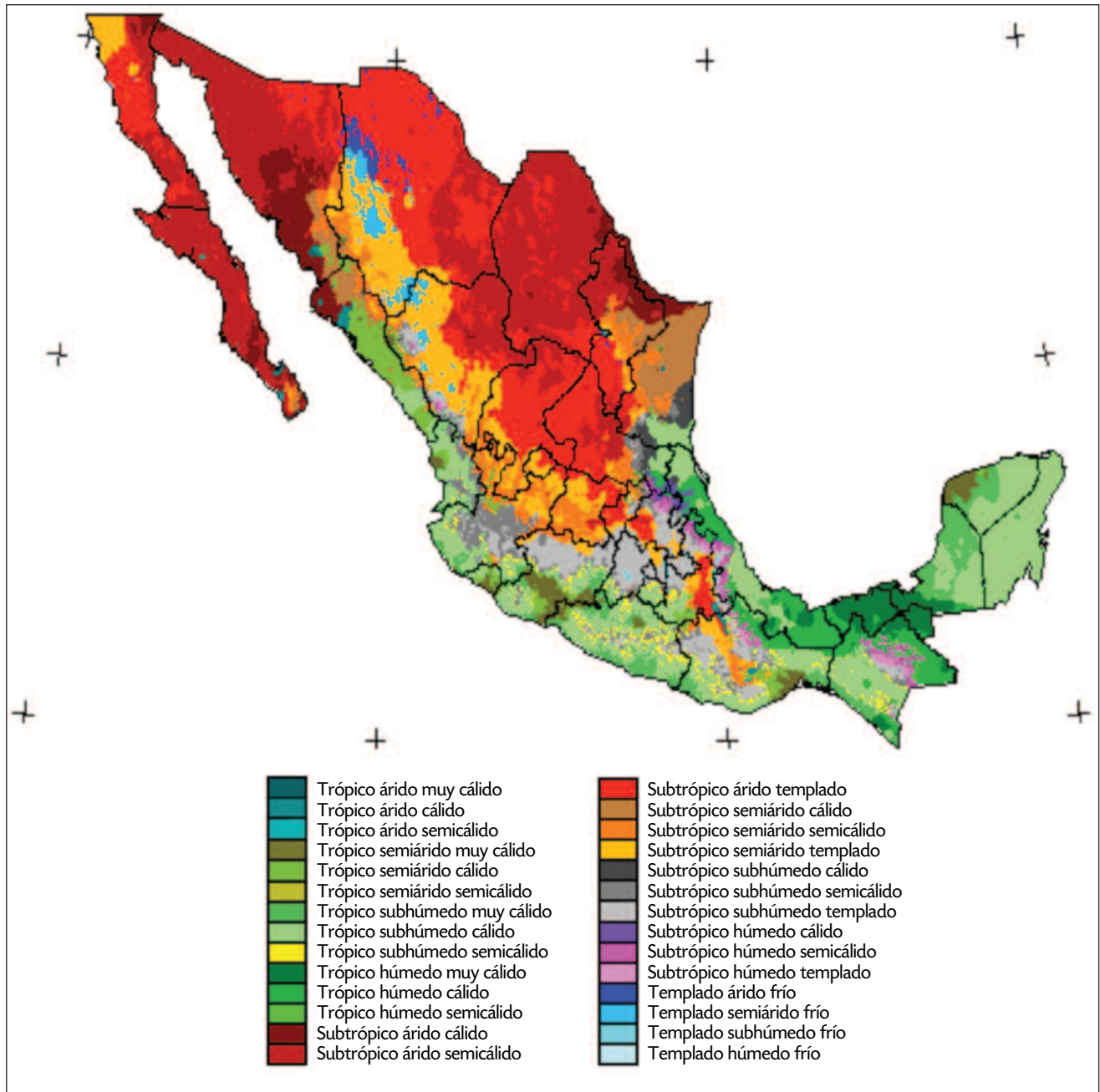


Figura 1. Ambientes climáticos de México (Medina y colaboradores, 1998).

El dióxido de carbono y la luz (radiación fotosintéticamente activa) son la materia prima para realizar la fotosíntesis, mediante la cual la planta transforma la energía luminosa en energía química, produciendo carbohidratos. El agua es un elemento fundamental para la vida de las plantas: más de tres cuartas partes de sus tejidos son agua. La actividad celular se reduce al mínimo cuando el agua escasea de manera significati-

va en el ambiente. La productividad de los cultivos está estrechamente asociada a la disponibilidad de humedad en los ambientes de producción. Por último, la temperatura es determinante en la sucesión y velocidad de las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en los laboratorios internos de las plantas. Determina la adaptación, distribución, crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ruiz y Regalado, 2012).

De estos cuatro insumos ambientales básicos para la planta, el agua y la temperatura son los que cambian de manera más dinámica durante un ciclo de producción. Por ello, esta variabilidad es la principal responsable de la diversidad interanual en el rendimiento de los cultivos.

El cambio climático que en la actualidad experimenta el planeta consiste básicamente en un calentamiento global derivado del incremento de gases efecto invernadero (principalmente CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, producto de las actividades del ser humano. Este cambio climático altera el suministro de los insumos ambientales para los cultivos.

En primer término, y con base en numerosos estudios, existe un consenso general de que las plantas presentan una respuesta positiva al incremento del CO<sub>2</sub>, que se manifiesta a través de un aumento en la fotosíntesis, la biomasa y el rendimiento económico de los cultivos (Tubiello y colaboradores, 2007). Se ha estimado que al aumentar al doble el contenido de CO<sub>2</sub>, en promedio, el rendimiento económico se incrementa 30 por ciento en especies de tipo fotosintético C<sub>3</sub> como el frijol y el trigo, y alrededor de 4 al 10 por ciento en especies de tipo fotosintético C<sub>4</sub>, como el maíz y la caña de azúcar (Hatfield y colaboradores, 2011; Izaurrealde y colaboradores, 2011; Ruiz y colaboradores, 2011a).

El incremento de la temperatura que trae consigo el cambio climático está produciendo distintos efectos en la agricultura. Por un lado, la mayor temperatura eleva las necesidades de agua de las plantas; y por el otro,

acelera el desarrollo de los cultivos, lo que acorta los ciclos de producción y con ello se reduce el rendimiento y la demanda de agua. El calentamiento del planeta disminuye la duración del periodo de heladas e incrementa la temperatura de regiones agrícolas templadas y semifrías, lo que permite ampliar su patrón de cultivos a especies de origen subtropical o tropical.

El cambio climático también se relaciona con una variación en los patrones de dirección de los vientos, con lo que se modifican los patrones de lluvia regional. En consecuencia, existen regiones, como las subtropicales, donde la tendencia predominante es la disminución de la cantidad de lluvia. En contraparte, otras regiones del planeta, como las templadas, mantienen una tendencia de lluvia a la alza. Estos mayores o menores niveles de precipitación pueden ser benéficos o perjudiciales, pero hasta hoy se ha observado que son mayormente perjudiciales. En regiones con menor precipitación, ha disminuido también el número de días con lluvia, y con ello se ha incrementado la disponibilidad de luz para los cultivos.

### Cambio climático en áreas agrícolas de México

El cambio climático tiene un carácter regional. Esto significa que no afecta a todas las regiones del mundo de la misma manera. A partir de la investigación de Ruiz y colaboradores (2011a), en el Cuadro 1 se muestra un aspecto de cómo se espera evolucionen,

**Cuadro 1.** Valores promedio de temperatura media y lluvia acumulada para el ciclo mayo-octubre en cinco zonas agrícolas de México y cuatro escenarios climáticos (Ruiz y cols., 2011a).

Periodo	Variable	Zona ecológica				
		Trópico	Subtrópico	Transición	Valles altos	Valles muy altos
1961-2003	Temperatura media (°C)	26.8	21.2	18.9	16.6	14.4
2011-2020	Temperatura media (°C)	27.6	21.9	19.7	17.4	15.1
2031-2040	Temperatura media (°C)	28.0	22.3	20.1	17.8	15.5
2051-2060	Temperatura media (°C)	28.7	23.1	20.9	18.5	16.2
1961-2003	Lluvia acumulada (mm)	948	752	603	680	774
2011-2020	Lluvia acumulada (mm)	905	725	581	652	745
2031-2040	Lluvia acumulada (mm)	912	727	584	657	752
2051-2060	Lluvia acumulada (mm)	906	723	578	649	740

en promedio, la temperatura y las lluvias en el periodo mayo-octubre (principal época de cultivo en México) durante la primera mitad del siglo XXI en las cinco regiones agrícolas del país, delimitadas de acuerdo con su altura sobre el nivel del mar.

Se puede apreciar que el calentamiento irá avanzando paulatinamente con relación al periodo de referencia 1961-2003, hasta alcanzar un incremento de 1.9 grados centígrados en la década 2051-2060 en las regiones trópico (0 a 1 200 metros sobre el nivel del mar), subtropical (1 200 a 1 900 metros) y valles altos (2 200 a 2 600 metros); mientras que en la región de transición (1 900 a 2 200 metros sobre el nivel del mar) se alcanzará un calentamiento de 2.0 grados centígrados, y en la región de valles muy altos (más de 2 600 metros) el incremento en la década 2051-2060 será de 1.8 grados centígrados.

Con relación a la precipitación o lluvia acumulada en el periodo mayo-octubre, en el mismo Cuadro 1 puede verse que en todas las regiones agrícolas la tendencia es a que ésta disminuya; se estima que para la década 2051-2060 habrá un decremento de 4.43, 3.86, 4.15, 4.56 y 4.39 por ciento en relación con la precipitación de 1961-2003 en las regiones trópico, subtropical, transición, valles altos y valles muy altos, respectivamente.

Los cambios de temperatura y precipitación descritos anteriormente para las zonas agrícolas de México se relacionan con efectos mayormente negativos sobre el desarrollo y productividad de los cultivos, debido a la menor disponibilidad de agua, el daño por altas temperaturas, los ciclos más cortos de cultivo, la mayor

presencia de plagas y enfermedades, y la reducción de áreas con condiciones óptimas para cultivos.

### Medidas de adaptación de la agricultura

De acuerdo con el consenso mundial, el cambio climático es un fenómeno difícilmente reversible, que más bien se intensificará en el futuro mediano. Por ello, una de las principales recomendaciones es desarrollar estrategias de adaptación.

Según los datos mostrados, la agricultura mexicana tendrá que adaptarse a una tendencia predominante de mayor temperatura y menos lluvia. De aquí que los sistemas de producción agrícola deberán tomar en cuenta este aspecto para modificar la tecnología con la que se producen los cultivos.

Dependiendo de la magnitud de estos cambios climáticos en las diferentes regiones, las opciones que el agricultor tendrá para adaptarse son: *a)* cambiar el patrón de cultivos, cuando el cultivo en uso ya no sea una opción productiva y rentable; *b)* cambiar el genotipo o variedad de siembra, cuando ésta ya no resulte adecuada a las nuevas condiciones climáticas; y *c)* adoptar prácticas de manejo tendientes a ahorrar agua y a conservar o mejorar el microclima o clima local de la parcela de producción.

En la primera opción es necesario realizar un nuevo análisis del potencial productivo agrícola del país con el objetivo de identificar cuáles son y serán las opciones recomendables de cultivo en cada una de las regiones agroecológicas.

En la segunda opción es obligado enfocar los esfuerzos a la generación de variedades con un mayor grado de tolerancia a altas temperaturas y condiciones de humedad más deficiente que las actuales en los campos de cultivo. Esta opción es actualmente considerada como una de las más inteligentes y adecuadas, y es a la que le están apostando mayormente los países del mundo.

La tercera opción está dirigida a revisar y corregir (si así se requiere) las prácticas de cultivo que se realizan para tratar de optimizar el uso del agua e intentar disminuir el impacto de las altas temperaturas. No olvidemos que así como el cambio climático modifica la



disponibilidad de estos insumos ambientales para la planta, también las prácticas agrícolas que se realizan alteran los niveles de humedad y temperatura en la parcela. Por ejemplo, las labores de preparación del suelo, labranza, fertilización, densidad de siembra y utilización de acolchados pueden modificar el contenido de humedad del suelo, mientras que la instalación de cortinas rompe-vientos, la aplicación de riego y en general la modificación del contenido de humedad del suelo, pueden alterar las condiciones de temperatura tanto del suelo como del aire para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

### Recursos genéticos y variedades adaptadas al cambio climático

Una de las opciones de adaptación de la agricultura al cambio climático en las que el ser humano puede intervenir de manera más determinante es la obtención de nuevas variedades que, a través del mejoramiento genético, resulten aptas para crecer y desarrollarse adecuadamente en condiciones de mayor estrés por calor o por sequía. Para cumplir con este propósito es necesario contar con genes de resistencia a estas condiciones climáticas adversas, los cuales pueden ser encontrados en poblaciones de plantas silvestres emparentadas con las especies cultivadas.

Tanto estas poblaciones de plantas silvestres como las plantas cultivadas pero no mejoradas genéticamente a través de métodos convencionales son consideradas como *recursos fitogenéticos*. En México afortunadamente se cuenta con una gran cantidad de ellos para dos de los cultivos más importantes, el maíz y el frijol, ya que nuestro país es considerado centro de origen y distribución de estas especies. Así, en nuestro territorio probablemente se encuentra el mayor reservorio de genes en el mundo para estas dos especies.

Ruiz y colaboradores (2011b) realizaron un estudio para clasificar las razas de maíz de México con el propósito de identificar cuáles se adaptan a condiciones de estrés por altas temperaturas y cuales a estrés por humedad deficiente. En el Cuadro 2 (p. 82) se describe el resultado de este estudio. Se pueden distinguir cuatro grupos de razas de maíz: el grupo I, integrado por razas adaptadas a altas temperaturas (estrés térmico) y



humedad adecuada, que se desarrollan con temperaturas máximas promedio de 31.8 grados centígrados, las cuales igualan o sobrepasan la temperatura umbral máxima de desarrollo (30 grados centígrados) de las variedades mejoradas de maíz. La precipitación y temperatura promedio mayo-octubre se ubican entre los 760 y 1 350 milímetros, y entre los 24.0 y 27.1 grados centígrados, respectivamente. El número de días promedio con temperatura superior a los 35 °C es de 35, mientras que el índice de humedad (IH) promedio (precipitación/ evapotranspiración potencial) mayo-octubre es de 1.05. El grupo II lo integran razas adaptadas a condiciones adecuadas tanto de temperatura como de humedad (condiciones de no estrés ambiental), ya que los promedios de temperatura máxima media y el IH se ubican en los 25.6 grados centígrados y 1.26, respectivamente.

En el grupo III se incluyen las razas que están adaptadas a ambientes que imponen tanto condiciones de estrés por alta temperatura como por deficiencia de hu-



**Cuadro 2. Clasificación de las razas mexicanas de maíz por su adaptabilidad ambiental (Adaptado de Ruiz y cols., 2011b).**

Grupo	Adaptabilidad	Razas	Grupo	Adaptabilidad	Razas
I	Alta temperatura y humedad adecuada	Vandéño	II	Temperatura y humedad adecuadas	Ancho
		Zapalote grande			Pepitilla
		Olotillo			Tepecintle
		Cubano amarillo			Olotón
		Dzit Bacal			Nal Tel de altura
		Tuxpeño			Coscomatepec
		Zapalote chico			Tehua
		Nal Tel			Comiteco
		Conejo			Palomero toluqueño
		Tabloncillo perla			Cacahuacintle
		Reventador			Arrocillo
		Jala			Mushito
		Tabloncillo			Elotes cónicos
		Bofo			Cónico
		Bolita			
III	Alta temperatura y humedad deficiente	Chapalote	IV	Temperatura adecuada y humedad deficiente	Zamorano amarillo
		Tuxpeño norteño			Elotes occidentales
		Ratón			Chalqueño
		Dulcillo del Noroeste			Dulce
		Onaveño			Gordo
		Blando de Sonora			Apachito
		Elotero de Sinaloa			Cristalino de Chihuahua
		Palomero de Chihuahua			
		Azul			
		Tablilla de ocho			
		Cónico norteño			
		Celaya			

medad, ya que seis de siete razas completan su ciclo de madurez con una precipitación acumulada promedio durante el temporal de 416 a 635 milímetros. Ello ocasiona que estas razas se desarrollen en un IH promedio de 0.44 a 0.64; es decir, que varía desde una condición semiárida hasta un régimen subhúmedo-seco.

Además, se desarrollan bajo una condición muy cálida, dada por una temperatura media del ciclo mayor a 26 grados centígrados y una temperatura máxima promedio mayor a 32.6 grados centígrados.

Por último, el grupo IV está conformado por razas adaptadas a una humedad deficiente pero a temperatura adecuada. Se desarrollan bajo una temperatura máxima promedio del ciclo de 27 grados centígrados. Nueve de 12 razas completan su ciclo de desarrollo con 601 milímetros y un IH de 0.68, en promedio. Más

aún, cuatro de las 12 razas que integran este grupo completan su ciclo de madurez con menos de 500 milímetros.

Con respecto al frijol, López y colaboradores (2005) caracterizaron los hábitats de poblaciones silvestres de diversas especies de frijol, concluyendo que las especies que habitan en regiones de menor precipitación son *Phaseolus filiformis*, *P. grayanus*, *P. maculatus*, *P. neglectus*, *P. polymorphus* y *P. ritensis*, las cuales se distribuyen en tipos climáticos con precipitación inferior a 600 milímetros durante el ciclo de lluvias, e inferior a 135 milímetros en el periodo noviembre-abril.

Estas especies podrían ser consideradas adaptables a condiciones de aridez, sobre todo *P. filiformis*, que se encontró en áreas con menos de 105 milímetros de lluvia en verano y menos de 80 milímetros en invierno.

En relación con la tolerancia a altas temperaturas, López y colaboradores (2005) reportan que las especies adaptadas a climas cálidos (temperatura media de 22 a 26 grados centígrados) son *Phaseolus acutifolius*, *P. filiformis*, *P. micranthus* y *P. microcarpus*, y que la única especie adaptada a climas muy cálidos (temperatura media mayor a 26 grados centígrados) es *P. lunatus*.

## Conclusiones

El cambio climático es un fenómeno actual que se incrementará en el futuro cercano, y que tiene carácter regional.

La tendencia predominante del cambio climático en México es hacia un aumento de temperatura y una disminución de los volúmenes de lluvia. Esto tiene diversos impactos sobre los sistemas de producción agrícola del país. En términos generales, se traduce en menor disponibilidad de agua para las plantas, daño por altas temperaturas, ciclos más cortos de cultivo, mayor presencia de plagas y enfermedades, y reducción de áreas con condiciones óptimas para cultivos.

Los efectos positivos del calentamiento que trae consigo el cambio climático se centran básicamente en una estación libre de heladas más larga, que permitirá realizar agricultura en zonas templadas y semifrías.

El cambio climático es un fenómeno difícilmente reversible, que más bien se intensificará en el futuro mediato, por lo que una de las principales recomendaciones para la agricultura mexicana es desarrollar estrategias de adaptación. Las áreas agrícolas de temporal en México tendrán que adaptarse a un escenario predominante de más temperatura y menos agua. De aquí que las tecnologías de producción actuales y futuras deberán cumplir con este prerequisite.

Una de las opciones de adaptación más aceptadas y buscadas en la actualidad es la generación de variedades adaptadas a ambientes que imponen estrés por calor y falta de humedad. Se estima que existe una reserva de genes para formar estas variedades en los recursos fitogenéticos que constituyen los parientes silvestres de las especies cultivadas.

Dado que México es considerado centro de origen y distribución del maíz y frijol, constituye un reservorio importante de genes para estos propósitos, lo cual

ya se ha empezado a aprovechar a través de estudios de adaptabilidad a estrés por calor y sequía en razas de maíz y especies silvestres de frijol.

**José Ariel Ruiz Corral** es ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Guadalajara, con maestría por el Colegio de Postgraduados y doctorado por la Universidad de Guadalajara. Ha trabajado 29 años en el Programa de Agrometeorología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, y es profesor en la Universidad de Guadalajara, donde imparte el curso de Meteorología y Climatología. Ha desarrollado proyectos de investigación en climatología, agrometeorología, cambio climático y ecofisiología de cultivos, así como geomática aplicada a la agricultura. Ha realizado asesorías para la Organización Meteorológica Mundial y ha publicado 49 artículos en revistas indizadas nacionales e internacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.  
ruiz.ariel@inifap.gob.mx

## Lecturas recomendadas

- Hatfield, J. L., K. J. Boote y colaboradores (2011), "Climate impacts on agriculture: implications for crop production", *Agron. J.*, 103:351-370.
- Izaurrealde, R. C., A. M. Thomson y colaboradores (2011), "Climate impacts on agriculture: implications for forage and rangeland production", *Agron. J.*, 103:371-381.
- López, S. J. L., J. A. Ruiz y colaboradores (2005), "Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus spp.*) en la República Mexicana", *Revista fitotecnia mexicana*, 28(3):221-230.
- Medina, G. G., J. A. Ruiz y R. A. Martínez (1998), *Los climas de México: una estratificación ambiental basada en el componente climático*, libro técnico núm. 1, Guadalajara, INIFAP/CIRPAC/Conexión gráfica.
- Ruiz, J. A., G. Medina y colaboradores (2011a), "Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz de México", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2):309-323.
- Ruiz, J. A., J. L. Ramírez y colaboradores (2011b), "Razas mexicanas de maíz como fuente de germoplasma para la adaptación al cambio climático", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2):365-379.
- Ruiz, J. A. y J. R. Regalado (2012), "Cambio climático y su impacto sobre la producción de alimentos de origen agrícola", en *Jalisco en el mundo contemporáneo: aportaciones para una enciclopedia de la época* (en prensa).
- Tubiello, F. N., J. F. Soussana y S. M. Howden (2007), "Crop and pasture response to climate change", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104:19686-19690.