



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Morelia

Desempeño del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) bajo escenarios de cambio climático alimentándose de maíz (*Zea mays*). Implicaciones para la agricultura.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

Juan Pablo Martínez Zavaleta

DIRECTOR(A) DE TESIS: DRA. Ek del Val de Gortari
CO-DIRECTOR DE TESIS: Erick De la Barrera Montppellier

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



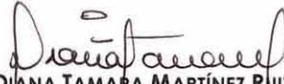
DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UNAM
PRESENTE.

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la sesión extraordinaria 08 del H. Consejo Técnico de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia celebrada, el día 19 de noviembre de 2014, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional del alumno **JUAN PABLO MARTÍNEZ ZAVALA** con número de cuenta **306021907**, con la tesis titulada: "**Desempeño del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) bajo escenarios de cambio climático alimentándose de maíz (*Zea mays*). Implicaciones para la agricultura**" bajo la dirección de la Tutora.- Dra. Ek del Val de Gortari.

Presidente: Dr. John Larsen
Vocal: Dra. Ana Isabel Moreno Calles
Secretario: Dra. Ek del Val de Gortari
Suplente: Dr. Erick de la Barrera Montppellier
Suplente: Dra. Marta Astier Calderón

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 20 de enero de 2015.


DRA. DIANA TAMARA MARTÍNEZ RUIZ
SECRETARIA GENERAL P.E.

Agradecimientos institucionales

Mi principal agradecimiento es para la Licenciatura en Ciencias Ambientales, para el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, para mi *alma mater* la Universidad Nacional Autónoma de México y para todo el cuerpo de docentes de la licenciatura por brindarme una educación de calidad que me dio los conocimientos y las herramientas para desarrollarme personal y académicamente.

Al proyecto SEMARNAT-CONACYT 2008-107918 por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto.

A mis directores de tesis (Ek y Erick) por ayudarme a plantear y desarrollar un proyecto que fuera útil para mí y para el mundo.

A mis sinodales (Marta, Ana y John) por sus valiosas y pertinentes observaciones.

Al laboratorio de interacciones bióticas en hábitats alterados por recibirme y hacerme parte de él. A Edith, Irais, Susy y Ek por ayudarme en la toma de datos de la tesis. Y a Rodrigo compartir laboratorio.

Al Dr. Víctor Rocha por su apoyo en el funcionamiento del cuarto de ambiente controlado.

A Alejandro Rebollar y Dolores Rodríguez, por demostrar que los trámites administrativos pueden ser fáciles y sencillos.

Al Laboratorio de Entomología Económica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) por la donación de *Spodoptera frugiperda*.

Agradecimientos personales y dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a todos los que me apoyaron a lo largo de la licenciatura y durante la elaboración de la tesis. Que me ofrecieron su amistad, su apoyo y su ayuda desinteresada.

Gracias a la Dra. del Val (como asesora) por guiarme en la elaboración de este proyecto. Y a Ek (como amiga) por abrirme las puertas al mundo de la investigación, de las interacciones, y de las posibilidades. Por ser la gigante que me hizo ver más lejos y que me animó a caminar al horizonte. Por creer en mí desde el principio y por recordarme frecuentemente que mi tesis tiene sentido.

A mis padres y hermanos y mi familia por apoyarme en la decisión de estudiar ciencias ambientales, por toda la paciencia que me tuvieron a lo largo del camino. Por apoyar y respetar mis decisiones y mis tiempos, y por tener siempre una luz encendida y mantener los brazos abiertos cada vez que necesitaba volver con ellos; por estar conmigo sin importar la distancia. Por escucharme, por sus consejos y por su apoyo durante toda esta aventura. Por enseñarme que no importa en qué cielo vuele, siempre puedo volver al nido.

Al Harem de Eloísa: Marina, Anahí, Elo, Angie y Luz. Por hacer de mí una persona totalmente diferente pero sin dejar de ser yo mismo. Por todas las risas, por todas las películas, por todo este tiempo. Por quererme incluso cuando sentía que no lo merecía. Por todo.

A Edith por estar presente todo este tiempo, por darme ánimos y por compartir y disfrutar conmigo los pequeños triunfos que tuve. Por ser un gran pilar intelectual, pero principalmente por confiar en mí y ser mi amiga. Por ser una historia de éxito y motivarme a cumplir mis sueños.

A Gen2008 por compartir conmigo más que sólo clases, más que sólo tiempo, más que sólo el espacio. Por haber sido una parte de mi vida que siempre tendrá un lugar

especial en mi corazón. A Violeta, Adela, Sol, Luis, Nenuco, Charly, Sua, Emerich, Isa, Susa, Eglá, Emilia, Amanda, (la otra) Amanda, LuisFer, Danyboy que junto con varios profes me hicieron creer y me motivan a crear otro mundo.

Gracias a Luis Martin por decirme que las tesis no valen ni significan nada y a Gaby por decirme lo importante que son las tesis. Y bajo estos dos extremos poder encontrar el camino del equilibrio.

Al laboratorio de las interacciones entre alterados, y a todos sus miembros, por decir lo que necesitaba escuchar más de una vez, por ayudarme a explorar otros campos, por enseñarme cosas simples y complicadas: a Ek, Edith, Lizee, Nallely, Irais, Susy, Gina, Itzel y Sanfis.

Adriana por ayudarme a hacer que mi proyecto parezca un proyecto serio y bien hecho (y por convencerme de que lo es). Por ser mi amiga y mi gurú. Por estar en cada paso y por ayudarme a salir cada que estaba en el fango.

A Rosa Miki, porque cuando conoces a alguien en la cajuela de un carro, sabes que será una amistad maravillosa.

Carla Galán por convencerme de que nada nunca es tan terrible.

A Margarita por ayudarme a estructurarlo de una manera que no fuera una tortura leerlo.

A Isadora, Ana Miautl y a Yotzin, por su apoyo durante el escrito.

A toda la comunidad UNAM campus Morelia.

Y, finalmente, al mezcal y al vodka, por estar conmigo cuando necesitaba estar solo.

Índice General

Resumen	1
Abstract	3
Siglas	5
Introducción	6
Panorama general.....	6
Maíz	6
Plagas.....	8
Plagas de Maíz en México	9
Cambio climático	11
Cambio climático como intensificador de problemáticas ambientales	18
Agricultura, maíz y cambio climático.....	18
Insectos, plagas y cambio climático	21
Objetivos.....	25
General.....	25
Específicos.....	25
Predicciones	26
Materiales y métodos.....	26
Obtención del material biológico	26

Cuarto de ambiente controlado	27
Diseño experimental.....	27
Condiciones experimentales.....	29
Análisis estadístico	30
Resultados y discusión.....	30
Efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en el desarrollo del maíz.....	31
Efecto del aumento de temperatura en el desarrollo de <i>Spodoptera frugiperda</i>	34
Efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en la interacción entre <i>Spodoptera frugiperda</i> y maíz.....	37
Conclusiones.....	39
Literatura consultada.....	41

Resumen

El maíz es el cultivo más importante de México, cubriendo más de la mitad de la superficie cultivada del país. México es el centro de domesticación y diversificación del maíz ubicándose dentro de los 5 primeros productores a nivel mundial. Este cultivo depende fuertemente de factores bióticos como las plagas, que reducen entre un 10 y un 40% la producción agrícola a nivel global, siendo el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) la plaga más voraz al distribuirse en todo el país y al atacar desde el estadio de plántula hasta la pre-madurez. Dentro de los factores abióticos que condicionan el cultivo de maíz están las condiciones climáticas principalmente temperatura y precipitación.

El cambio climático representa una amenaza para los sistemas agrícolas al alterar el desarrollo de las plantas, el desarrollo y distribución de las plagas y los patrones climáticos. Se estima que en Michoacán para el año 2090 habrá un aumento de temperatura de 4.5°C y una disminución de 30% en la precipitación.

En este trabajo se evaluó experimentalmente el efecto del aumento en la temperatura y la disminución de la precipitación en: 1) el desarrollo de dos variedades de maíz locales de Pichátaro, Michoacán, el maíz amarillo que se siembra en la parte más alta que es notablemente más fría, y el maíz blanco se siembra en la parte más baja y plana; 2) en el desarrollo de *S. frugiperda*; y, 3) en la interacción entre ellos. Para hacerlo se sembraron dos variedades de maíz dentro de un cuarto de ambiente controlado simulando las condiciones actuales y las condiciones de acuerdo al escenario de cambio climático, la mitad de las plantas tuvieron herbivoría por *S. frugiperda* mientras que la otra mitad fue el tratamiento control.

Los resultados muestran que en condiciones de cambio climático el maíz crece más rápido en etapas tempranas, la altura final es igual en ambas condiciones sólo para una variedad de maíz, para la otra, tiene una menor altura final en condiciones de cambio climático, por lo que podemos inferir que el cambio climático tiene un efecto diferenciado en las variedades de maíz, esto implica que habrá cultivos más vulnerables que otros ante

el cambio climático, por lo que una medida de adaptación será seleccionar variedades más resistentes a las nuevas condiciones ambientales.

El desarrollo de *S. frugiperda* se acelera por más de la mitad en condiciones de cambio climático, esto implicaría un aumento en el número de generaciones por año existiendo un aumento en la población.

El efecto de la herbivoría es bastante notorio en condiciones actuales, pero en condiciones de cambio climático el efecto depende la variedad de maíz. Mientras que en el maíz blanco se mantienen el mismo patrón de herbivoría, en el maíz amarillo no existe diferencia significativa entre la altura del maíz con insectos y sin insectos en condiciones de cambio climático.

Con estos resultados se puede concluir que México se encuentra vulnerable ante el cambio climático, pero que esta es una condición dinámica, por lo que es necesario desarrollar e implementar medidas de adaptación que reduzcan eviten los impactos del cambio climático.

Palabras clave: *Spodoptera frugiperda*, Maíz, Cambio climático, Herbivoría, Agricultura

Abstract

Corn is the main crop in Mexico; it covers more than half the cultivated area of the country. Mexico is a domestication and diversification center of corn; it's among the top five countries in corn production in the world. Corn production strongly depends on biotic factors like pests, which reduces the production between 10 and 40%. The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) is the most ravenous pest of corn because it spreads out all over the country and attacks since seedling corn until pre-maturity. Corn production depends on abiotic factors as well, for example climatic conditions like temperature and precipitation.

Climate Change is undeniable, and it's a threat for agriculture systems because it alters crops' development; distribution and development of pests, and climatic patterns. It's estimated that in 2090 temperature in Michoacán, Mexico will increase 4.5°C and precipitation will decrease 30%.

This project assesses the effect of increased temperature and decreased precipitation in: 1) Development of two local varieties of maize (white and yellow); 2) development of *S. frugiperda*; and, 3) interaction between them. The two corn varieties were sowed in controlled environment chamber simulating current and future weather according to a climate change scenario; the half of the plants had an fall armyworm and therefore herbivory.

Results show that corn grows faster in climate change conditions. The final height is the same in white corn, but yellow corn has a lower height in climate change conditions. These results mean that climate change has a different effect in corn varieties; it implies that there will be corn crops more vulnerable than others. Taking adaptation measures will be necessary; one of these will be to select the varieties more resistant to new conditions.

The development of *S. frugiperda* is accelerated more than half in climate change conditions; it implies a rising in the generation's number per year; rising the pest population.

The effect of herbivory is significant in current conditions; but in climate change conditions, the importance depends on the corn variety. White corn keeps the same pattern of herbivory, but in the yellow one there is no difference in height among corn with and without fall armyworm in climate change conditions.

As a conclusion, Mexico is vulnerable to climate change. It's necessary to develop and introduce adaptation measures to reduce and avoid the impact of climate change.

Key words: *Spodoptera frugiperda*, corn, climate change, herbivory, agriculture

Siglas

CCCma Canadian Center Climate Modelling and Analysis - Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (www.cccma.ec.gc.ca).

CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe (www.cepal.org/). O en inglés: ECLAC The United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. O en inglés: Food and Agriculture Organization of the United Nations (<http://www.fao.org/home/es/>).

FIRA Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura (<http://www.fira.gob.mx/>).

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía (www.inegi.org.mx/).

IPCC Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático // Panel Intergubernamental del Cambio Climático. O en inglés: Intergovernmental Panel on Climate Change (<https://www.ipcc.ch/>).

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (<http://www.pnuma.org/>). O en inglés: UNEP United Nations Environment Programme (<http://www.unep.org/>).

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria Y Pesquera dependencia de la SAGARPA (<http://www.siap.gob.mx/>).

USDA United State Department of Agriculture - Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Americanos (<http://www.usda.gov/>).

WMO World Meteorological Organization - Organización Meteorológica Mundial (<http://www.wmo.int/>).

Introducción

Panorama general

“[...] entre los problemas ambientales que se avecinan, los más importantes podrían ser aquellos que aún no conocemos.”
(Myres 1995).

La población mundial actual supera los 7 mil millones de habitantes (WWF 2012), el 45% vive en áreas rurales (ONU 2010), de los cuales, el 80% obtienen su sustento de la agricultura (FAO 2012).

En México, la población es mayor a los 112 millones de habitantes (INEGI 2014), la población urbana representa poco menos del 78% (ONU 2010; Banco Mundial 2014) y se espera que para el 2050 represente el 87.6% lo que nos convertiría en el sexto país con mayor porcentaje de población urbana (ONU 2010).

Maíz

El maíz es el cultivo más importante de México (Banco Mundial 2009; SIAP 2014), país que es uno de los centros de domesticación y diversificación del maíz (Kato et al. 2009). El maíz ha sido cultivado en Michoacán desde hace al menos 4,000 años (Bundery 2000). En cualquier mes del año se siembra maíz en alguna parte del México (Mera y Mapes 2009) bajo una gran diversidad de sistemas productivos (Orozco 2007).

México se encuentra entre los 5 primeros productores de maíz del mundo (Araus et al. 2010). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el 2012 era el cuarto país con mayor producción (2.5% de la producción global) y el quinto con mayor superficie sembrada (3.9% de la superficie global

cultivada de maíz) a nivel mundial (FAO 2014) pero es apenas el noveno lugar en rendimiento (Palacios-Velez 2010).

El cultivo de temporal se realiza, generalmente, a cargo de pequeños agricultores con poco uso de insumos industriales y se destina en su mayoría para autoconsumo. El cultivo con riego tiene mayores rendimientos, se usa una alta cantidad de insumos industriales y su destino es comercial (Mera y Mapes 2009).

La FAO reporta que México cuenta con 6.9 millones de hectáreas sembradas con maíz y produce 2.2 millones de toneladas anuales, mientras que Araus y colaboradores (2010) estiman que son 8 millones de hectáreas y la producción es de 20 millones de toneladas. En cualquier caso, esto representa más de la mitad de la superficie cultivada del país (SAGARPA 2007; Banco Mundial 2009; Mera y Mapes 2009).

Del total del área cultivada de maíz, Mera y Mapes (2009) reportan que el 86% corresponde al áreas de temporal y el 14% restante a cultivos bajo riego, siguiendo la tendencia general de cultivo nacional, pues para el 2007 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reporta que de toda la superficie cultiva del país el 82.2% se realizaba bajo el sistema de temporal y 17.8 % con riego (INEGI 2013).

El maíz depende de las condiciones climáticas (Palacios-Vélez 2010), teniendo mejores rendimientos en zonas con alta incidencia solar, poca humedad y temperaturas que no rebasan los 34°C (Palacios-Vélez 2010).

En el estado de Michoacán, la agricultura es la principal actividad económica representando el 38% de su PIB (Astier et al. 2010), el área total del estado destinada para agricultura es el 27.7% de su superficie, de la cual el 78.5% es de temporal y 21.5% con riego (Cuadro 1; INEGI 2013).

En 2011 Michoacán fue el cuarto estado con mayor producción de maíz, representando el 7.9% de la producción nacional (Palacios-Vélez 2010; FIRA 2012; INEGI 2013). En el año 2012, de acuerdo con datos del SIAP (2014), representó el 8.2%

colocándose en el tercer estado con mayor producción y el octavo con mayor superficie cosechada; y es considerado como el tercer estado con mayor porcentaje de riego (Palacios-Vélez 2010).

Cuadro 1. Cultivo de maíz blanco a nivel nacional y en Michoacán. Total hectáreas cultivadas, hectáreas cultivadas con maíz blanco (con porcentaje del total) y producción total (toneladas), años agrícolas 1995, 2010 y 2011. FUENTE: Elaboración propia con base en datos del INEGI 2013

Escala	1995			2010			2011		
	Total Ha cultivadas	Ha de Maíz blanco	Producción (Ton)	Total Ha cultivadas	Ha de Maíz blanco	Producción (Ton)	Total Ha cultivadas	Ha de Maíz blanco	Producción (Ton)
Nacional	18,711,447	8,020,392 (42.9%)	18,352,856	20,167,773	7,148,046 (35.4%)	23,301,878	18,095,113	6,069,092 (33.5%)	17,635,417
Michoacán	1,022,398	560,999 (54.9%)	1,293,058	1,030,083	463,566 (45%)	1,526,484	1,014,950	425,174 (41.9%)	1,386,363

Plagas

Los insectos plaga afectan muchas actividades humanas y servicios ecosistémicos (Pelini et al. 2009). En general los insectos herbívoros están siempre presentes en los agroecosistemas (De la Cruz 2005), pero se vuelven un problema cuando alcanzan densidades que provocan un impacto económico (Joern et al. 2005) debido, principalmente, a que los cultivos sirven de alimento para los insectos (Beutelspacher y Balcázar 1999).

Las comunidades de plantas que se modifican para satisfacer las necesidades de los humanos, quedan inevitablemente sujetas a daños por plagas y generalmente, mientras más intensamente se modifican tales comunidades más abundante y serio es el problema de plagas (Altieri y Nicholls 2006).

Para que un herbívoro sea considerado plaga su tamaño poblacional debe rebasar un límite, denominado "umbral económico", a partir del cual los daños causados

representan pérdidas económicas mayores al costo de su control (De la Cruz 2005), provocando daños a diversos niveles: 1) a los agricultores por pérdidas de las cosechas y por el gasto que implica realizar un control; 2) a los consumidores, ya que entre más costosa sea la producción y almacenamiento, el costo del producto también aumenta; 3) y cuando el control se realiza a través de agroquímicos, se generan daños a la salud y al ambiente, por la contaminación del suelo, agua y aire derivada del uso y abuso de éstos (Reyes et al. 2002).

Los daños que ocasionan las plagas son muy variables. Van desde brotes aislados hasta pérdidas totales de producción cuyas consecuencias pueden ser desastrosas como desnutrición, enfermedades, hambrunas, inanición, muerte o migraciones humanas (Reyes et al. 2002). La estimación de las pérdidas en el rendimiento agrícola causadas por las plagas varía entre diferentes autores, quedando en un rango del 10 al 40% (Dixon 2009; Rodríguez del Bosque y Jarillo 2008; De la Isla 2009). Reflejándose en una alta pérdida económica, por ejemplo en Estados Unidos en el año 1965, de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA por sus siglas en inglés) las plagas representaron un costo de 3,300 millones de dólares (Reyes et al. 2002).

México ha gastado en los últimos años más de 1,200 millones de pesos en el control de plagas y enfermedades exóticas como: la mosca del Mediterráneo (Diptera: *Ceratitis capitata*), la broca del café (Coleoptera: *Hypothenemus hampei*) y el carbón parcial del trigo (Fungi: *Tilletia indica*) (Balvanera y Cotler 2009). El Fideicomiso Instituido en Relación a la Agricultura (FIRA) estima que, en 2012, para la región del bajío (Michoacán, Guanajuato y Querétaro) el costo para el control de plagas, malezas y enfermedades representa el 13.8% del costo de la producción, y sólo el control de plagas representa el 7% de la producción (Palacios-Vélez 2010).

Plagas de Maíz en México

Existe una gran variedad de plagas que atacan al maíz en diferentes partes de la planta y en diferentes estadios de crecimiento. Existen muchas plagas significativas del maíz (Fig.

1), los más importantes (*sensu* Ortega 1987) son larvas de lepidópteros y coleópteros; las cuales se predice que serán afectadas por el cambio climático (Bale et al. 2002).

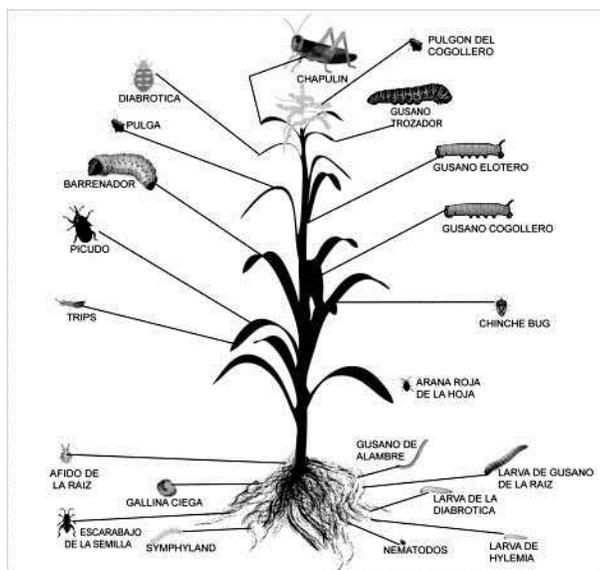


Figura 1. Diversidad de plagas del maíz. FUENTE: Ramírez-Zamudio 2012.

Spodoptera frugiperda se considera la plaga más voraz y dañina del maíz (Rodríguez del Bosque y Marín Jarillo 2008) pues consume una gran cantidad de follaje (Cruz et al. 1999) y ataca todos los estados de desarrollo del maíz, pero principalmente desde plántula hasta la pre-madurez (Ortega 1987; Cruz et al. 1999). El ataque temprano, cuando el maíz es menos tolerante (Cruz et al. 1999), causa la muerte de plántulas o el retraso en el desarrollo de la planta (Rodríguez del Bosque y Marín Jarillo 2008). De acuerdo con Davidson y Lyon (1992) el umbral económico es un 20% de infestación, en dicho nivel, existe una reducción en el rendimiento del 17% (Cruz et al. 1996). Sin embargo, se han reportado pérdidas de 34% (Carnevalli y Florcovski 1995 citado en Beserra et al. 2002; Cruz 1996; Gómez et al. 2010); en Colombia se reportan pérdidas de hasta el 60% (ICA 2008).

S. frugiperda es conocida principalmente como plaga del maíz, aunque también se alimenta de algodón, alfalfa, trébol, cacahuete, pastos, tabaco y muchas hortalizas (Davidson y Lyon 1992). Se encuentra ampliamente distribuida en todas las regiones agrícolas tropicales y subtropicales del continente americano (Rodríguez del Bosque y

Marín Jarillo 2008). En México se localiza prácticamente en todas las regiones donde se cultiva maíz, aunque sus daños son más severos en el trópico y el sub-trópico (Rodríguez del Bosque y Marín Jarillo 2008).

Cambio climático

El cambio climático global es una amenaza para la conservación (McCarty 2001), la biodiversidad global, el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano (Williams et al. 2008; Dixon 2009) en el corto (McCarty 2001; IPCC 2007) y en el largo plazo (IPCC 2007; Martínez-Austria 2007).

El calentamiento del sistema climático es innegable (IPCC 2007; IPCC 2013), la temperatura promedio del planeta está aumentando y los patrones de lluvia están cambiando (Magaña 2004; Stocker et al. 2013) como consecuencia del aumento de la concentración atmosférica de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI, Arriaga y Gómez 2004) causado por actividades humanas (Albritton y Meira 2001; IPCC 2013).

El Efecto Invernadero (EI) es una condición natural que ha sido alterada por el aumento de GEI en la atmósfera (Garduño 2004), estos gases aumentaron desde la era preindustrial en un 70% entre 1970 y 2004 (IPCC 2007). Los GEI alteran el balance de energía del sistema climático y son factores originadores del cambio climático (IPCC 2007) provocando un aumento en la temperatura promedio global, que se calcula estará en el rango de 4 ± 2 °C (Jeffre & Jeffre 1996 citado por Speight et al. 2009) para el año 2080 cuando se prevé se duplicará la concentración de GEI en la atmósfera (FAO 2012). Este cambio en la temperatura intensificará el ciclo hidrológico (Martínez-Austria 2007; FAO 2012) alterando los patrones de precipitación (Magaña 2004; Villers y Trejo 2004; Martínez-Austria 2007), escurrimiento (Martínez-Austria 2007; FAO 2012) y la recarga de los mantos acuíferos (FAO 2012), por lo que los procesos que dependen de la temperatura y precipitación se verán afectados, de hecho, muchos sistemas naturales ya están siendo afectados por cambios climáticos regionales (IPCC 2007).

El dióxido de carbono es el GEI antropogénico más importante. Entre 1970 y 2004, sus emisiones anuales han aumentado en aproximadamente un 80%, pasando de 21 a 38 gigatoneladas (Gt), y en 2004 representaban un 77% de las emisiones totales de GEI antropogénicos (IPCC 2007). El aumento mundial de las concentraciones de CO₂ se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil, con una aportación menor, aunque perceptible, de los cambios de uso del suelo (IPCC 2007). Entre 1970 y 2004, el aumento más importante de las emisiones de GEI proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, mientras que la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura han crecido más lentamente (IPCC 2007). Cabe resaltar que en México el 30.5% de las emisiones de GEI están relacionadas al cambio de uso de suelo asociado a deforestación (Arriaga y Gómez 2004).

Para recopilar y sistematizar la información sobre cambio climático en 1988 la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) establecieron el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) con el objetivo de proporcionar una evaluación del entendimiento de todos los aspectos del cambio climático (Albritton y Meira 2001) y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas (IPCC 2007). Formando tres grupos de trabajo: el Grupo 1 encargado de abordar los aspectos científicos del sistema climático y del cambio climático; el Grupo 2, dedicado a estudiar los impactos, vulnerabilidad y adaptación; y, el Grupo 3, sobre las opciones de mitigación (Albritton y Meira 2001).

El IPCC ha creado escenarios de emisiones que brindan niveles de referencia de las emisiones mundiales de GEI (IPCC 2007) los cuales se agrupan en cuatro familias de todos igualmente válidos y sin probabilidades de hacerse realidad, llamados escenarios A1, A2, B1 y B2 (IPCC 2000):

A1 Propone un mundo con un rápido crecimiento económico, población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y disminuye posteriormente, y una

rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Convergencia entre regiones, interacción cultura y social y reducción de diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. Esta familia de escenarios se divide en tres grupos difiriendo principalmente del cambio tecnológico: Un uso intensivo de combustibles fósiles (A1F1), un rápido cambio a energías de origen no-fósil (A1T) y un escenario intermedio (A1B).

A2 Propone un mundo heterogéneo. Autosuficiencia y conservación de identidades locales. Población mundial en continuo crecimiento. Desarrollo económico orientado a las regiones, cambio tecnológico más fragmentado y lento.

B1 Propone un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados de siglo. Rápidos cambios de estructuras económicas orientadas a una economía de servicios y de información. Introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. Encaminada a la sostenibilidad económica, social y ambiental, buscando una mayor igualdad.

B2 Propone un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Población mundial aumenta a un ritmo lento con niveles de desarrollo intermedio, cambio tecnológico más lento y diverso que A1 y B1. Orientado a la protección del medio ambiente y la igualdad social.

A estos escenarios se les conoce como Escenarios IEEEE¹, los escenarios posteriores son llamados post-IEEE (IPCC 2007). En la Figura 2 se observan las emisiones mundiales de GEI de acuerdo a cada uno de los escenarios, y en el Cuadro 2 se muestra el aumento en la temperatura originado por cada escenario.

¹ Escenarios reportados en el Informe Especial de Escenarios de Emisiones del IPCC.

Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales

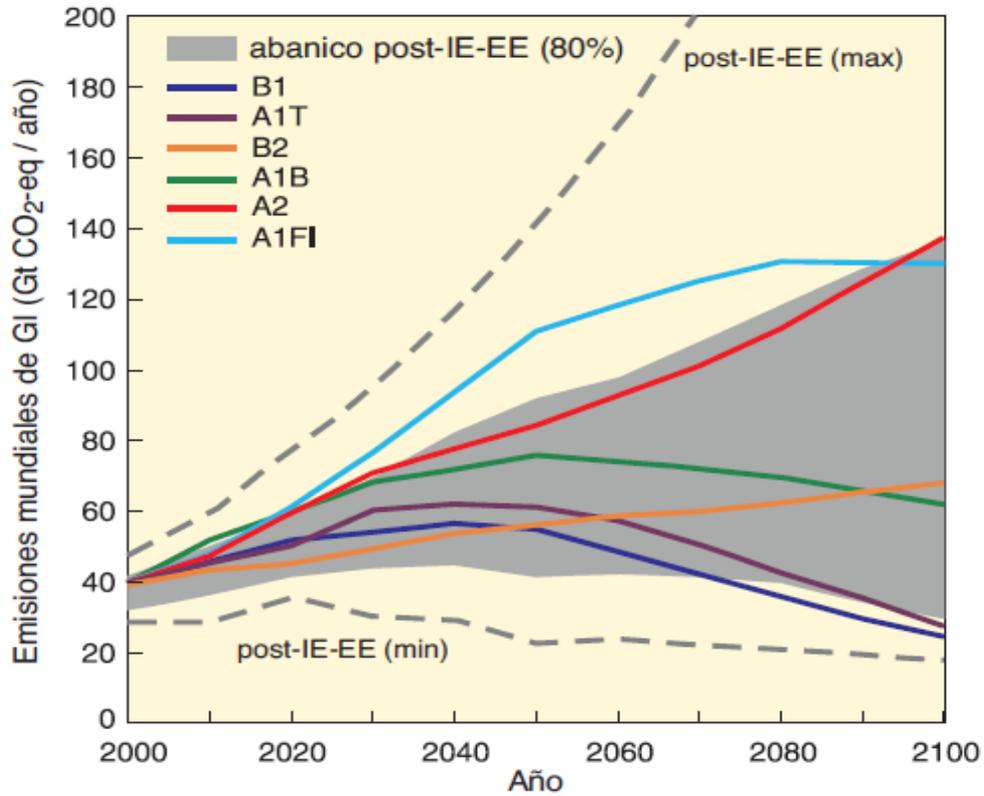


Figura 2. Escenario de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales. Emisiones mundiales de GEI (en Gt CO₂-eq anuales) en ausencia de políticas climáticas adicionales: seis ejemplos de escenarios testimoniales IEEE (líneas de color), y percentil 80 de escenarios recientes publicados desde el IEEE (Post-IEEE) (área sombrada en gris). Las líneas de trazos indican el abanico completo de escenarios de post-IEEE. Las emisiones abarcan los gases CO₂, CH₄, N₂O y gases-F. FUENTE: IPCC 2007.

Cuadro 2. Calentamiento mundial de la superficie terrestre proyectado para el final del siglo XXI en °C. FUENTE: IPCC 2007

Caso	Cambio de temperatura (°C) en 2090-2099 con respecto a 1980-1999	
		Estimación óptima

Concentraciones del año 2000		
constantes	0.6	0.3 - 0.9
Escenario B1	1.8	1.1 - 2.9
Escenario A1T	2.4	1.4 - 3.8
Escenario B2	2.4	1.4 - 3.8
Escenario A1B	2.8	1.7 - 4.4
Escenario A2	3.4	2.0 - 5.4
Escenario A1F1	4.0	2.4 - 6.4

Los Modelos de Circulación General (MCG) se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima (Magaña 2004; IPCC 2007). Sáenz-Romero y colaboradores (2010) evaluaron la magnitud del posible cambio climático en México para el año 2090 a través de varios MCG, encontrando en promedio un aumento de 3.7°C, sin embargo, las diferencias entre los modelos son grandes, el modelo más pesimista predice un aumento de 5°C (modelo HAD² - escenario A2) mientras que el más optimista predice 2.3°C (modelo GFD³ - escenario B1). En el caso de la precipitación anual, se prevé una disminución promedio de 18.2%, y el rango va de 28.5% el más pesimista (modelo CCC⁴ - escenario A2) a 8.9 % (modelo GFD - escenario B1).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez-Austria (2007) quien reporta para México un incremento en la temperatura entre 2 y 4°C en escenarios B2 y un aumento entre 4 y 6°C para escenarios A2. Y se encuentran dentro del rango reportado por Christensen y colaboradores (2007) para México y Centroamérica.

Usando el escenario A2 y el MCG Canadiense desarrollado en el Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (CCCma por sus siglas en inglés) se puede observar el efecto que tendrá el aumento de 5°C en la temperatura anual para México (Fig. 3) y la

² Modelo de Circulación General desarrollado por Hadley Centre

³ Modelo de Circulación General desarrollado por Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

⁴ Modelo de Circulación General desarrollado por Canadian Center Climate Modelling and Analysis

disminución de 28.5% en la precipitación (Fig. 4) para el año 2090 (Sáenz-Romero et al. 2010).

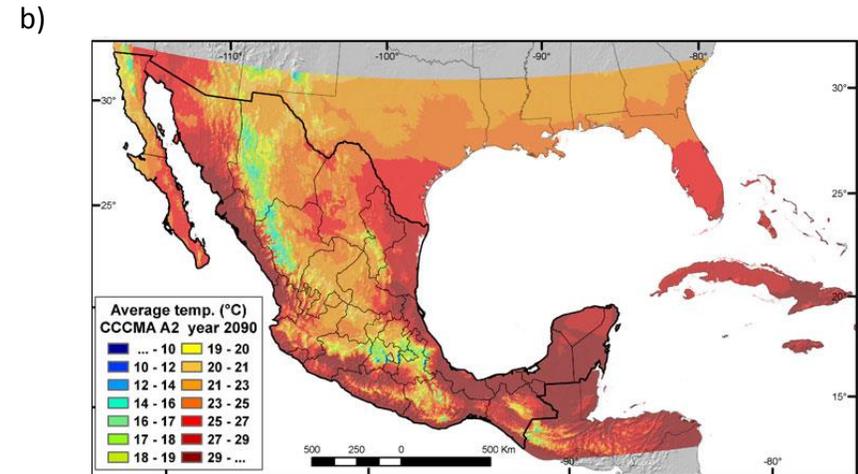
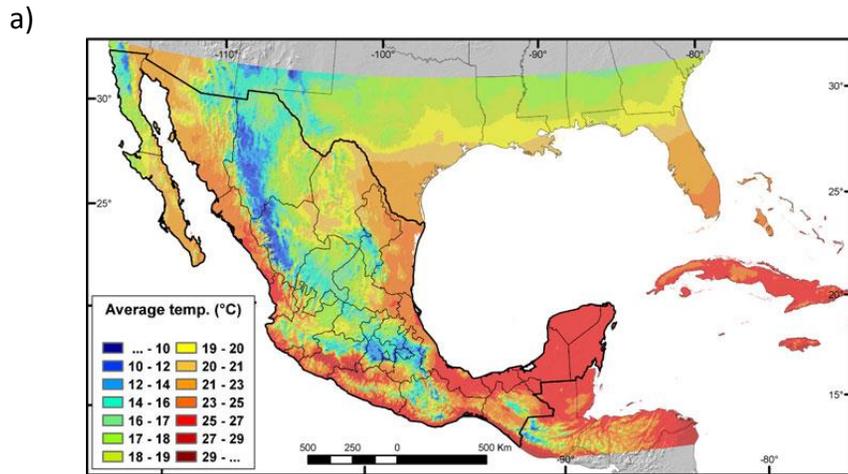


Figura 3. Escenario de temperatura media anual (°C) para México. Clima actual (a) y el clima de 2090 (b), usando el Modelo del Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima, bajo el escenario A2. FUENTE: Sáenz-Romero et al. 2010

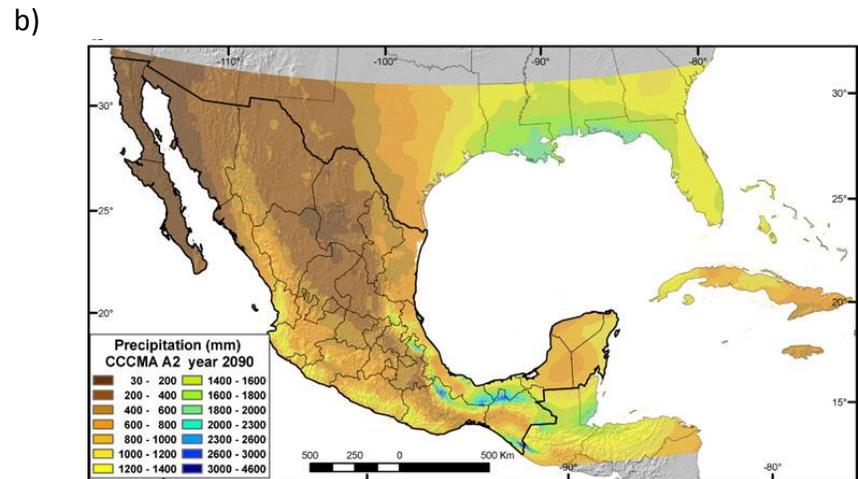
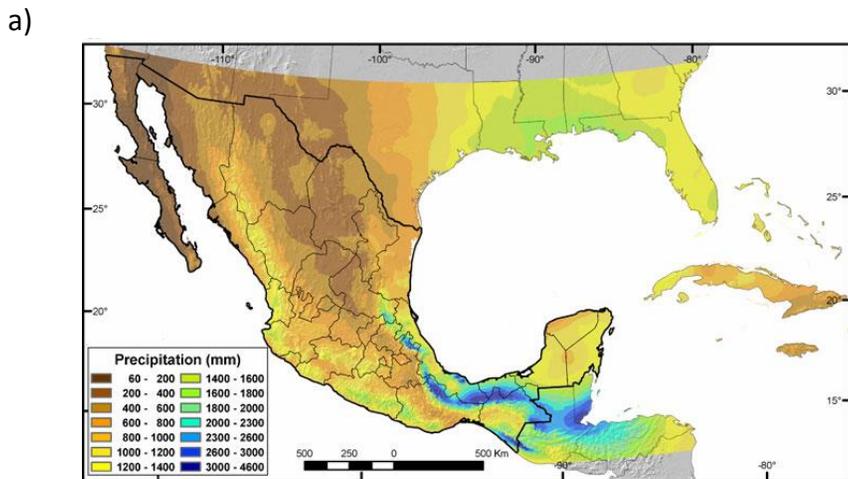


Figura 4. Escenario de precipitación media anual (mm) para México. Clima actual (a) y el clima de 2090 (b), usando el Modelo del Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima, bajo el escenario A2. FUENTE: Sáenz-Romero et al. 2010

Cambio climático como intensificador de problemáticas ambientales

México es altamente vulnerable ante el cambio climático (ENCC 2013), lo que representa una amenaza para los ecosistemas naturales (Villers y Trejo 1998; Gitay et al. 2002; Villers y Trejo 2004; Sáenz-Romero et al. 2010), para las especies animales y vegetales (Gitay et al. 2002; Arriaga y Gómez 2004; Villers y Trejo 2004), para los sistemas agrícolas (Conde et al. 1997; Conde et al. 2000; Fischer et al. 2002; Conde et al. 2004), para la pesca y los sistemas acuícolas (véase FAO 2011), para la producción de alimentos (O'Brien y Leichenko 2000; Fischer et al. 2002; Eakin 2005; Dixon 2009; FAO 2012) y para las personas (Williams et al. 2008; Dixon 2009). Existe evidencia de que las plantas y los animales están respondiendo al cambio de temperatura (Dixon 2009), lo cual puede observarse en la mayor frecuencia e intensidad en los brotes de plagas y enfermedades (Gitay et al. 2002).

Agricultura, maíz y cambio climático

Se espera que el cambio climático impacte significativamente a la agricultura, dado que es una actividad doblemente expuesta, por un lado es vulnerable a los cambios socioeconómicos y al mismo tiempo es altamente sensible a las variaciones climáticas (O'Brien y Leichenko 2000; Eakin 2005). Para el año 2080 podría haber pérdidas globales en granos básicos de hasta 30% del rendimiento (Parry et al. 2004), lo cual comprometería la seguridad alimentaria (Dixon 2009) en especial países como México que ya han dejado de ser autosuficiente en la producción de maíz (Barkin 2003) y que las importaciones han aumentado significativamente (Palacios-Vélez 2010).

Por otro lado, menos del 20% de los cultivos en México se realizan bajo sistema de riego, lo que nos deja en claro la dependencia del sector agrícola a las condiciones climáticas, siendo vulnerable a eventos climáticos extremos en particular en las zonas de alta marginación (CEPAL 2007).

La agricultura en México es altamente vulnerable a eventos climáticos extremos, en particular a las sequías (Banco Mundial 2009), las cuales se prevé que aumentarán en los próximos años provocando que sea aún más difícil la producción (Dixon 2009) y causará grandes pérdidas económicas en la economía rural mexicana (CEPAL 2007).

En las últimas dos décadas el 80% de las pérdidas económicas causadas por desastres naturales (principalmente huracanes e inundaciones) fueron en el sector agrícola (CEPAL 2007). Por ejemplo, la producción de maíz en México se redujo 26% en el año 2011, principalmente a causa de la sequía alcanzando su nivel más bajo desde 1992 (Cuadro 1, FIRA 2012).

El cambio climático hará que esta situación sea aun más desafiante, lo cual se amplifica debido a la insuficiente capacidad de anticipar impactos negativos y realizar medidas preventivas en los países subdesarrollados (CEPAL 2007). Los escenarios climáticos predicen una moderada reducción en la aptitud del cultivo de maíz de temporal en México para el 2020 y un incremento en el área no apta para su cultivo (Banco Mundial 2009); lo que demanda una adaptación inmediata (IPCC 2014) pues, emergerán amenazas adicionales mientras el clima siga cambiando (McCarty 2001) como el incremento en la competencia con malezas, al igual que los problemas de erosión y pérdida de la fertilidad de los suelos (Dixon 2009). Por lo que reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático es de importancia extrema en el sector agrícola mexicano, considerando el papel de ésta en la seguridad alimentaria y en el sustento de poblaciones rurales (Banco Mundial 2009).

En un estudio realizado por Jones y Thornton (2003) se evalúa el impacto potencial que tendrá el cambio climático sobre la producción de maíz para el año 2055 en África y Latinoamérica. En ambos continentes se encontró la misma tendencia, expresada en tres tipos de respuesta siendo la más común una reducción en el rendimiento de los cultivos, la segunda son los cultivos que se benefician con el cambio climático, y por último, el rendimiento del maíz declina drásticamente. El rendimiento del maíz en ambientes con inviernos fríos incrementará porque las temperaturas incrementarán, mientras que el

rendimiento en ambientes tropicales secos generalmente disminuyen (Jones y Thornton 2003) como es el caso de gran parte de México.

Conde y colaboradores (2004) realizaron un estudio sobre la vulnerabilidad de la producción de maíz de temporal, utilizando el modelo de simulación Ceres-Maize, en términos generales encontraron decrementos regionales de la superficie apta para agricultura o fuertes reducciones en los rendimientos. Sin embargo, en regiones frías se reportó un incremento en el rendimiento causado por el aumento de temperatura, lo que reduciría el peligro de las heladas (Conde et al. 2004). En el mismo estudio se realizó una simulación del retiro de los subsidios que apoyan la producción de maíz de temporal, el resultado fue el mismo o en algunos casos un mayor impacto negativo que las consecuencias del cambio climático.

Las condiciones obtenidas bajo los escenarios del cambio climático para México, son semejantes a las condiciones que se presentan durante fuertes eventos de El Niño, que representa aumentos importantes en lluvias de invierno y decrementos en las lluvias de verano (Magaña 1999). Entre 1997 y 1998 se presentó un evento de El Niño que causó una disminución en la precipitación de 50% y hubo pérdidas de más de 2 millones de toneladas de maíz, se estima que los daños tuvieron un costo de 1.4 mil millones de dólares (Magaña 1999).

Se espera que la producción de maíz disminuya su rendimiento por hectárea (Sáenz-Romero et al. 2009). Esto implica que existirían grandes pérdidas o que la agricultura necesita grandes transformaciones para adaptarse, por ejemplo, cambios de variedad por una con un periodo de crecimiento más corto o cambio de cultivo por uno con menores requerimientos hídricos (Conde et al. 2004). Sin embargo, aun cambiando a variedades resistentes a sequía habrá una disminución de la producción, ya que usualmente son menos productivas que las variedades no resistentes (Sáenz-Romero et al. 2009). Estas medidas pueden tomarse antes y después del evento climático (Conde et al. 2004) cuando la sequía se produce en torno a la floración, el número de granos y en consecuencia, el rendimiento, se ven afectados notablemente. Por el contrario, las

pérdidas por la sequía durante el establecimiento del cultivo son relativamente bajos y en cierta medida puede compensarse con la resiembra (Araus et al. 2010).

Insectos, plagas y cambio climático

El efecto del aumento de temperatura también tendrá un efecto sobre los insectos, debido a que son poiquiloterms (o ectoterms), lo cual significa que la temperatura de su cuerpo depende de la temperatura del ambiente que los rodea (Porter et al. 1991; Bale et al. 2002; Joern et al. 2005; Logan et al. 2006; Pelini et al. 2009; Speight et al. 2009). Por este motivo, en la mayoría de los casos, la temperatura es el principal factor que restringe la distribución y abundancia de las especies.

El desempeño de los insectos depende fuertemente del clima (Pelini et al. 2009). Las variables climáticas tales como temperatura, viento y lluvia pueden tener enormes consecuencias para la ecología de los insectos (Speight et al. 2009), afectando su tasa de desarrollo, reproducción, distribución, migración y adaptación (Porter et al. 1991). Los insectos tienen generaciones cortas y son altamente adaptables, por lo que es posible usarlos como indicadores útiles de la respuesta biológica ante el cambio climático (Porter et al. 1991).

Existen diversos efectos que se espera que tenga el aumento de temperatura sobre los insectos, la mayoría de ellos se darían principalmente en latitudes mayores, ya que en estas regiones es dónde el cambio de temperatura será mayor (Pelini et al. 2009). A pesar de esto, la mayoría sólo son suposiciones o modelos teóricos, muy pocos de estos efectos se han confirmado experimentalmente.

En la Figura 5 se muestra cómo el cambio climático podría tener efectos positivos, negativos o no tener diferencia en diversos insectos. Es importante mencionar que no todas las especies se verán igualmente afectas por el cambio climático, ni será igual para todas las regiones de México.

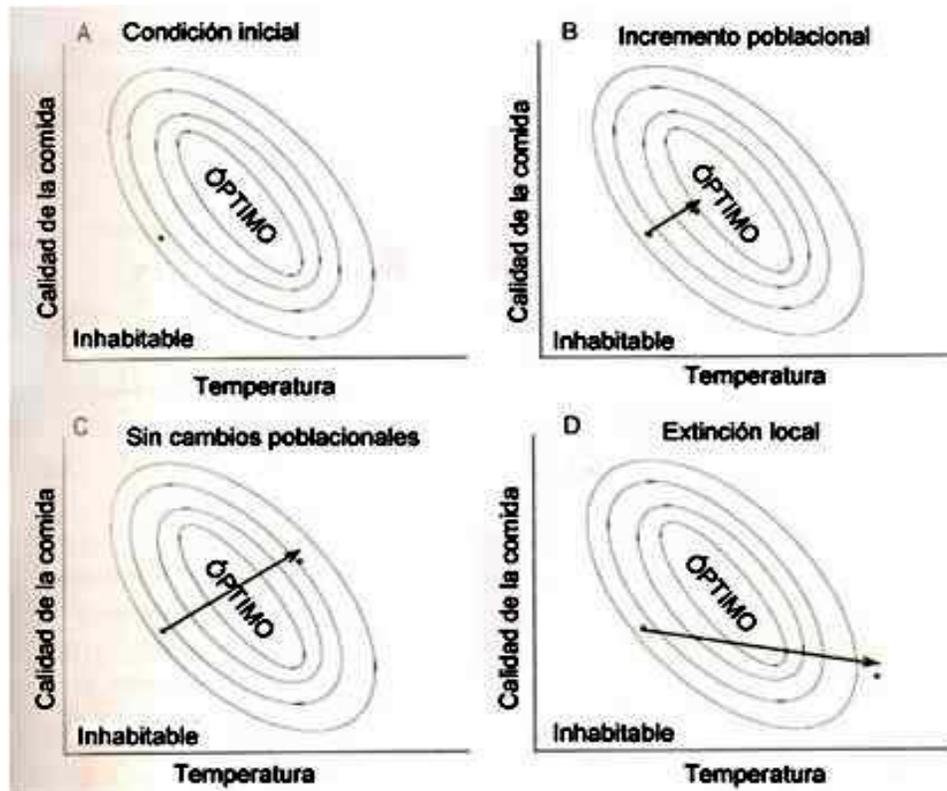


Figura 5. Efecto del cambio climático sobre las especies. (A) Desempeño de un individuo o población basado en dos nichos, temperatura y calidad del alimento. La combinación óptima mantiene el más alto nivel de desempeño, que se expresa en supervivencia, desarrollo o fecundidad, y tiene como resultado la máxima tasa de crecimiento poblacional. Algunas combinaciones resultan inadecuadas para que los individuos permanezcan en el hábitat. (De la B a la D) Posibles efectos que tendrá el cambio climático en su desempeño a partir de las condiciones iniciales. (B) La población está bajo mejores condiciones. (C) La población tiene el mismo desempeño. (D) Las nuevas condiciones provocan una extinción local [Traducción libre]. (FUENTE: Joern et al. 2005).

Cabe resaltar que la mayoría de los efectos que tendrá el cambio climático sobre los insectos son debido al incremento de temperatura y no al aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera (Porter et al. 1991).

En el Cuadro 3 se resumen los principales efectos del cambio climático sobre los insectos.

Cuadro 3. Efectos del cambio climático sobre los insectos a diferentes niveles de organización.

Nivel	Efecto	Referencias	Descripción
Individuo	Alterar fases del ciclo de vida	Dixon 2009	Menor número de instars
	Acelerar tasa de desarrollo	Bale et al 2002; Dixon 2009	Menor tiempo en alcanzar la madurez
	Cambios genéticos y fenotípicos	Pelini et al. 2009	Adaptación a las nuevas condiciones climáticas
Población	Extensión del rango geográfico	Porter et al. 1991; Dixon 2009; Pelini et al. 2009	Colonización de nuevos lugares
	Cambio en las tasas de crecimiento poblacional	Porter et al. 1991; Pelini et al. 2009	Aceleración en el crecimiento poblacional
	Aumento en el número de generaciones	Porter et al. 1991; Bale et al 2002; Dixon 2009	Más generaciones de insectos en el mismo periodo de tiempo Semivoltinismo -> voltinismo Voltinismo -> multivoltinismo
	Cambios en la hibernación	Porter et al. 1991; Bale et al. 2002	Mayor supervivencia en invierno
	Extensión de la temporada de desarrollo	Porter et al. 1991	Mayor tiempo con las condiciones para la vida de los insectos
	Extinciones locales	Bale et al. 2002; Pelini et al. 2009	Desaparición de algunas plagas en algunas localidades
	Comunidad	Cambios en la sincronía cultivo-plaga	Porter et al. 1991; Pelini et al. 2009
Cambios en las interacciones interespecíficas		Porter et al. 1991; Pelini et al. 2009	Cambios en las interacciones

Invasión por migrantes	Porter et al. 1991	Presencia de nuevas plagas
Hospederos alternativos y puentes verdes	Porter et al. 1991	Usar nuevos hospederos para expandir su rango geográfico
Nuevos hospederos	Pelini et al. 2009	Ataque a hospederos no registrados

Se prevé que las comunidades estarán dominadas por especialistas con ciclos de vida cortos, alta capacidad de dispersión y especies dispersadas por los humanos (Parmesan 2006; Pelini et al 2009). Un ejemplo es la mosca común (*Musca domestica*) cuyas poblaciones se pronostica que aumentarán en un 244% para el año 2080 (Goulson et al. 2005 en Dixon 2009).

Las poblaciones de los insectos herbívoros se regulan por los enemigos naturales (efectos descendentes; top-down effects) y por la fuente de comida (efectos ascendentes; bottom-up effects) (Joern et al. 2005). Las condiciones climáticas también afectan a las plantas y su calidad nutricional, así como a los depredadores, lo cual puede limitar la abundancia y/o distribución de los herbívoros.

Por todo ello, el cambio climático podría causar un incremento en las poblaciones de las plagas agrícolas, aumentando los problemas que causan, ocasionando significantes pérdidas económicas (Porter et al. 1991).

Escenarios del efecto del cambio climático para Michoacán

De acuerdo con un estudio realizado por Sáenz-Romero y colaboradores (2009) las estimaciones realizadas para México bajo el escenario A2 (el modelo más pesimista), para el 2090 la temperatura promedio tendrá un aumento de aproximadamente 4.5°C y la precipitación tendría una disminución de más del 30% (Fig. 6).

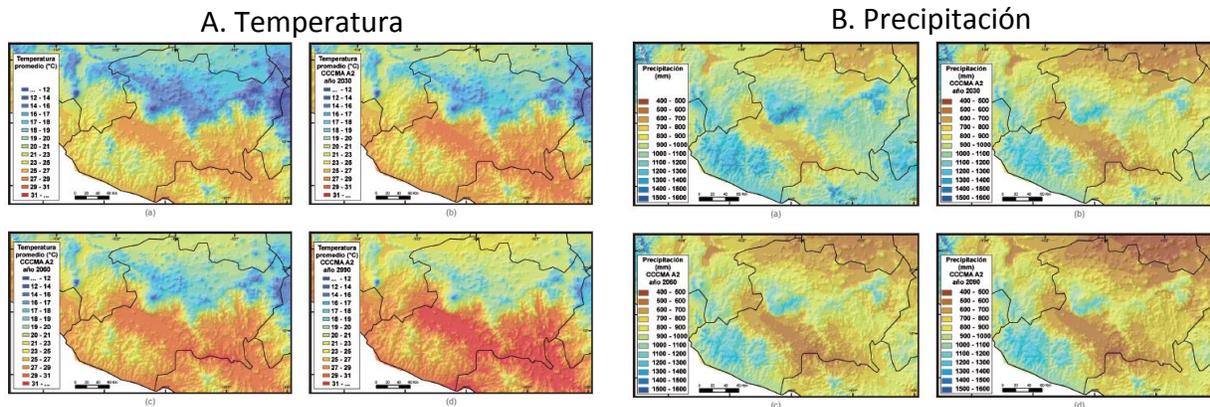


Figura 6. Escenario de cambio climático para Michoacán. A. Temperatura y B. Precipitación. (a) Clima contemporáneo (promedio 1960-1990); (b) año 2030; (c) año 2060; y, (d) año 2090. Basado en datos del Centro Canadiense para el Modelaje y Análisis del Clima (CCCma), escenario de emisiones A2. FUENTE: Sáenz-Romero et al. 2009

Debemos recordar que todas estimaciones de los efectos del cambio climático dependen totalmente del modelo utilizado y de sus supuestos (Dixon 2009), por lo que deben interpretarse con precaución.

Objetivos

General

Evaluar el efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en el maíz, en *Spodoptera frugiperda* y en su interacción.

Específicos

- Evaluar el efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en el desarrollo de dos variedades de maíz nativas de Michoacán.
- Evaluar el efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en el desarrollo de en *Spodoptera frugiperda*.
- Evaluar el efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en la interacción entre *Spodoptera frugiperda* y dos variedades de maíz nativas de Michoacán.

Predicciones

- El aumento de temperatura y la disminución de precipitación tendrán un efecto negativo sobre el maíz, limitando o retrasando su desarrollo, la intensidad de dicho efecto será diferente entre las variedades pero mantendrá la direccionalidad.
- El aumento de temperatura acelerará el desarrollo de *Spodoptera frugiperda*.
- El efecto del aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación potenciarán el efecto de herbivoría causando mayor daño al maíz.

Materiales y métodos

Obtención del material biológico

Spodoptera frugiperda

El pie de cría de *Spodoptera frugiperda* fue donado por el Laboratorio de Entomología Económica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y la cría se realizó con base en las recomendaciones del mismo Laboratorio.

Zea mays

El maíz se obtuvo mediante la compra de semillas a campesinos de la comunidad de Pichátaro, Municipio de Nahuátzen, Michoacán.

Las variedades seleccionadas para este experimento fueron el Maíz Blanco Ranchero y el Maíz Amarillo, ambas se utilizan para consumo humano. Se escogieron estas dos variedades por ser sembradas en sitios contrastantes de San Francisco Pichátaro. El maíz amarillo se siembra en la parte más alta que es notablemente más fría mientras que el maíz blanco se siembra en la parte baja y plana (Barrera-Bassols et al. 2009). Escoger las dos variedades más contrastantes respecto a las condiciones en las que se siembran nos

dará una idea de lo que pasa con diferentes variedades de maíz adaptadas a diferentes ambientes.

San Francisco Pichátaro (19.573190, -101.807890) se encuentra al suroeste de la cuenca del lago de Pátzcuaro en Michoacán (Barrera-Bassols et al. 2009). El irregular paisaje montañoso favorece la especialización de un gran número de variedades nativas de maíz a través de la recombinación y adaptación genética (Barrera-Basols 2003). Los pichatareños utilizan 40% de las razas de maíz que se han encontrado dentro del territorio Purhépecha (Ramírez 1987), 13% de las razas modernas encontradas en México (Sánchez-González 1994) y 7% de las razas modernas cultivadas en América Central (Bellón y Brush 1994 citado por Barrera-Bassols 2003).

Cuarto de ambiente controlado

Los experimentos se realizaron en un cuarto de ambiente controlado marca Lumistell® modelo MAC-520 cuyas dimensiones son 5.28 · 3.85 · 2.4 m (frente · fondo · alto) ubicada en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM- campus Morelia.

Diseño experimental

Para evaluar el efecto del incremento de la temperatura sobre el desarrollo de *S. frugiperda* alimentándose de dos variedades de maíz, se llevó a cabo un experimento en condiciones de ambiente controlado.

Se realizó un experimento factorial con dos factores de condiciones ambientales (condiciones actuales y bajo escenario de cambio climático), dos factores de herbivoría (con insectos y sin insectos), y con dos factores de maíz (maíz amarillo y maíz blanco).

Para cada uno de los 8 tratamientos se tuvo un total de 20 plantas. Y en aquellos tratamientos con herbivoría se colocó un individuo de *S. frugiperda* en instar 4 por planta.

El maíz fue sembrado en macetas del número 8 con capacidad de 13 litros. En cada maceta se pusieron cuatro semillas de maíz para asegurar la germinación, a los 30 días se eligió la planta más grande (altura y grosor) o la que se veía más sana; y se cortaron las otras tres. Se indujo el daño aproximadamente a las 8 semanas, las larvas de *S. frugiperda* se colocaron justo al empezar el instar 4. Para el tratamiento con *S. frugiperda*, las plantas eran cubiertas por tela tul para que el gusano se mantuviera y alimentara sólo en su planta correspondiente. Estas exclusiones eran soportadas por 4 palos de madera de 95 cm de largo (Fig. 7). La tela tul no permitía que se saliera el insecto, pero sí que entrara luz y aire, por lo que las condiciones microambientales eran las mismas que las plantas sin la exclusión. Para evitar efecto de zonificación, las plantas tuvieron una rotación moviéndose 3 lugares cada 10 días (Fig. 8). Esta rotación se detuvo cuando el movimiento de las macetas comprometía la integridad de las plantas.

La altura de las plantas se midió aproximadamente cada 10 días durante los dos experimentos. El peso de *S. frugiperda* días transcurridos para emerger, peso y sexo de la pupa.



Figura 7. Exclusiones de tela Tul.

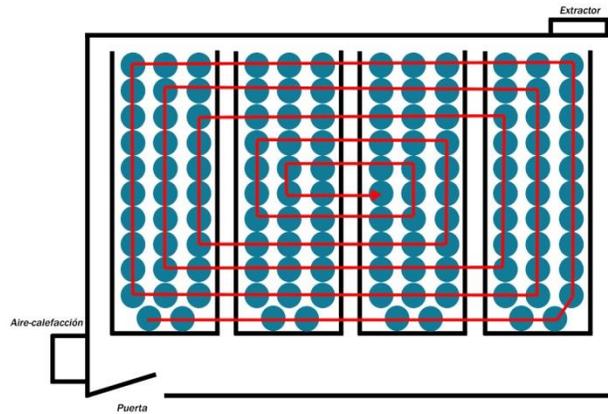


Figura 8. Diagrama cuarto de ambiente controlado, los círculos azules representan a las macetas y la línea roja la dirección del movimiento de las macetas.

Condiciones experimentales

Determinación de la capacidad de campo. Para determinar la cantidad de agua necesaria para mantener la tierra de las macetas a capacidad de campo, se humedeció la tierra de 5 macetas hasta capacidad de campo, posteriormente se pesó la tierra húmeda y se puso a secar durante 72 horas en un horno a temperatura constante de 100°C. Una vez seca la tierra se volvió a pesar y con base en la diferencia de peso se estimó la cantidad de agua que perdió. Se estimó en 1.8 litros de agua la cantidad necesaria para mantener las macetas a capacidad de campo.

Condiciones base. Las condiciones de temperatura fueron 25°C durante el día y 15°C durante la noche. El riego fue de 1.8 litros de agua por maceta, con una frecuencia de 10 ± 2 días. Fotoperiodo 12:12 de luz:oscuridad.

Condiciones bajo cambio climático. Se tomaron como referencia los escenarios locales para Michoacán que estima el modelo canadiense CCCM trayectoria A2 (aumento de 5°C y disminución de 30% de la precipitación). Teniendo como resultado 30°C de día y 20°C de noche. El riego fue de 1.25 litros (30% menos de lo necesario para capacidad de campo) con una frecuencia de 10 ± 2 días. El fotoperiodo se mantuvo constante, 12:12 de luz:oscuridad.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el software estadístico R (Rcore Team development 2011) usando análisis de varianza donde las variables de respuesta fueron: altura de la planta y el tamaño de pupa (peso). Las variables explicativas fueron las condiciones ambientales, la presencia de herbívoros y la variedad de maíz. Se aseguró de los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y se transformaron los datos con $\log(x)$ cuando fue necesario.

Resultados y discusión

Los resultados generales del experimento se muestran en la Figura 9 en donde se puede observar una línea del tiempo del experimento mostrando los momentos importantes y el resultado final del tamaño de las plantas así como del tiempo de desarrollo de los insectos. En esta Figura los registros de altura de maíz blanco y amarillo se juntan para hacer una sola gráfica, de igual manera, se registra el día del primer evento de germinación del maíz, el día que se encontró la primer pupa y el día que emergió el primer adulto de *Spodoptera frugiperda* y no el promedio, por lo que se debe interpretar cuidadosamente y algunos de los datos no coincidan con los resultados posteriores que se muestren en este trabajo.

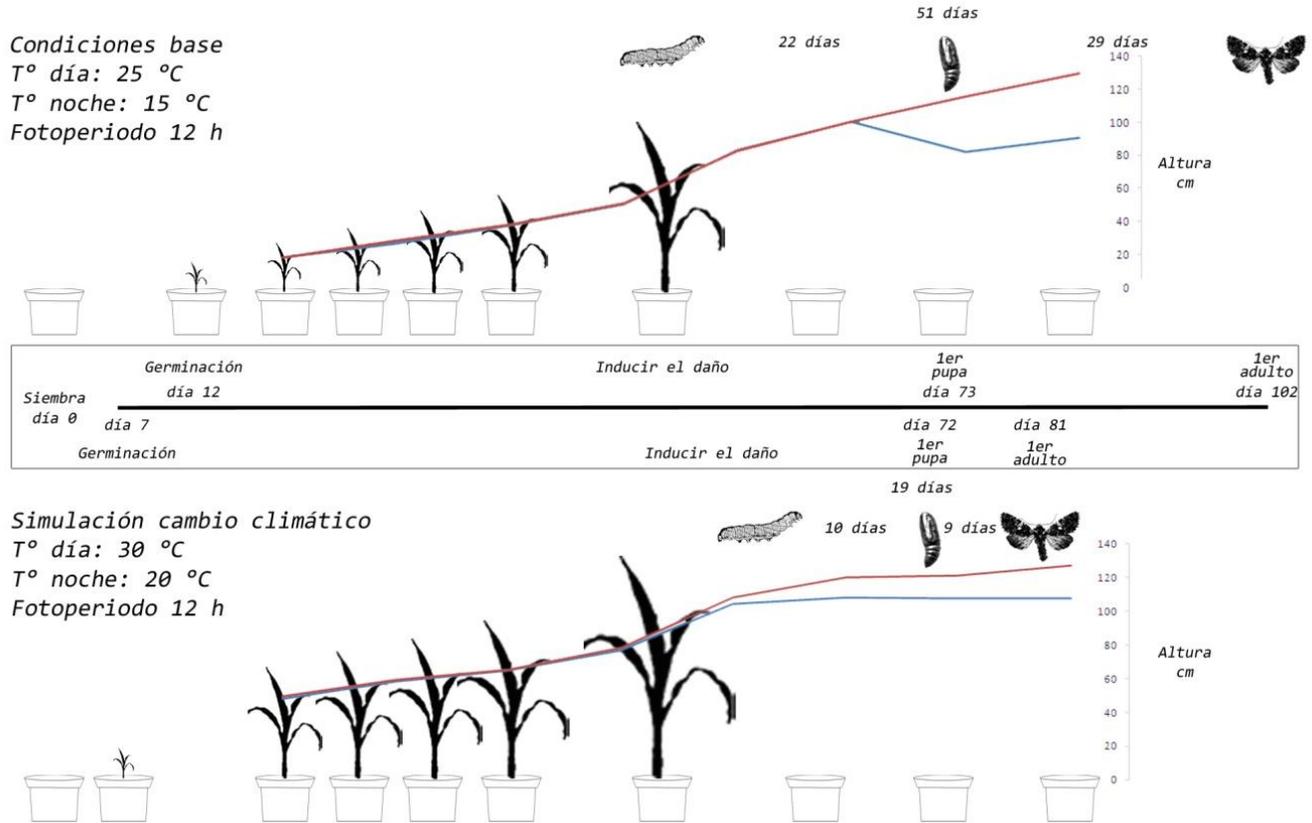


Figura 9. Resultados Generales. Línea del tiempo del proyecto. La parte de arriba muestra los resultados en condiciones base. La parte de abajo muestra los resultados en condiciones de cambio climático.

Efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en el desarrollo del maíz

En el crecimiento del maíz se observó un efecto significativo en relación al aumento de la temperatura y la disminución del riego en etapas tempranas en ambas variedades (Figs. 10 y 11).

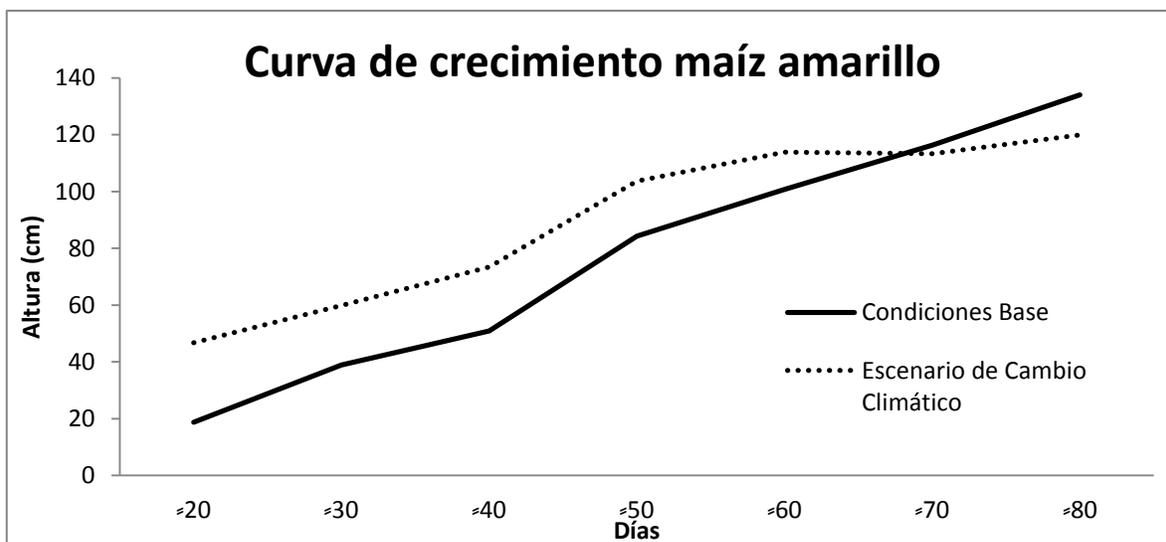


Figura 10. Crecimiento promedio (altura) de maíz amarillo en condiciones base (25°C día, 15°C noche, macetas a capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas) y bajo un escenario de cambio climático (30°C día, 20°C noche, macetas al 70% de su capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas).

El maíz amarillo (Fig. 10) tuvo un crecimiento constante en condiciones base. Pero registró un crecimiento inicial más rápido bajo el escenario de cambio climático, hasta que llega a una asíntota a partir del día 60. La altura final es mayor en condiciones base ($F_{1,36}=5.74$, $P=0.02$).

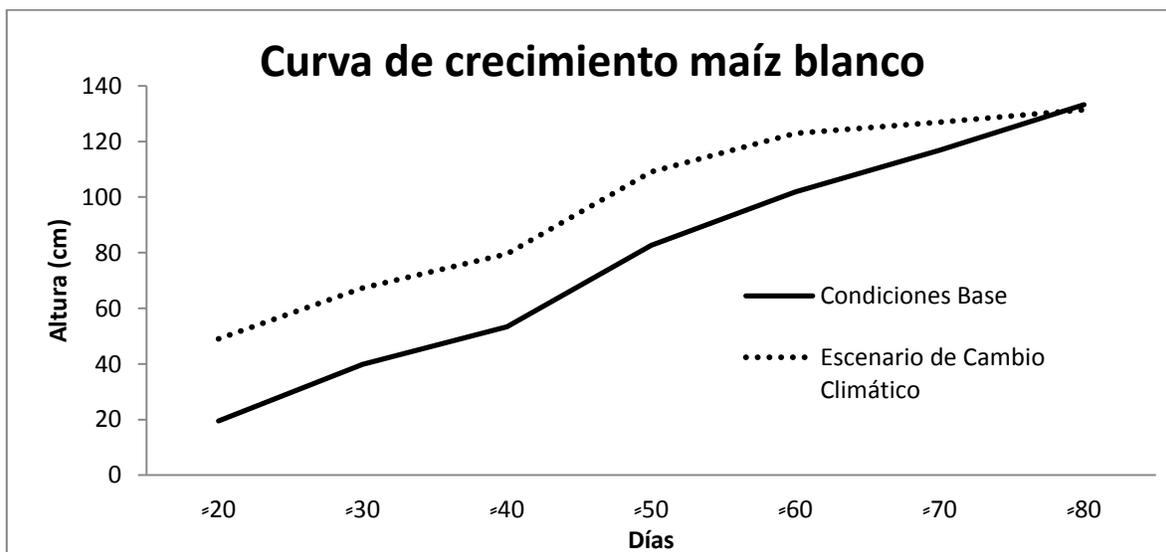


Figura 11. Crecimiento promedio (altura) de maíz blanco en condiciones base (25°C día, 15°C noche, macetas a capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas) y bajo un escenario de cambio climático (30°C día, 20°C noche, macetas al 70% de su capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas).

En el caso del maíz blanco (Fig. 11) las plantas en condiciones de cambio climático tuvieron un mayor crecimiento hasta el día 72 del experimento, sin embargo, la altura final del maíz es la misma ($F_{1,36}=0.09$, $P=0.77$).

El crecimiento más rápido del maíz bajo el escenario de cambio climático puede deberse a que la fotosíntesis óptima para las plantas C_4 es de 30 a 35°C (Dixon 2009). Sin embargo, las variedades de maíz utilizadas no se vieron igualmente afectadas por el cambio en la temperatura y el riego. Este efecto diferenciado del cambio climático sobre las razas de maíz se ha documentado antes (Conde et al. 2000; Conde et al. 2004; Ureta et al. 2012). El maíz blanco tuvo la misma altura final en ambas condiciones mientras que el maíz amarillo tuvo una menor altura final en condiciones de cambio climático; esto sugiere que es más vulnerable al cambio climático que la variedad de maíz blanco. Recordando que el maíz blanco se siembra en la parte más baja y cálida de Pichátaro, y el amarillo en la parte más fría y alta. Reafirmando aquellas razas de maíz más plásticas y que tienen una mayor distribución son menos propensa a los efectos negativos del cambio climático (Ureta et al. 2012).

En este experimento se evaluaron al mismo tiempo condiciones de temperatura elevada y riego reducido que corresponden al escenario de cambio climático utilizado para Michoacán (Sáenz-Romero et al. 2009). Sin embargo, sería importante evaluar los dos atributos por separado para saber a qué atributo ambiental (precipitación o temperatura) es más sensible. De acuerdo al Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2014), el maíz requiere una temperatura entre 25 y 30°C y 5 milímetros diarios de lluvia. En las etapas iniciales solo necesita una humedad constante, y en la fase de crecimiento necesita más cantidad de agua (SIAP 2014). Esto explicaría el rápido crecimiento inicial (favorecido por la temperatura) y posteriormente la disponibilidad de agua no era la necesaria para satisfacer la demanda.

La disponibilidad de agua es muy importante para la ecología y la fisiología del maíz, por lo que el aumento de temperatura y disminución de la precipitación afectará la

fisiología, ecología y la distribución del maíz (Ureta et al. 2012), disminuyendo la superficie óptima para la siembra (Conde et al. 2000).

El rendimiento del maíz en ambientes que actualmente presentan inviernos fríos se incrementará porque las temperaturas aumentarán en esas regiones y por tanto las condiciones serán menos estresantes. Por otra parte, el rendimiento en ambientes tropicales secos generalmente disminuye (Jones y Thornton 2003) como es el caso de gran parte de México. En este sentido es de vital importancia ampliar estudios de todas las variedades de maíz y detectar el rango de condiciones ambientales óptimas para su desarrollo y favorecer el uso de esas variedades en las áreas apropiadas, considerando los cambios ambientales previstos. Así mismo sería importante reconocer las variedades de maíz que dejarán de ser eficientes en las zonas que son cultivadas actualmente y que probablemente desplacen su zona de cultivo óptimo para altitudes diferentes, en este sentido podría sugerirse un cambio en los cultivares de algunas regiones por variedades que estén adaptadas a las nuevas condiciones de una región.

Efecto del aumento de temperatura en el desarrollo de *Spodoptera frugiperda*

Los resultados muestran un efecto significativo del aumento de temperatura sobre el desarrollo de *Spodoptera frugiperda* (Fig. 12) ya que en las condiciones experimentales de cambio climático el tiempo desde que se introdujeron los insectos en el estadio L4 hasta el emergencia de los adultos se reduce más de la mitad, sin embargo, el peso promedio de las pupas fue igual en ambos tratamientos (Fig. 13).

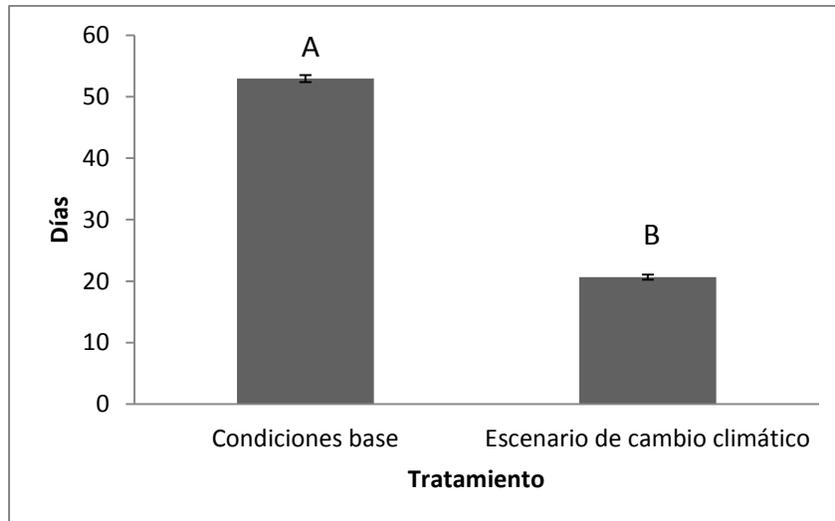


Figura 12. Número de días (promedio \pm EE) en que *Spodoptera frugiperda* completó su fase larvaria y de crisálida. Día 0 el día de la introducción de los insectos al experimento y día final cuando emergió el adulto. Letras diferentes indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Condiciones base: 25°C día, 15°C noche, macetas a capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas. Escenario de cambio climático: 30°C día, 20°C noche, macetas al 70% de su capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas.

En la Figura 12 se puede observar que el tiempo transcurrido en días (52.94 \pm 0.57 condiciones base y 20.66 \pm 0.41 bajo el escenario de cambio climático) desde que se indujo el daño (colocar los insectos en las plantas; día 0) hasta que emergieron los adultos, se acorta por más de la mitad en condiciones de cambio climático ($F_{1,41}=215$, $P \ll 0.0001$).

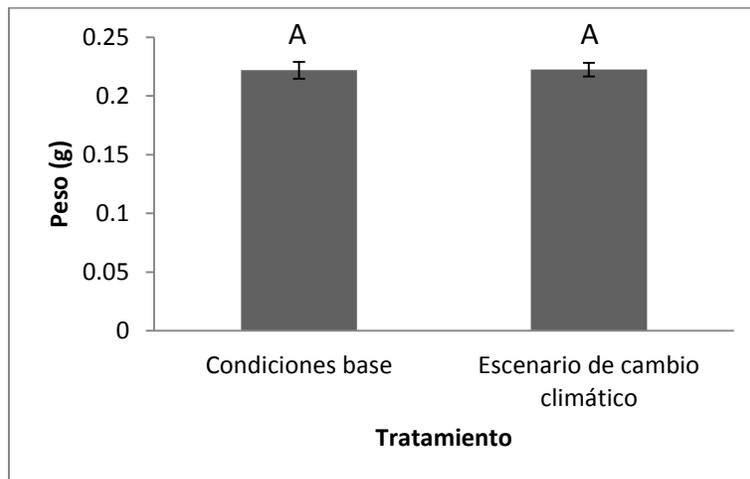


Figura 13. Peso de la pupa de *Spodoptera frugiperda* (promedio \pm EE) como indicador de desarrollo completo. Letras diferentes indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Condiciones base: 25°C día, 15°C noche, macetas a capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas. Escenario de cambio climático: 30°C día, 20°C noche, macetas al 70% de su capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas.

A pesar de las diferencias en el tiempo de desarrollo de la larva, el peso de la pupa no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($F_{1,38}=0.004$, $P =0.95$, Fig. 13). Lo cual indica que a pesar de haber estado menos tiempo en la planta completaron su desarrollo de igual manera.

El desarrollo de *S. frugiperda* como la mayoría de los insectos es termodependiente (véase Barfield & Ashley 1987; Ali et al. 1990; Stamp & Osier 1997), a mayor temperatura el desarrollo se acelera, siendo su óptimo a 30-35°C (Simmons 1993). Este aceleramiento en el desarrollo se ha documentado en otros insectos plaga, por ejemplo, *Neophilaenus lineatus* (Insecta: Hemiptera) que se estima, completará su ciclo de vida entre 2 y 3 semanas antes al haber un aumento de 2°C en la temperatura promedio anual (Whittaker & Tribe 1998).

Como parte de las implicaciones de esta disminución en el tiempo de desarrollo de *S. frugiperda*, es muy probable el aumento en el número de generaciones por año. Esto se ha documentado en varias especies de lepidópteros causado por el surgimiento temprano de las especies, la reproducción temprana y/o por el rápido desarrollo de los individuos como consecuencia de la alta temperatura (Altermatt 2010). *Ostrinia nubilalis* (Insecta: Lepidoptera) y *Leptinotarsa decemlineata* (Insecta: Coleoptera) son plagas que se espera para el 2050 completen más rápido su ciclo de vida y tenga más de una generación por año (Kocmánková et al. 2010). En el caso de *S. frugiperda* esto significaría una mayor presión para el maíz al existir una mayor población de los herbívoros y un mayor periodo de ataque.

Al igual que para la mayoría de las plagas, el control químico es la estrategia principal para combatir *S. frugiperda* en los cultivos (Gómez et al. 2010), lo cual aumenta los costos de producción y disminuye la rentabilidad del cultivo (ICA 2008). Durante el ciclo de cultivo del año 2002 se utilizaron 24 412 toneladas de plaguicidas para México (Mata 2004 citado por Balvanera y Cotler 2009). En años recientes, ha surgido una creciente preocupación sobre los riesgos que tienen los pesticidas en general sobre la salud humana y sobre los animales silvestres (Swinton et al. 2006). De acuerdo con De la

Isla (2009) el uso excesivo de los plaguicidas ha tenido efectos negativos entre los que se encuentran: 1) Inducir a las plagas a desarrollar resistencia, que demanda nuevos y más agresivos plaguicidas, volviéndose un círculo vicioso, 2) contaminación del suelo y del agua; y, 3) efectos negativos en la salud humana y animales silvestres. Sin embargo, la FAO estimó que al suprimirse el uso de plaguicidas, la producción mundial disminuiría entre un 35 y un 40% (De la Isla 2009).

El control de las plagas a través de sus enemigos naturales trae beneficios económicos y ecológicos al reducir las pérdidas en la producción sin los efectos negativos asociados al control químico (Naylor & Ehrlich 1997; Östman et al. 2003), en algunos lugares de Michoacán, por ejemplo, se ha encontrado que este control es tan eficientemente como los plaguicidas (Ramírez-Zamudio 2012 y Ponce-García 2012).

Existen una gran cantidad de enemigos naturales de los insectos plagas (ej. himenópteros parasitoides, coleópteros, dermápteros, arácnidos etc.), cuyo desarrollo también se verá acelerado (Cannon 1998; Logan et al. 2006), aunque es probable que sean más susceptibles a las condiciones ambientales extremas, y que por el contrario disminuyan sus poblaciones o exista un desacoplamiento con sus hospederos (Hance et al. 2007), también, los hongos patógenos podrían disminuir cuando las condiciones ambientales sean más calientes, secas y soleadas (Cammel & Knight 1992), lo que nos dejaría vulnerables a un incremento de brotes y a invasiones de nuevas plagas (Hance et al 2007). La presencia de nuevas plagas causa serios efectos sobre la producción ya que no se está preparado ante ellas, actualmente, han surgido plagas que antes no se consideraban de importancia económica (Balvanera y Cotler 2009).

Efecto del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en la interacción entre *Spodoptera frugiperda* y maíz

El efecto de *Spodoptera frugiperda* sobre el desarrollo del maíz bajo condiciones base fue significativo en ambas variedades (amarillo: $F_{1,38}=18.88$, $P= 0.0001$; y blanco: $F_{1,38}=18.82$, $P= 0.0001$), creciendo menos aquellas plantas donde estuvo presente la oruga en

comparación con su respectivo control (Fig. 14). Este patrón se mantiene en condiciones de cambio climático sólo en la variedad de maíz blanco ($F_{1,38} = 4.1$, $P = 0.05$), para el caso del maíz amarillo se tuvo la misma altura con insectos y sin insectos ($F_{1,33} = 0.133$, $P = 0.72$), sin embargo esta altura es menor que el maíz amarillo sin insectos en condiciones base ($F_{1,36} = 5.739$, $P = 0.022$) pero mayor que la altura con insectos en condiciones base ($F_{1,34} = 4.18$, $P = 0.05$).

Estos resultados muestran un efecto diferenciado del efecto de *S. frugiperda* sobre las variedades de maíz en condiciones de cambio climático. Este patrón sobre el desarrollo de las plantas en el maíz amarillo muestra que cuando las condiciones ambientales no permiten un desarrollo óptimo, es decir, cuando la planta no puede crecer al máximo porque no tiene todos los recursos necesarios, además presenta características físicas o químicas que conllevan a una menor afectación por la acción de los herbívoros, es decir que son más tolerantes a la herbivoría en condiciones de estrés. Este patrón de tolerancia a la herbivoría cuando hay estrés hídrico se ha documentado en pastos (Milchunas et al. 1988) así como cuando hay estrés por nutrientes (Rosenthal and Kotanen 1994). La tolerancia a la herbivoría medida en términos de altura en este experimento, podría verse reflejada en la adecuación de las plantas (número de semillas) y por lo tanto en la producción de grano, ya que la altura del maíz está estrechamente relacionada con el rendimiento (Marenco et al. 1992).

Por otra parte este patrón también puede estar relacionado con una menor palatabilidad y calidad nutrimental del maíz asociada al aumento de temperatura y la disminución de la precipitación (Ayres 1993), donde, a pesar de tener una menor altura, el maíz amarillo tendría una mayor calidad nutrimental que el blanco, y *S. frugiperda* tendría que consumir una mayor cantidad de tejido en el maíz blanco para completar su ciclo. Sin embargo, dado que no se midió la cantidad de tejido foliar removido en cada planta ni tampoco atributos de defensa vegetal en este trabajo, no se puede soportar ninguna de estas dos posibilidades y quedan como hipótesis que sería interesante evaluar en otros experimentos.

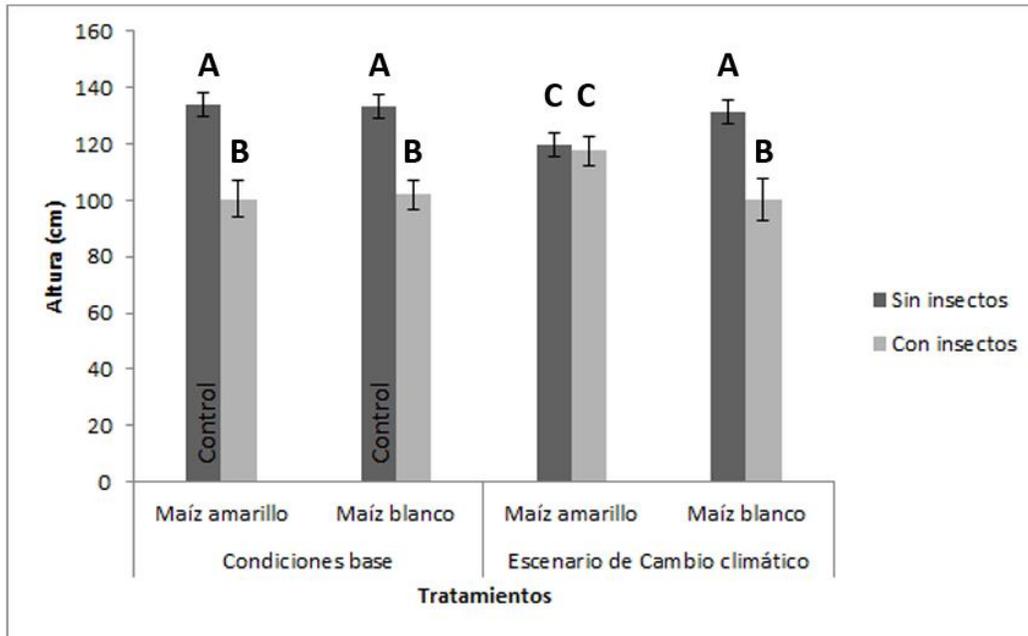


Figura 14. Efecto de la herbivoría y condiciones ambientales contrastantes en la altura del maíz. Altura del maíz por tratamientos (promedio \pm EE). Letras diferentes significan que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Condiciones base: 25°C día, 15°C noche, macetas a capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas. Escenario de cambio climático: 30°C día, 20°C noche, macetas al 70% de su capacidad de campo, fotoperiodo 12 horas.

Conclusiones

El cambio climático tendrá efectos diferenciados sobre las variedades de maíz. El maíz blanco registró la misma altura en condiciones actuales que bajo el escenario de cambio climático. El maíz amarillo tuvo una mayor altura en condiciones base que bajo el escenario de cambio climático. Es necesario evaluar la respuesta fisiológica del maíz ante las condiciones de cambio climático por separado (temperatura, precipitación, concentración de CO₂, etc.) y detectar a qué componente es más vulnerable.

El aumento de la temperatura acelera el desarrollo de *Spodoptera frugipeda*, esta aceleración puede dificultar su control como plaga y aumentar las pérdidas económicas y de producción asociadas a esta plaga. Sin embargo, aún es necesario realizar más estudios que consideren a toda la comunidad de herbívoros del maíz y sus depredadores para tener una visión general y más completa de los efectos del cambio climático sobre la comunidad. También es necesario realizar estudios donde se evalúe el desarrollo S.

frugiperda en diversas temperaturas para detectar las condiciones en las que se da su desarrollo óptimo.

En este estudio se observó un efecto diferenciado de la herbivoría sobre el desarrollo de dos variedades de maíz. El maíz amarillo bajo el escenario de cambio climático registró una altura igual tanto en el tratamiento con herbivoría como sin ella, esta altura es mayor que el tratamiento en condiciones base sin insectos pero menor que en el control.

Debido a esto resulta necesario e interesante realizar más trabajos que evalúen el impacto de la herbivoría en el desarrollo. El crecimiento completo de la planta, hasta llegar a madurez fisiológica, y la producción de biomasa. También sería muy importante estudiar otras variedades de maíz y que nos permitan comprender bajo qué condiciones y que variedades de maíz toleran o resisten la herbivoría.

Este trabajo contribuye a detectar los efectos que tendrá el cambio climático sobre la agricultura. Pero aún es necesario realizar más investigación para comprender mejor el problema ante el que nos enfrentamos, detectar nuestras vulnerabilidades ante el cambio climático nos dará una mayor oportunidad de adaptación.

Literatura consultada

Albritton DL y LG Meira Filho. 2001. *Technical summary*. En: Houghton JT, Y Ding, DJ Griggs, M Noguer, PJ van der Linden, X Dai, K Maskell y CA Johnson (eds.). *Climate change 2001: The scientific basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change 2001. Cambridge University Press. 21-83 pp.

Ali A, RG Luttrell y JC Schneider. 1990. Effects of temperature and larval diet on development of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America* 83(4): 725-733

Altermatt F. 2010. *Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths*. *Proceeding of the Royal Society* 277(1685): 1281-1287

Altieri, Miguel y Clara I. Nicholls. 2006. *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. En: *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. PNUMA y UACH. México 205: 221

Araus JL, C Sánchez y GO Edmeades. 2010. *Maíz tropical: fisiología del rendimiento y adaptación a sequía*. En: de León C y R Rodríguez Montessoro (Coord.). *El cultivo del maíz Temas Selectos II*. Mundi-Prensa México DF: 61-76

Arriaga L y L Gómez. 2004. *Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México*. En: Martínez J y A Fernández (Comps.) *Cambio climático. Una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología, México, 227-238

Asch MV, PHV Tienderen, LJM Holleman y ME Visser. 2007. *Predicting adaptation of phenology in response to climate change, an insect herbivore example*. *Global Change Biology* (13): 1596-1604

Ayres MP. 1993. Plant defense, herbivory and climate change. En: Kareiva MP, JG Kingsolver y RB Huey (Eds.). *Biotic interactions and climate change*, Sinauer Associates, Sunderland, MA: 75-94

Bale JS, GJ Masters, ID Hodkinson, C Awmack, TM Bezemer, VK Brown, J Butterfield, A Buse, JC Coulson, J Farrar, JEG Good, R Harrington, S Hartley, TH Jones, RL Lindroth, MC Press, I Symrnioudis, AD Watt y JB Whittaker. 2002. *Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insects herbivores*. *Global Change Biology* 8: 1-16

Balvanera P y H Cotler. 2009. *Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. Capital natural de México*. México, DF. Vol. 2 Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO: 185-245

Banco Mundial 2009. *Mexico: Country note on Climate Change Aspects in Agriculture*. Banco Mundial. Lacagccnotes, 14 pp (www.worldbank.org/lacagccnotes).

Banco Mundial 2014. *Global Consumption Database*. World Bank Open Data. Disponible en: <http://datatopics.worldbank.org/consumption/>

Barfield CS y TR Ashley. 1987. *Effects of corn phenology and temperatre on the lifecycle of the Fall Armyworm Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)*. *The Florida Entomologist* 70(1): 110-116

Barkin D. 2003. *El maíz y la economía*. En: G Esteva y C Marielle (eds). *Sin maíz no hay país*. Culturas Populares de México, México, D.F. 155-176

Barrera-Bassols N. 2003. *Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales*. Tesis de doctorado para obtener el título de PhD in Earth Sciences. Ghent University. Vol I y II. ITC Dissertation 102.

Barrera-Bassols N, M Astier, Q Ramírez. 2009. *El concepto de Tierra y la diversidad de maíz en una comunidad purhépecha*. Ciencias 96: 28-37

Beserra E, CTDS Dias, JRP Parra. 2002. *Distribution and natural parasitism of spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) eggs at different phenological stages of corn*. Florida Entomological Society 85 (4): 588-593

Beutelspacher Baigts, CR y MA Balcázar Lara. 1999. *Lepidoptera*. En: Deloya-López Aristeo Cuahtémoc y Valenzuela-González, Jorge Ernesto (eds.). 1999. *Catálogo de insectos y ácaros plaga de los Cultivos Agrícolas de México*. Sociedad Mexicana de Entomología 83, 98 pp.

Cammel ME y JD Knight. 1992. *Effects of climatic change on the population dynamics of crop pests*. Advances in ecological research 22: 117-162

Cannon RJ. 1998. *The implication of predicted climate change for insect pest in the UK, with emphasis on non-indigenous species*. Global Change Biology 4: 785-796

CEPAL 2007. *Socioeconomic vulnerability to natural disasters in Mexico: rural poor, trade and public response*. CEPAL. United Nations, Mexico, DF. 64 pp.

Chapman JW, T Williams, A Escibano, P Caballero, RD Cave y D Goulson. 1999. *Fitness consequences of cannibalism in the fall armyworm, Spodoptera frugiperda*. Behavioral Ecology 10: 298-303

Chapman JW, T Williams, AM Martínez, J Cisneros, P Caballero, RD Cave y D Goulson. 2000. *Does cannibalism in Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae) reduce the risk of predation?*. Behavioral Ecology and Sociobiology 48: 321-327

Christensen JH y B Hewiston, A Busuioc, A Chen, X Gao, I Held, R Jones, RK Kolli, WT Kwon, R Laprise, V Magaña Rueda, L Means, CG Menéndez, J Räisänen, A Rinke, A Sarr y P Whetton. 2007. *Regional climate projections*. En: Solomon S, D Qin, M Manning, Z Chen,

M Marquis, KB Averyt, M Tignor y HL Miller (eds.) 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, 847–940 pp.

Conde C, D Liverman, M Flores, R Ferrer, R Araujo, E Betancourt, G Villarreal y C Gay. 1997. *Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change*. Climate research 9: 17-23

Conde C, RM Ferrer y D Liverman. 2000. *Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZE*. En C. Gay García (Comp.), México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Universidad Nacional Autónoma de México. DF, México, 93-110 pp.

Conde C, RM Ferrer, C Gay y R Araujo. 2004. *Impactos del cambio climático en la agricultura en México*. En: Martínez J y A Fernández (comps.) Cambio climático. Una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, México, 227-238 pp.

Cruz I, LJ Oliveira, AC Oliveira y CA Vasconcelos. 1996. Efeito do nível de saturação de alumínio em solo ácido sobre os danos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) em milho. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 25(2): 293-297

Cruz I, MLC Figueiredo, AC Oliveira y CA Vasconcelos. 1999. *Damage of Spodoptera frugiperda (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation*. International journal of pest management 45(4): 293-296

Davidson RD y WF Lyon. 1992. *Plagas de insectos Agrícolas y del jardín*. Limusa. México. 743 pp.

De la Cruz Abarca C. 2005. *Una apuesta para el aprovechamiento de los servicios del agroecosistema: propuesta para el manejo agroecológico de plagas*. Agricultura: cultivando con la naturaleza. Leisa Revista de agroecología. Lima. 20(4): 38-39

Dixon GR. 2009. *The impact of climate and global change on crop production*. En: TM Letcher (ed.) *Climate Change. Observed impacts on planet Earth*. Elsevier 307, 324 pp.

ENCC 2013. *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10 320 40* Gobierno de la República

Eakin H. 2005. *Institutional change, climate risk and rural vulnerability cases from Central Mexico*. *World Development* 33(11): 1923-1938

FAO 2011. *Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina. Potenciales impactos y desafíos para la adaptación*. FAO. Concepción, Chile.

FAO 2012. *FAO Statistical Yearbook 2012*. FAO. Roma, Italia.

FAO 2013. *Climate-Smart Agriculture*. FAO. 557 pp.

FAO 2014. FAOSTATE Online Database. Base de datos de la FAO (Disponible en línea: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>). Consultado en julio del 2014.

FIRA 2012. *Panorama agroalimentario: Maíz 2012*. Dirección de Investigación Económica y Sectorial. FIRA, México, 23 pp.

Fischer G, M Shah, H van Velhuizen. 2002. *Climate change and agricultural vulnerability*. IIASA. Johannesburg, 152 pp.

Garduño R. 2004. *¿Qué es el efecto invernadero?*. En: Martínez J. y A. Fernández (Coord.). *Cambio climático: Una visión desde México*. SEMARNAT e INE. México, DF 29-39

Gómez Valderrama JA, EJ Guevara Agudelo, GP Barrera Cubillos, AM Cotes Prado y LF Villamizar Rivero. 2010. *Aislamiento, identificación y caracterización de nucleopoliedrovirus nativos de Spodoptera frugiperda en Colombia*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63(2): 5511-5520

Hance T, J van Baaren, P Vernon, G Boivin. 2007. Impact of Extreme Temperatures on Parasitoids in a Climate Change Perspective. *Annual Review of Entomology*. 52:107–26

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2008. *Resolución No. 000879*. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia, 1-5

INEGI 2013. *Anuario de estadísticas por entidad federativa 2012*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México

INEGI 2014. *México en Cifras*. Base de datos INEGI. Disponible en: www.inegi.org.mx/sistemas/mexicoencifras

IPCC 1995. *Segunda Evaluación Cambio Climático 1995*. Informe del grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. IPCC, Ginebra, Suiza.

IPCC 2000. *Informe Especial del IPCC Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas*. Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. IPCC, Ginebra, Suiza. 20 pp.

IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton JT, Y Ding, DJ Griggs, M Noguer, PJ van der Linden, X Dai, K Maskell y CA Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA, 881 pp.

IPCC 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

IPCC 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

[Stocker TF, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex y PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA, 1535 pp.

Joern A, JD Logan, W Wolessensky. 2005. *Effects of global climate change on agricultural pests: possible impacts and dynamics at population, species interaction, and community levels*. In: Lal R, BA Stewart, N Uphoff y DO Hansen (eds.). *Climate Change and Global Food Security* (Capítulo 13). CRC Press, Boca Raton, FL: 321–362

Jones PG y PK Thornton. 2003. *The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055*. *Global Environmental Change* 13: 51-59

Kato TA, Mapes C, Mera LM, Serratos JA y Bye RA. 2009. *Origen y diversificación del Maíz. Una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México, DF, 116 pp.

Kocmánková E, M Trnka, J Eitzinger, H Formayer, M Dubrovský, D Semerádová, Z Žalud, J Juroch, M Možný. 2010. *Estimating the impact of climate change on the occurrence of selected pest in the Central European region*. *Climate Research* 44: 95-105

Logan JD, W Wolessensky y A Joern. 2006. *Temperature-dependent phenology and predation in arthropod systems*. *Ecological Modelling* 196: 471-482

Martínez-Austria 2007. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. SEMARNAT.

Mera LM y C Mapes. 2009. *El maíz. Aspectos biológicos, Clasificación taxonómica del género Zea y parientes silvestres*. En: Kato TA, C Mapes, LM Mera, JA Serratos y RA Bye (eds.). *Origen y diversificación del Maíz Una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México, DF, 116 pp.

Magaña V. 1999. *Los impactos de El Niño en México*. UNAM y Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, México.

Magaña Rueda VO. 2004. *El cambio climático global: comprender el problema*. En: Martínez J. y A. Fernández (Coord.). *Cambio climático: Una visión desde México*. SEMARNAT e INE. México, DF, 17- 27 pp.

Marengo RJ, RE Foster y CA Sánchez. 1992. *Sweet corn response to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) damage during vegetative growth*. *Journal of Economic Entomology* 85(4): 1285-1292

McCarty JP. 2001. *Ecological consequences of recent climate change*. *Conservation Biology* 15(2): 320-331

Myers N. 1995. Environmental unknowns. *Science* 269: 358-360

Naylor RL y PR Ehrlich. 1997. *Natural pest control services and agriculture*. En: Daily GC (ed.). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC: Island Press: 151–174

O'Brien KL y RM Leichenko. 2000. *Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization*. *Global Environmental Change* 10(3): 221-232

ONU 2009. *World Urbanization Prospects, the 2009 Revision*, División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. New York, EUA. 47 pp.

Orozco Ramírez Q. 2007. *El sistema alimentario del maíz en Pátzcuaro, Michoacán*. Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

Ortega C A. 1987. *Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en campo*. CIMMYT, México, DF, 106 pp.

Östman Ö, B Ekbom y J Bengtsson. 2003. *Yield increase attributable to aphid predation by groundliving polyphagous natural enemies in spring barley in Sweden*. *Ecological Economy* 45:149–158

Palacios-Vélez E. 2010. *La importancia del riego en la producción de maíz en México*. En: De León C y Rodríguez-Montessoro R (Coord.) *El Cultivo del Maíz Temas Selectos II*. Mundi-Prensa. México DF: 175-190

Parmesan C. 2006. *Ecological and evolutionary responses to recent climate change*. *The Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637-669

Parry M. 1993. *Climate change and the future of Agriculture*. En: *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 3(1-3) : 13-30.

Parry ML, C Rosenzweig, A Iglesias, M Livermore, G Fischer. 2004. *Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios*. *Global Environmental Change* 14: 53-67

Pelini SL, KM Prior, DJ Parker, JDK Dzurisin, RL Lindroth y JJ Hellmann. 2009. *Climate change and temporal and spatial mismatches in insect communities*. En: Letcher TM (ed.) *Climate Change. Observed impacts on planet Earth*. Elsevier:215-231

Ponce-García I. 2012. *Comunidades de artrópodos asociados al cultivo de maíz en parcelas orgánicas y convencionales en Erongarícuaro, Michoacán*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán, México.

Porter JH, ML Parry y TR Carter, 1991. *The potential effects of climatic change on agricultural insect pest*. *Agricultural and Forest Meteorology* 57: 221-240.

Ramírez-Zamudio EG. 2012. *Efectos de la comunidad de artrópodos asociada al cultivo de maíz en un gradiente de tecnificación, situación actual*. Tesis para obtener el título de Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Autónoma de México. Michoacán, México.

Reyes Castañeda P, CA Reyes Méndez y FE Reyes Méndez. 2002. *Introducción a la agronomía*. Trillas. México, DF, 239 pp.

Rodríguez del Bosque LA y AM Jarillo. 2008. *Insectos plaga y su control*. En Rodríguez Montessoro, Rafael y De León Carlos (eds.). *El cultivo del Maíz Temas Selectos I*. Mundi-Prensa México, México, DF: 29-46 pp.

Sáenz-Romero C, GE Rehfeldt, NL Crookston, P Duval y J Beaulie. 2009. *Estimaciones de cambio climático para Michoacán. Implicaciones para el sector agropecuario y forestal y para la conservación de la Mariposa Monarca*. Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán C+Tec. Innovación es solución a mi alcance Serie 3, número 28, 22 pp.

Sáenz-Romero C, GE Rehfeldt, NL Crookston, P Duval, R St-Amant, J Beaulie y BA Richardson. 2010. *Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation*. *Climate change* 102: 595-623

SAGARPA. 2007. *Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, 208 pp.

SIAP 2014. *Cierre de la producción agrícola por estado*. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Datos disponibles en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>

Simmons AM. 1993. *Effects of constant and fluctuating temperatures and humidities on the survival of Spodoptera frugiperda pupae* (Lepidoptera: Noctuidae). The Florida Entomologist 76(2): 333-340

Speight MR, MD Hunter y AD Watt. 2009. Ecology of Insects. Concepts and Applications. Second Editions. Wiley-Blackwell. Reino Unido, 628 pp.

Stamp NE y TL Osier. 1997. *Combined effects of night-time temperature and allelochemicals on performance of a generalist insect herbivore*. Entomologia Experimentalis et Applicata 83: 63-72

Stocker TF, D Qin, GK Plattner, LV Alexander, SK Allen, NL Bindoff, FM Bréon, JA Church, U Cubasch, S Emori, P Forster, P Friedlingstein, N Gillett, JM Gregory, DL Hartmann, E Jansen, B Kirtman, R Knutti, K Krishna Kumar, P Lemke, J Marotzke, V Masson-Delmotte, GA Meehl, II Mokhov, S Piao, V Ramaswamy, D Randall, M Rhein, M Rojas, C Sabine, D Shindell, LD Talley, DG Vaughan y SP Xie. 2013. *Technical Summary*. En: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, D Qin, GK Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex y PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA.

Swinton, SM, F Lupi, GP Robertson y DA Landis. 2006. *Ecosystem Services from agriculture: Looking beyond the usual suspects*. American Journal of Agricultural Economics 88(5):1160-1166

Ureta C, E Martínez-Meyer, HR Perales y ER Álvarez-Buylla. 2012. *Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico*. Global Change Biology 18: 1073-1082

Villers L e I Trejo. 1998. *Climate change on Mexican forests and natural protected areas*. Global Environmental Change 8(2): 141-157

Villers L e I Trejo. 2004. *Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales*. En: Martínez J y A Fernández (comps.) Cambio climático. Una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, México, 227-238

Whittaker JB y NP Tribe 1998. *Predicting numbers of an insect (Neophilaenus lineatus: Homoptera) in a changing climate*. Journal of Animal Ecology 67: 987-991

Williams SE, LP Shoo, JL Isaac, AA Hoffmann, G Langham. 2008. *Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change*. PLoS Biol 6(12): 2621-2626