

Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz

Potential impacts of climate change on maize production

Ramiro Ahumada Cervantes^{1*}, Gilberto Velázquez Angulo²,
Edith Flores Tavizón², Jaime Romero González²

Ahumada Cervantes, R., Velázquez Angulo, G., Flores Tavizón, E., Romero González, J.,
Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*
de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Número 61: 48-53, enero-abril 2014.

RESUMEN

Los efectos del cambio climático (CC) ya se están observando a nivel mundial. Se estima que como consecuencia de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, es posible que se presente un aumento de la temperatura y mayor variabilidad de la precipitación que afecta la agricultura y con ello, la seguridad alimentaria del planeta. El cultivo de maíz podría ver disminuida seriamente su producción debido a los efectos adversos del CC. En el presente trabajo se expone una revisión de los estudios realizados con este cultivo; se encuentra que en la mayoría de las regiones del mundo el rendimiento de maíz disminuirá para finales del Siglo XXI bajo diferentes escenarios de emisiones de GEI; principalmente, por incremento de la temperatura y disminución de la precipitación. Estos efectos adversos podrían amortiguarse con el mejoramiento constante de la tecnología agrícola y con la adopción de medidas de adaptación eficientes.

Palabras clave: cambio climático, maíz, seguridad alimentaria, agricultura, temperatura, precipitación.

Keywords: climate change, maize, food security, agriculture, temperature, precipitation.

Recibido: 25 de abril de 2013, aceptado: 26 de febrero de 2014

¹ Doctorado en Ciencias en Ingeniería, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

² Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

* Autor para correspondencia: ramiroac2002@yahoo.com.mx

ABSTRACT

The effects of climate change (CC) are already being observed worldwide. It is estimated that in consequence of the accumulation of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere, an increase in temperature and greater variability of the precipitation affecting agriculture and food security may occur. Maize production may be diminished due to adverse effects of CC. This review study indicates that in most regions of the world, maize yield will be reduced by the end of the XXI century, under different scenarios GHG, mainly by increasing temperature and decreasing precipitation. These adverse effects could be attenuated by constant improvement of agricultural technology and the adoption of effective adaptation measures.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) que actualmente experimenta el planeta es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, como consecuencia de la alteración en la composición de la atmósfera, en conjunto con la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (CMNUCC, 1992). El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar (IPCC, 2007). Dependiendo del tipo de desarrollo que se adopte, para finales del presente siglo habrá un aumento de la temperatura promedio del planeta de entre 1.1°C y 6.4°C (IPCC, 2007; Conde et al., 2008).

A consecuencia de los cambios en la temperatura, es muy probable que la precipitación aumente en latitudes altas, y disminuya en la mayoría de las regiones subtropicales. La agricultura, que en gran medida depende de las variaciones de temperatura y precipitación, resultará afectada en latitudes medias (IPCC, 2007), lo que resalta la necesidad de evaluar el impacto real del CC en el sector, ya que los escenarios de crecimiento de la población y los patrones de consumo de alimentos indican que la producción agrícola tendrá que aumentar 70% para el año 2050, con el fin de satisfacer la demanda mundial de alimentos (FAO, 2013). Sin embargo, el impacto del CC podría limitar esta producción y amenazar la seguridad alimentaria del planeta, definida como una situación que existe cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades y preferencias alimenticias para llevar una vida activa y sana (FAO, 2008).

En países como México, el maíz está muy ligado a la cultura y a los hábitos alimenticios, además, es el cereal más utilizado para la alimentación en el planeta (Kato, Mapes y Mera, 2009; Arlsan, 2011), y es un recurso genético de suma importancia para la seguridad alimentaria (Ureta, Martínez, Perales y Álvarez, 2012). En total, 59 razas y miles de variedades han sido reconocidas en México, estas razas se han adaptado a las diferentes condiciones climáticas y con diversos usos (Ureta et al., 2012). Sin embargo, las proyecciones del clima futuro obligan a estudiar el posible comportamiento de este cultivo bajo las nuevas condiciones, por tal razón el objetivo del presente trabajo es analizar el impacto potencial del CC en la producción de maíz.

Los factores ambientales y su relación con el cultivo de maíz

La disponibilidad y captación de la radiación solar, el agua y los nutrientes son factores básicos para el crecimiento de la planta de maíz y su supervivencia. El incremento de temperatura provoca problemas en la polinización (Kumar et al., 2011; Ojeda, Sifuentes, Iñiguez y Montero, 2011), incremento de la respiración, disminución de la fotosíntesis (Ramos, Castro, López, Briones y Huerta, 2009; Ojeda et al., 2011), reducción de las etapas de desarrollo y en consecuencia la disminución del ciclo fenológico del maíz (Ramos et al., 2009; Yuan, Enli, Xiaoguang y Jing, 2010; Kumar et al., 2011; Ojeda et al., 2011; Zarazúa, 2011); mientras que temperaturas bajas detienen o reducen su crecimiento y desarrollo (Stöckle et al., 2010).

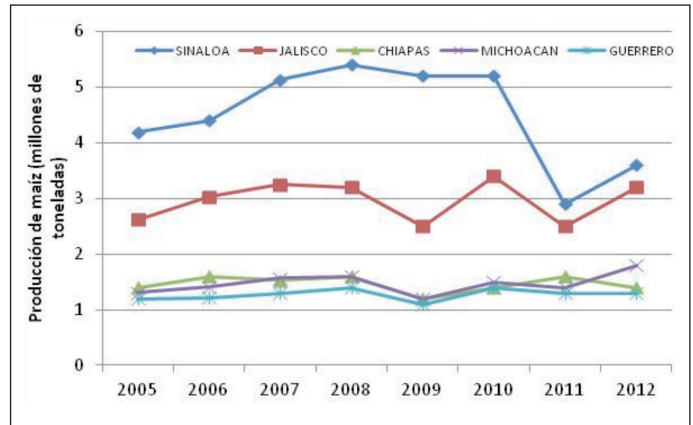


Figura 1. Estados con mayor producción de maíz blanco en el periodo 2005-2012. Elaborado con información del SIAP (2013).

El estrés hídrico afecta negativamente procesos fisiológicos como el crecimiento celular, la síntesis de proteínas, el cierre estomático, la asimilación de dióxido de carbono (CO_2), la respiración, entre otros (Azcón y Talón, 2008). Las plantas terrestres se pueden clasificar en tres tipos fotosintéticos: C_3 , C_4 y CAM. La vía C_4 involucra mecanismos especializados que permiten a las plantas adaptarse a zonas donde existe una limitada disponibilidad de agua, ya que evolutivamente han desarrollado estrategias para reducir el proceso de fotorrespiración. El maíz es el cultivo C_4 más importante del mundo (Cody, Strellner y Leakey, 2012). Autores como Hatfield et al. (2011) e Izaurre et al. (2011), estimaron que en especies C_4 , al incrementar al doble el contenido de CO_2 , el rendimiento se incrementa alrededor de 10%; sin embargo, algunas investigaciones en cultivos de maíz han concluido que este beneficio es casi nulo (Stöckle et al., 2010; Sindhu, 2011; Cody et al., 2012).

Panorama mundial del efecto del cambio climático en la producción de maíz

Los efectos del CC en cultivos agrícolas han sido ampliamente estudiados, sobre todo en cereales como maíz, trigo y arroz. Las proyecciones de rendimiento de cultivos se realizan para diferentes periodos de tiempo; corto, mediano y largo plazo y bajo diferentes escenarios de emisiones de GEI (A_2 corresponde a un escenario de emisiones altas, B_2 a uno de emisiones medio bajas y B_1 a uno de emisiones bajas), los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro (IPCC, 2000). El maíz es el cereal más utilizado para la alimentación en el planeta (Kato et al., 2009; Arlsan, 2011) y, por tanto, de los más estudiados. En este sentido, Lobell

et al. (2008) menciona que para el año 2030 el rendimiento de maíz en el sur del Sahara se reducirá 30%, en comparación con la producción de 1990. En Sudáfrica, cada disminución del 1% en la precipitación es probable que conduzca a una disminución de 1.1% en la producción de este cultivo (Blignaut, Ueckermann y Aronson, 2009). En Egipto, El Afandi, Khalil y Ouda (2010) proyectaron una reducción del rendimiento de maíz de alrededor del 56% para el año 2038, bajo el escenario A_2 .

El CC puede inducir para 2050 una reducción del 13% en el rendimiento neto de maíz en China, sin el efecto de fertilización por CO_2 según Xiong et al. (2008); mientras que Tao y Zhang (2011) reportan disminución de hasta 32% en el rendimiento de maíz irrigado y 33.7 en maíz de temporal, con un aumento de temperatura de $3^\circ C$; si se agrega el efecto de fertilización por CO_2 la disminución es de 26.6% y 25.9%, respectivamente. En la India Byjesh, Kumar y Aggarwal (2010) proyectan para 2080, bajo el escenario A_2 , que el rendimiento del maíz se reduzca hasta 35% en la meseta sur, mientras que en invierno la reducción sería de hasta 55% en las llanuras medias del Indo-Ganges.

En 2003, las temperaturas medias de Europa aumentaron $6^\circ C$ más de lo normal. Esto dio como resultado que el rendimiento del maíz en Italia disminuyera 36% (FAO, 2008). Un ejemplo en el aumento del rendimiento de maíz es Francia, debido a la combinación de tecnologías mejoradas, variedades de cultivos más resistentes y productivos, y a los efectos de la fertilización de CO_2 . Hawkins et al. (2013) en su estudio concluyeron que el rendimiento aumentó gradualmente de 0.25 kg/m^2 a 0.97 kg/m^2 en los últimos 40 años; en el periodo 1991-2010, el rendimiento promedio de maíz fue de 0.92 kg/m^2 y para el periodo 2016-2035 proyectan que la producción podría oscilar de 0.88 kg/m^2 a 0.93 kg/m^2 , si la tecnología se mantiene al mismo nivel.

En los Estados Unidos el rendimiento de maíz para 2070-2099 disminuirá 43% a nivel nacional, bajo el escenario B_2 , y 79% bajo el escenario A_2 , sin los efectos de fertilización de CO_2 (Schlenker y Roberts, 2008). Para el sureste habrá un declive en la producción de 1% a 20% en aproximadamente el 80% de la región (Chhetri, Easterling, Terando y Mearns, 2010) y en California, Medellín, Howitt, MacEwan y Lund (2011) proyectaron para el año 2050 una reducción de 22.9% en la producción de este mismo cultivo. En contraste, en Brasil se espera que los rendimientos

de maíz aumenten 25% bajo las nuevas condiciones climáticas que se proyectan para la región en el futuro (UNDP, 2007/2008).

Efectos del cambio climático en el cultivo de maíz en México

México tiene un territorio nacional de 198 millones de hectáreas, de las cuales cerca de 30 millones son tierras de cultivo (FAO, 2009). En la actualidad 77% de la superficie territorial del país es apto para el cultivo de por lo menos una raza de maíz. Sin embargo, las proyecciones para 2030 indican que 43 de 47 razas presentes en México mostraron una disminución en sus áreas de distribución potencial y cuatro presentaron un incremento; mientras que para 2050, 44 redujeron sus áreas y sólo 3 las aumentaron, esto bajo el escenario A_2 . Con el escenario B_1 , los incrementos se detectaron en 6 razas en 2030 y en 4 en 2050 (Ureta et al., 2012). Ruiz et al. (2011) reportan reducción de la superficie con condiciones agroclimáticas óptimas para la producción de maíz en las zonas de trópico, subtropical y transicional y un incremento de esta superficie en valles altos y valles muy altos, según sus proyecciones para los periodos 2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060.

La Figura 1 muestra los estados con mayor producción de maíz blanco durante el periodo 2005-2012, en donde Sinaloa es el principal productor, seguido de Jalisco. Bajo este escenario, es preponderante que se realicen los estudios necesarios de vulnerabilidad y adaptación a los efectos del CC, principalmente en estos estados.

En este orden de ideas, se tiene para Jalisco un modelaje al año 2050 de Tinoco, Gómez y Monterroso (2011), en el cual se proyecta un incremento en la superficie no apta para el cultivo de maíz de 90.8% en el peor de los escenarios y de 63.6% en el escenario más benévolo. Las zonas centro, norte y este del estado son las que registran los cambios de mayor magnitud. Por su parte Zarazúa, Ruiz, González, Flores y Ron (2011) mencionan que bajo el escenario A_2 , ciclo primavera-verano en la región Ciénaga de Chapala, Jalisco, para finales del Siglo XXI se tendrán incrementos considerables en temperaturas máximas, medias y mínimas e incremento del número de días con temperaturas mayores al umbral del cultivo de maíz, lo que provoca que las plantas experimenten mayores lapsos de tiempo bajo estrés térmico, con un acortamiento del ciclo fenológico del cultivo y con disminución en la demanda hídrica de las plantas.



Figura 2. Cultivos de maíz ciclo otoño-invierno 2013-2014 en el ejido El Amole, Guasave, Sinaloa. Imagen de Ramiro Ahumada Cervantes.

Magaña (2010) reporta que algunas zonas del centro de Guanajuato y Querétaro perderán posibilidades de mantener cultivos de maíz de temporal, debido a una reducción de 5% a 10% en la precipitación para el periodo 2030-2050. En Durango, Sánchez et al. (2012) indican que bajo condiciones de CC al año 2020 habrá un incremento en la precipitación, cuyo impacto se verá reflejado en el aumento del rendimiento del maíz en 0.3 t ha^{-1} , siempre y cuando se realice un ajuste en las fechas de siembra para aprovechar al máximo la presencia de lluvias. Por último, las proyecciones para finales del presente siglo en el Distrito de Riego 075 (Río Fuerte) en Sinaloa (Figura 2), indican reducción del ciclo fenológico del maíz provocando la disminución en su rendimiento (Ojeda et al., 2011).

Análisis de los impactos del cambio climático en el cultivo de maíz

El incremento de la temperatura es uno de los principales factores que influirán en el rendimiento del maíz a futuro; como se mencionó anteriormente, esta condición afecta su fisiología, acelera las etapas de desarrollo del cultivo, reduce su ciclo fenológico y, por tanto, su rendimiento. Estos aspectos han sido citados y documentados en la mayoría de las investigaciones descritas líneas arriba (Byjesh et al., 2010; El Afandi et al., 2010; Magaña, 2010; Ruiz et al., 2011; Zarazúa et al., 2011; Hawkins et al., 2013). Las mayores afectaciones se presentarán en regiones agroecológicas localizadas en latitudes medias (IPCC, 2007). Debido a las altas temperaturas las regiones semiáridas y

áridas mostrarán aumento de la evapotranspiración (Ojeda et al., 2011; Ruiz et al., 2011) y menor humedad del suelo (Magaña, 2010; Ruiz et al., 2011; Tinoco et al., 2011) con estación de crecimiento más corta y disminución de las áreas aptas para el cultivo. Sin embargo, en latitudes templadas el incremento de temperatura generará aumento de la superficie agrícola, con periodos de crecimiento más largos y mayor rendimiento, siempre y cuando el aumento de temperatura no sea mayor a 3°C (IPCC, 2007). En valles altos, la reducción del periodo libre de heladas y el aumento de la temperatura incrementarán la superficie óptima para maíz, así como su rendimiento (Ruiz et al., 2011).

El aumento de la temperatura combinado con el del CO_2 podría incrementar las plagas, malezas y enfermedades; sin embargo, sus interacciones aún no están bien entendidas. Dichos aspectos son mencionados por autores como: IPCC (2007) y Ruiz et al. (2011); desafortunadamente, ningún artículo incluido en la presente revisión analiza el tema a detalle.

Diversos autores señalan que la agricultura de temporal es más vulnerable a los cambios en las condiciones climáticas que la agricultura de riego (Blignaut et al., 2009; Sánchez et al., 2012; Hawkins et al., 2013). Una razón por la que el rendimiento de maíz se ha incrementado en los últimos años, es precisamente debido al aumento de las zonas agrícolas bajo riego (Byjesh et al., 2010; Hawkins et al., 2013). Sin embargo, el maíz en condiciones de riego podría verse afectado a futuro por el CC debido a la disminución de agua en los embalses, ya que la agricultura es la actividad que consume mayor cantidad de agua en el planeta (Blignaut et al., 2009; Sánchez et al., 2012). En México, aproximadamente el 81% de la superficie sembrada con maíz es de temporal y su siniestralidad es cinco veces mayor que la de riego (SIAP, 2013), esta situación demuestra que el maíz de temporal es más vulnerable a la variabilidad en las condiciones climáticas.

Entre las medidas de adaptación más utilizadas y/o recomendadas por los autores consultados se encuentran: el uso de nuevas variedades adaptadas a las nuevas condiciones climáticas (Byjesh et al., 2010; Yuan et al., 2010; Ojeda et al., 2011; Tao y Zhang, 2011); movimiento en las fechas de siembra, adelantándola o atrasándola (Byjesh et al., 2010; El Afandi et al., 2010; Tao y Zhang, 2011; Sánchez et al., 2012) y ajustes en el calendario de riego (El Afandi et al., 2010; Tao y

Zhang, 2011). Todas las medidas aplicadas resultaron eficientes para mantener el rendimiento del cultivo de maíz en condiciones de CC.

CONCLUSIONES

En los últimos 50 años la producción de maíz se incrementó debido al mejoramiento de la tecnología agrícola y al aumento de la agricultura de riego. Los mayores impactos del incremento de la temperatura y de la variabilidad de la precipitación en el cultivo de maíz son la reducción del rendimiento, por la afectación en las etapas de desarrollo del cultivo, así como la disminución de las áreas aptas para el desarrollo del cultivo bajo condiciones de temporal. A corto plazo los efectos del CC son mínimos; existen regiones donde la producción podría mantenerse

o incrementarse (latitudes templadas y valles altos). Otras afectaciones podrían derivarse del incremento de plagas, malezas y enfermedades; sin embargo, sus interacciones aún no están bien entendidas. La implementación de medidas de adaptación ha resultado ser efectiva para mantener la productividad del maíz en condiciones de CC. En el caso de México, Jalisco es de los estados en los que más se han estudiado los efectos del CC en la producción de maíz de temporal y para Sinaloa, que es el estado con mayor producción de maíz blanco en condiciones de riego, sólo se encontró un estudio sobre esta temática, por lo que es preponderante que se desarrollen más estudios al respecto por su importancia a nivel nacional en la producción de maíz, que es base de la alimentación de los mexicanos.

LITERATURA CITADA

- ARLSAN, A. Shadow vs. market prices in explaining land allocation: subsistence maize cultivation in rural Mexico. *Food Policy*, 36, 606-614, 2011.
- AZCÓN, J. y TALÓN, M. *Fundamentos de fisiología vegetal*. (2a. ed.). España: McGraw-Hill, 651pp., 2008.
- BLIGNAUT, J., UECKERMANN, L., y ARONSON, J., Agriculture production's sensitivity to changes in climate in South Africa. *South African Journal of Science*, 105(1/2): 61-68, 2009.
- BYJESH, K., KUMAR, S., y AGGARWAL, P. Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15, 413-431, 2010.
- CODY, R. J., STRELLNER, R. S., y LEAKEY, A. B. Impairment of C_4 photosynthesis by drought is exacerbated by limiting nitrogen and ameliorated by elevated $[CO_2]$ in maize. *Journal of Experimental Botany*, 62(11): 3235-3246, 2012.
- CHHETRI, N., EASTERLING, B., TERANDO, W., y MEARN, L. Modeling path dependence in agricultural adaptation to climate variability and change. *Annals of The Association of American Geographers*, 100(4): 894-907, 2010.
- CONDE, C., GAY, C., ESTRADA, F., FERNÁNDEZ, A., LÓPEZ, F., LOZANO, M. et al. *Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional*. Primera Versión. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 104pp., 2008.
- EL AFANDI, G., KHALIL, A., y OUDA, S. Using irrigation scheduling to increase water productivity of wheat-maize rotation under climate change conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3): 474-484, 2010.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *Climate change and food security: A framework document*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *La FAO en México, más de 60 años de cooperación 1945-2009*. México: Representación de la FAO en México, 368 pp., 2009.
- HATFIELD, J. L., BOOTE, K. J., KIMBALL, B. A., ZISKA, L. H., IZAURRALDE, R. C., ORT, D. et al. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103(2): 351-370, 2011.
- HAWKINS, E., RICKER, T., CHALLINOR, A., FERRO, C., HO, C., y OSBORNE, T. Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s. *Global Change Biology*, 19(3): 937-947, 2013.
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). *Escenario de Emisiones: Resumen para responsables de políticas*. Ginebra, Suiza, 2000.
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). *Cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza, 104 pp., 2007.
- IZAURRALDE, R. C., THOMSON, A. M., MORGAN, J. A., FAY, P. A., POLLEY, H. W., y HATFIELD, J. L. Climate impacts on agriculture: implications for forage and rangeland production. *Agronomy Journal*, 103(2): 371-381, 2011.
- KATO, T. A., MAPES, C., y MERA, L. M. *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. México: Universidad

- Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2009.
- KUMAR, S., AGGARWAL, P., RANI, S., JAIN, S., SAXENA, R., y CHAUHAN, N. Impact of climate change on crop productivity in Western Ghats, Coastal and Northeastern Regions of India. *Current Science*, 101(3): 332-341, 2011.
 - LOBELL, D., BURKE, M., TEBALDI, C., MASTRANDREA, M. D., FALCON, W. P., y NAYLOR, R. L. *Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030*. *Science*, 319(5863): 607-610, 1 February 2008.
 - MAGAÑA, V. *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. México: INE-UNAM, 89pp., 2010.
 - MEDELLÍN, J., HOWITT, R., MACEWAN, D., y LUND, J. Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Climatic Change*, 109(1): 387-405, 2011.
 - OJEDA, W., SIFUENTES, E., ÍÑIGUEZ, M., y MONTERO, M. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1): 1-11, 2011.
 - RUIZ, J. A., MEDINA, G., MANRÍQUEZ, J. D., y RAMÍREZ, J. L. *Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático*. Jalisco, México: INIFAP-INE, 108 pp., 2010.
 - RUIZ, J., MEDINA, G., RAMÍREZ, J., FLORES, H., RAMÍREZ, G., MANRÍQUEZ, J. et al. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Esp. Núm. 2, 309-323, 2011.
 - SÁNCHEZ, I., INZUNZA, M., CATALÁN, E., GONZÁLEZ, J., GONZÁLEZ, G., y VELÁSQUEZ, M. Variabilidad climática y productividad agrícola en zonas con errático régimen pluvial. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4): 805-811, 2012.
 - SINDHU, J. S. Potential impacts of climate change on agriculture. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(3): 348-353, 2011.
 - STÖCKLE, C., NELSON, R., HIGGINS, S., BRUNNER, J., GROVE, G., BOYDSTON, R. et al. Assessment of Climate Change Impact on Eastern Washington Agriculture. *Climatic Change*, 102(1-2): 77-102, 2010.
 - TAO, F. y ZHANG, Z. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, 105(3-4): 409-432, 2011.
 - TINOCO, J., GÓMEZ, J., y MONTERROSO, A. Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el Estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 29(2): 161-168, 2011.
 - UNDP (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM). *Human Development Report. Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World*. 2007/2008.
 - URETA, C., MARTÍNEZ, E., PERALES, H. R., y ÁLVAREZ, E. R. Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology*, 18(3): 1073-1082, 2012.
 - XIONG, W., CONWAY, D., XU, Y. L., JINHE, J., JU, H., y LIN, E. D. The Impacts of Climate Change on Chinese Agriculture. In *Phase II National level study: the Impacts of Climate Change on Cereal Production in China*. Final Report. 2008.
 - YUAN, L., ENLI, W., XIAO GUANG, Y., y JING, W. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biology*, 16(8): 2287-2299, 2010.
 - ZARAZÚA, P. *Evaluación del cambio climático y sus impactos sobre los cultivos de trigo, maíz y agave de la Región Ciénega de Chapala (análisis retrospectivo y análisis prospectivo)*. Tesis doctoral. Jalisco, México: Universidad de Guadalajara-CUCBA, 188 pp., 2011.
 - ZARAZÚA, P., RUIZ, J., GONZÁLEZ, D., FLORES, H., y RON, J. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Esp. Núm. 2, 351-363, 2011.
- ### De páginas electrónicas
- CMNUCC (CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). 1992. De: http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php. 20 ene. 2013.
 - FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). *Climate-Smart Agriculture*. De: http://www.fao.org/index_es.htm. 12 feb. 2013.
 - RAMOS, V. H., CASTRO, S., LÓPEZ, J. A., BRIONES, F., y HUERTA, J. Impacto del estrés hídrico y la temperatura alta sobre plantas cultivadas: el caso del maíz (*Zea mays* L.) en Tamaulipas. *Revista Digital Universitaria*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2009. De: <http://www.turevista.uat.edu.mx>. 20 ene. 2013.
 - SCHLENKER, W. y ROBERTS, M. *Estimating the impact of climate change on crop yields: the importance of nonlinear temperature effects*. Working Paper 13799, National Bureau of Economic Research, Cambridge. 2008. De: <http://www.nber.org/papers/w13799>. 12 feb. 2013.
 - SIAP (SISTEMA DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA). *Producción agrícola*. De: <http://www.siap.gob.mx>. 12 abr. 2013.