

# MODELOS DE LAS ZONAS ADECUADAS DE ADAPTACIÓN DEL TEJOCOTE (*Crataegus mexicana* DC.) POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO<sup>1</sup>

Carlos A. Núñez-Colín<sup>2</sup>, Diana Escobedo-López<sup>2</sup>, Miguel Á. Hernández-Martínez<sup>2</sup>, Carlos Ortega-Rodríguez<sup>3</sup>

## RESUMEN

**Modelos de las zonas adecuadas de adaptación del tejocote (*Crataegus mexicana* DC.) por efecto del cambio climático.** El objetivo de este trabajo fue determinar el posible desplazamiento de *Crataegus mexicana* DC. de las actuales zonas de adaptación, por efecto del cambio climático. Se hicieron dos modelos de zonas adecuadas de adaptación con los datos climáticos actuales y los del modelo CCM3, que predice el posible cambio climático al 2050. La modelación con los datos climáticos actuales muestra condiciones de adaptación que van de buenas a excelentes en las zonas de cultivo en el centro de México, así como condiciones similares para zonas del Eje Volcánico Transmexicano, Altiplano Mexicano, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur. También presentó zonas con adaptación limitada en el noreste, noroeste y sur del país. En contraste, con el modelo CCM3 se mejoran las condiciones de muy buenas a excelentes, del Eje Volcánico Transmexicano incluyendo las actuales zonas de cultivo y en otras regiones del país. Por lo tanto, el tejocote se verá afectado de manera positiva por el cambio de la temperatura y la lluvia hacia el 2050, lo que podría ocasionar que se incremente su superficie cultivada.

**Palabras clave:** Frutales nativos de México, cambio climático mundial, sistemas de información geográfica.

## ABSTRACT

**Modeling of the suitable areas of adaptation of tejocote (*Crataegus mexicana* DC.) by global climatic change.** The objective of this research was to determine the possible displacement of *Crataegus mexicana* DC from its current adaptation zones due to the influence of climate change. Two models of suitable growing areas were constructed, one using current climate data and the second using data of the CCM3 model, which predicted the possible climate change to 2050. The model with current climatic data showed that the current growing areas of central Mexico have high to excellent growing conditions, as similar areas of the Transmexican Volcanic Axis, Mexican Plateau, Sierra Madre Oriental, and Sierra Madre del Sur. This model also showed limited adaptation areas on the northeast, northwest and south of the country. In contrast, with the CCM3 model the Transmexican Volcanic Axis, including the current growing areas, improved the conditions from very high to excellent, and improved conditions for cultivation in this and other regions of the country. Therefore, the tejocote will be positively affected by the change in temperature and rainfall to 2050, which could result in an increase in the area dedicated to this crop.

**Key words:** Mexican native fruits, global climate change, geographical information systems.



<sup>1</sup> Recibido: 16 de febrero, 2012. Aceptado: 9 de octubre, 2012. Proyecto "Metodologías para predecir el cambio climático" del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México.

<sup>2</sup> Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km. 6.5 Carretera Celaya – San Miguel de Allende. Apartado Postal 112. Celaya, 38010, Guanajuato, México. lit007a@gmail.com; escobedo.diana@inifap.gob.mx; mielliot03@gmail.com

<sup>3</sup> Plantel San Felipe, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Prolongación 5 de Mayo S/N, Contiguo a la Colonia Florida, San Felipe, 37600, Guanajuato, México. caortega@itesi.edu.mx

## INTRODUCCIÓN

El género *Crataegus* está constituido por alrededor de 15 especies en México y está distribuido en la mayor parte de las zonas montañosas del país (Núñez-Colín *et al.* 2008a, Núñez-Colín *et al.* 2008b)

En México, el nombre más común con el que se les conoce a las especies del género *Crataegus* es el de “Tejocote” que se deriva del vocablo náhuatl “Texocotl” que literalmente significa fruta ácida y dura (Cabrera 1992, Núñez-Colín 2009a). Desde épocas prehispánicas el tejocote ha sido utilizado por distintos grupos indígenas en México, los cuales recolectaban sus frutos. Posteriormente, árboles de este tipo fueron plantados en sus jardines, y con la llegada de los españoles, los tejocotes fueron seleccionados y plantados en huertos comerciales (Núñez-Colín 2009a). Este fruto, en la actualidad, está fuertemente ligado a la cultura tradicional mexicana; es usado principalmente en festividades como el día de muertos donde lo utilizan en la decoración de los altares y en navidad en la elaboración del tradicional ponche de navidad y dentro de las piñatas. También es utilizado para la elaboración de mermeladas, ates y otras conservas (Borys y Leszczyńska-Borys 1994, Leszczyńska-Borys y Borys 2004, Núñez-Colín 2009a, Núñez-Colín y Sánchez-Vidaña 2011).

*C. mexicana* DC está reportado como un frutal cultivado, no sólo en México, sino en diversas partes del mundo como: Guatemala, Honduras, Costa Rica, la región de los andes entre Perú y Ecuador, el sur de California, Arizona y Sudáfrica (Büttner 2001, Núñez-Colín *et al.* 2008a). Actualmente en California ya se tienen huertas comerciales de esta especie, consumida principalmente por la gran población latina de Estados Unidos (Karp 2010).

Los sistemas de información geográfica ayudan a localizar las zonas eco-climatológicas donde se desarrolla o se puede adaptar un recurso fitogenético de interés, así como dónde hacer colecta de germoplasma. Además, se ahorran recursos al planear las salidas de campo para colecta de material vegetal y para la gestión de bancos de germoplasma (Guarino *et al.* 2002, Jones *et al.* 2002). Para llevar a cabo análisis de sistemas de información geográfica se tienen bases de datos climáticos con datos modelados prácticamente para todo el mundo basado en modelos de elevación digital (Hijmans *et al.* 2005). También se cuenta con bases de datos

climáticos modeladas de acuerdo a cómo se comportarían al año 2050, si continúa el problema de los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático mundial (Govindasamy *et al.* 2003), es posible evaluar el movimiento de especies por este cambio. Por ejemplo, el algoritmo Bioclim/Domain de DIVA GIS permite la identificación de zonas adecuadas de adaptación de especies vegetales en cuadrículas de tamaño desde 2,5 minutos de exactitud, tanto de latitud como de longitud, basándose en bases de datos climáticos y la ubicación de manera natural de la especie de estudio, por lo que este algoritmo busca climas similares a donde se tiene conocimiento que existe y otorga una calificación si puede existir adaptación o no de dicha especie para una determinada región geográfica (Hijmans *et al.* 2004). Sin embargo, este algoritmo no toma en cuenta características climáticas referentes al viento ni al suelo.

La distribución del tejocote ya ha sido reportada para México (Núñez-Colín *et al.* 2008b). Sin embargo, se desconoce si el cambio climático mundial pudiera afectar las actuales zonas de cultivo o si por el contrario podría tener efectos benéficos.

El objetivo de este trabajo fue determinar el posible desplazamiento de *Crataegus mexicana* DC. de las actuales zonas de adaptación por efecto del cambio climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron 103 datos de pasaporte (coordenadas geográficas de colecta) de accesiones de *C. mexicana* DC de especímenes bien identificados taxonómicamente (Núñez-Colín *et al.* 2008b, Núñez-Colín 2009b).

Los datos fueron sometidos a análisis de sistemas de información geográfica mediante el algoritmo Bioclim/Domain de DIVA-GIS versión 7.1 (Hijmans *et al.* 2004).

Siguiendo la lógica empleada por Núñez-Colín y Goytia-Jiménez (2009) y Núñez-Colín (2010), se realizaron dos modelos de zonas adecuadas de adaptación utilizando dos bases diferentes de datos climáticos. El primer modelo utilizó la base de datos Worldclim la cual fue desarrollada para conocer el clima existente con datos reales de 1950 al año 2000 (Hijmans *et al.* 2005), y utilizada para el modelo de datos climáticos actuales. El segundo fue utilizando el modelo CCM3 desarrollado por investigadores de la Universidad de

California en Davis (Govindasamy *et al.* 2003); el cual considera dos veces la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico que sería el cambio en el clima por causa de los gases de efecto invernadero que se esperaría como resultado del cambio climático mundial al año 2050 (Govindasamy *et al.* 2003).

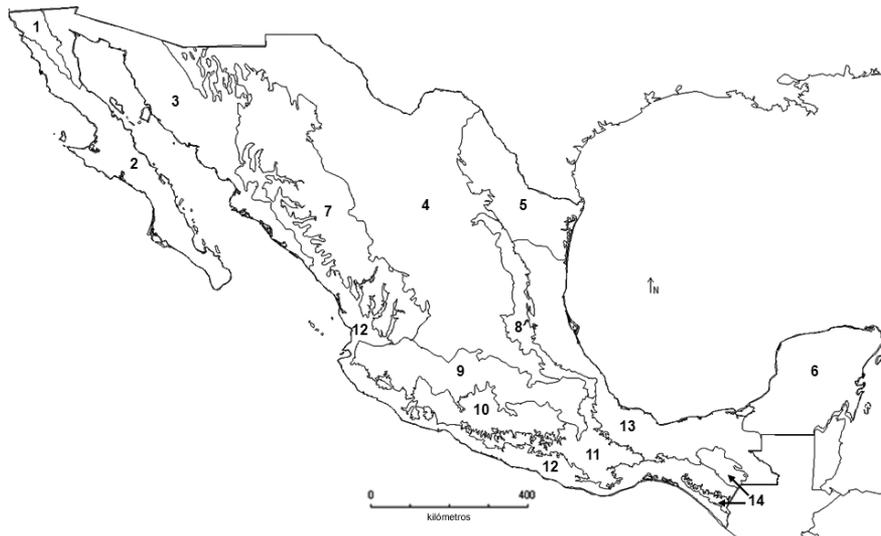
De cada uno de los modelos se obtuvo un mapa de la distribución de las zonas adecuadas de adaptación con una escala de seis zonas de acuerdo a su adaptación – no adecuado (not suitable), baja adaptación (low), mediana adaptación (medium), alta adaptación (high), muy alta adaptación (very high) y excelente adaptación (excellent) - los cuales se compararon para conocer los posibles cambios en las zonas de adaptación del tejocote por efecto del cambio climático. Los mapas se basaron en las regiones biogeográficas reportadas para México por Morrone (2005) (Figura 1) y no en la división política del país.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a las ubicaciones de las accesiones de tejocote mediante sus datos de pasaporte (Figura 2), la mayoría de ellas se distribuyen en la región que Mo-

rrone (2005) denominó como la región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano. En este sentido, el principal estado productor de tejocote en México es Puebla con alrededor del 80% de la producción nacional (SIAP 2008, Núñez-Colín y Sánchez-Vidaña 2011); aunque cabe mencionar que en las estadísticas oficiales no toman en cuenta producciones de huertos familiares ni recolección de manera natural donde, por ejemplo, en la reserva de la mariposa monarca se producen 1,82 t/ha de tejocote (Farfán *et al.* 2007), los cuales son aprovechados por recolección. Sin embargo, sigue siendo en zonas de la región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano.

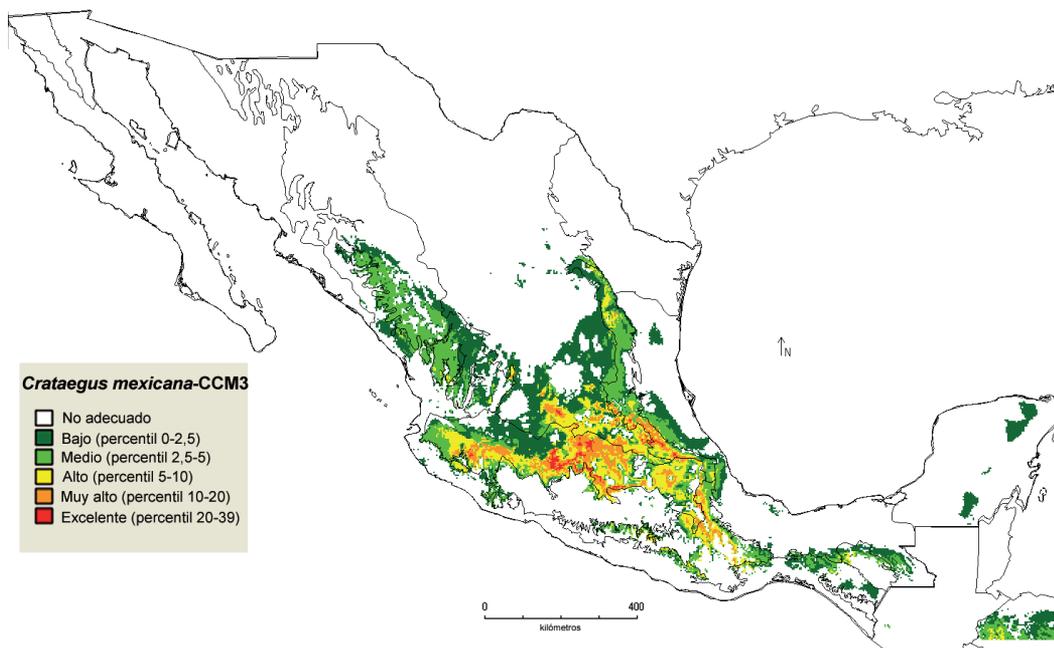
De acuerdo al modelo con los datos climáticos actuales (Figura 3), existen condiciones de buenas a excelentes en la mayor parte del Eje Volcánico Transmexicano, entre estas regiones están las actuales zonas de cultivo en el centro de México. Además, se observaron algunas zonas potenciales en las regiones Sierra Madre Oriental, Altiplano Mexicano y Sierra Madre del Sur. También se observaron zonas de adaptación limitada en el noreste, noroeste y sur del país, que corresponden a las regiones biogeográficas de la Sierra Madre Occidental, Altiplano Mexicano, Golfo de México Costa Pacífica Mexicana y Chiapas.



**Figura 1.** Zonas biogeográficas de México de acuerdo a Morrone (2005). 1 = California, 2 = Baja California, 3 = Sonora, 4 = Altiplano Mexicano, 5 = Tamaulipas, 6 = Península de Yucatán, 7 = Sierra Madre Occidental, 8 = Sierra Madre Oriental, 9 = Eje Volcánico Transmexicano, 10 = Cuenca del Balsas, 11 = Sierra Madre del Sur, 12 = Costa Pacífica Mexicana, 13 = Golfo de México y 14 = Chiapas. México. 2008.



**Figura 2.** Ubicación de accesiones de *C. mexicana* en México. México. 2008.



**Figura 3.** Modelo de las zonas adecuadas de adaptación de *C. mexicana* utilizando la base de datos climáticos Worldclim (Hijmans *et al.* 2005) y el algoritmo Bioclim/Domain de DIVA-GIS (Hijmans *et al.* 2004). México. 2008.

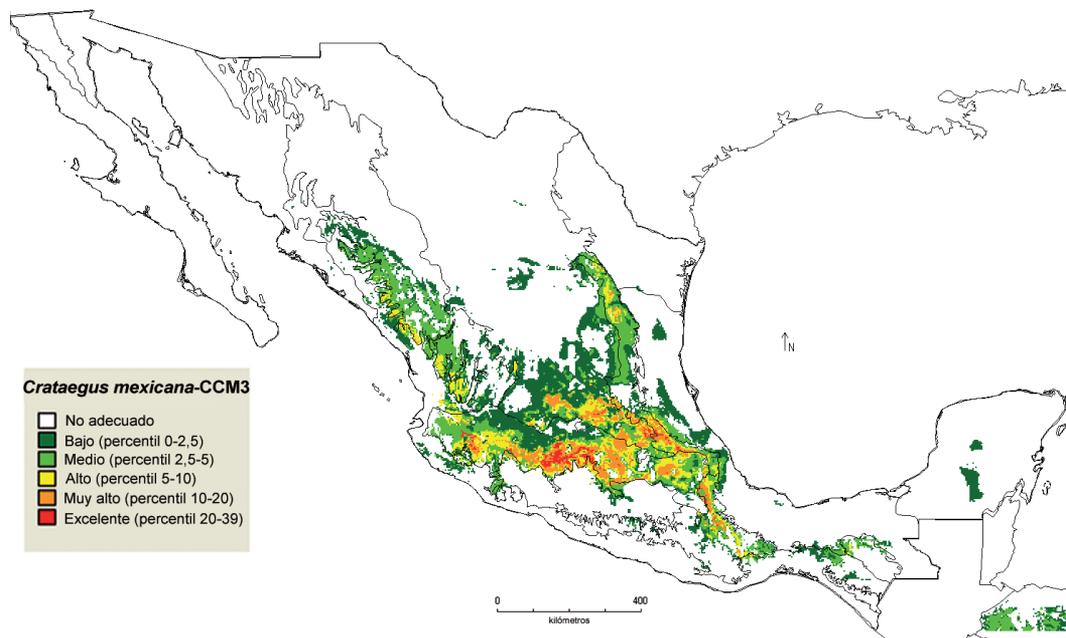
Las mejores zonas de adaptación corresponden a las reportadas por Núñez-Colín *et al.* (2008b) dentro del grupo 1 de los *Crataegus*, estos autores reportaron que fue el grupo que presentaba accesiones cultivadas. En este sentido, las zonas con condiciones excelentes se ubican en la Sierra Norte de Puebla y las regiones serranas de los estados de México y Michoacán, donde existe un gran potencial para cultivar este frutal. Además, están alejadas de la principal zona de producción que es en la región de Calpan-Huejotzingo en Puebla (Núñez-Colín *et al.* 2008a, Núñez-Colín y Sánchez-Vidaña 2011).

Al utilizar la base de datos climáticos CCM3 (Figura 4) hubo mayor cantidad de zonas de adaptación con calificaciones de muy buenas a excelentes en la región biogeográfica del Eje Volcánico Transmexicano, incluyendo las actuales zonas de cultivo y el sur de las regiones del Altiplano Mexicano y Sierra Madre Oriental así como el norte de la región de la Sierra Madre del Sur. Además cambian a zonas de mediana adaptación las regiones del noreste y noroeste del país que en el modelo anterior eran de baja adaptación. Sin embargo,

se pierden zonas de adaptación en las regiones de la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur, Golfo de México y Chiapas.

Al comparar los mapas de ambos modelos se puede observar una ampliación de las zonas de muy buena y excelente adaptación en el modelo con los datos CCM3, lo que indica que el tejocote se verá favorecido en su adaptación por los gases de efecto invernadero. Especies emparentadas como *Malacomeles denticulata*, presentaron un comportamiento similar al de tejocote, donde el efecto del cambio climático es limitado o nulo o, incluso, favorecedor (Núñez-Colín 2010). Caso contrario, es lo que ocurre para *Jatropha curcas* debido a que esta especie cambió sus zonas de adaptación y fueron solo pocas de ellas las que se mantuvieron estables (Núñez-Colín y Goytia-Jiménez 2010).

De acuerdo a los modelos planteados en este trabajo, el tejocote podría ampliar sus zonas de adaptación por el posible cambio climático. La temperatura y la precipitación lo podrán favorecer principalmente para la región del eje volcánico transmexicano.



**Figura 4.** Modelo de las zonas adecuadas de adaptación de *C. mexicana* utilizando la base de datos climáticos CCM3 (Govindasamy *et al.* 2003) y el algoritmo Bioclim/Domain de DIVA-GIS (Hijmans *et al.* 2004). México, 2008.

Las zonas de producción actuales se podrían incrementar y esto podría satisfacer la mayor demanda existente de este frutal por el mercado norteamericano (Karp 2010).

## AGRADECIMIENTOS

Al INIFAP por el apoyo económico para realizar este proyecto.

## LITERATURA CITADA

- Borys, MW; Leszczyńska-Borys, H. 1994. Tejocote (*Crataegus* spp.)—planta para solares, macetas e interiores. Revista Chapingo Serie Horticultura 1:95-107.
- Büttner, R. 2001. Rosaceae. In Hanelt, P; Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. eds. Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops: except ornamentals. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, USA. p. 417-532.
- Cabrera, LG. 1992. Diccionario de aztequismos. Ediciones Colofón, Ciudad de México, México. 166 p.
- Farfán, B; Casas, A; Ibarra-Manríquez, G; Pérez-Negrón, E. 2007. Mazahua ethnobotany and subsistence in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico. Economic Botany 61(2):173-191.
- Govindasamy, B; Duffy, PB; Coquard, J. 2003. High resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse gases. Climate Dynamics 21: 391-404.
- Guarino, L; Jarvis, A; Hijmans, RJ; Maxted, N. 2002. (36) Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. In Engels, JMM; Ramanatha, Rao, V; Brown, AHD; Jackson, MT. eds. Managing plant genetic diversity. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Roma, Italia. p. 387-404.
- Hijmans, RJ; Guarino, L; Bussink, C; Mathur, P; Cruz, M; Barrantes, I; Rojas, E. 2004. DIVA-GIS Versión 4. Sistema de información geográfica para el análisis de datos de distribución de especies. Guía de usuario. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 83 p.
- Hijmans, RJ; Cameron, SE; Parra, JL; Jones, PG; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25:1965-1978.
- Jones, PG; Guarino, L; Jarvis, A. 2002. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 2. Flo-ramap. Plant Genetic Resources Newsletters 130:1-6.
- Karp, D. 2010. Once the most smuggled fruit from Mexico, Tejocote: No longer forbidden. Fruit Gardener 42 (6):10-14.
- Leszczyńska-Borys, H; Borys, MW. 2004. Horticulture in the Mexican culture. Acta Horticulturae 639:309-316.
- Morrone, JJ. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 76:207-252.
- Núñez-Colín, CA. 2009a. The tejocote (*Crataegus* species): a Mexican plant genetic resource that is wasted, a review. Acta Horticulturae 806:339-346.
- Núñez-Colín, CA. 2009b. Áreas prioritarias para coleccionar germoplasma de *Crataegus* L. en México con base en la diversidad y riqueza de especies. Agricultura Técnica en México 35(3):333-338.
- Núñez-Colín, CA. 2010. Distribución y caracterización eco-climática del membrillo cimarrón (*Amelanchier denticulata* (Kunth) Koch) en México. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(3):195-206.
- Núñez-Colín, CA; Nieto-Ángel, R; Barrientos-Priego, AF; Sahagún-Castellanos, J; Segura, S; González-Andrés, F. 2008a. Variability of three regional sources of germplasm of Tejocote (*Crataegus* spp.) from central and southern Mexico. Genet. Resources Crop Evol. 55:1159-1165.
- Núñez-Colín, CA; Nieto-Ángel, R; Barrientos-Priego, A. F; Segura, S; Sahagún-Castellanos, J; González-Andrés, F. 2008b. Distribución y caracterización eco-climática del género *Crataegus* (Rosaceae subfam. Maloideae) en México. Revista Chapingo serie Horticultura 14:177-184.
- Núñez-Colín, CA; Goytia-Jiménez, MA. 2009. Distribution and agroclimatic characterization of potential cultivation region sod physic nut in Mexico. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 44(9):1078-1085.
- Núñez-Colín, CA; Sánchez-Vidaña, DI. 2011. Ethnobotanical, cultural, and agricultural uses of tejocote (*Crataegus* species) in Mexico. Acta Horticulturae 918:901-910.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2008. Anuario estadístico de la producción agrícola 2008. SAGARPA, Ciudad de México, México. Consultado 10 mar. 2010. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>