



## Climate change effects on thermal requirements and number of broods of whitefly (*Bemisia tabaci*) in the north-central region of Mexico.

### Impacto del cambio climático sobre los requerimientos térmicos y número de generaciones de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) en el norte centro de México

Nadiezhdá Ramírez-Cabral<sup>1</sup>; Jaime Mena-Covarrubias<sup>1</sup>; Guillermo Medina-García<sup>1\*</sup>; José Ariel Ruiz-Corral<sup>2</sup>; José Israel Casas Flores<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 24.5 carretera Zacatecas-Fresnillo, Calera, Zac., México.

<sup>2</sup>Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Ramón Padilla Sánchez Núm. 2100 Nextipac, C. P. 44600, Zapopan, Jalisco, México.

\*Corresponding author: medina.guillermo@inifap.gob.mx

#### Abstract

**C***apsicum annuum* L. pepper is an economically important crop in Mexico. *Bemisia tabaci* whitefly is a pest that attacks this crop. Whitefly can transmit more than 200 viruses and cause severe losses to pepper crops. The objective of this research was to know the possible effect of climate change on thermal requirements and the number of broods of *B. tabaci* in the north-central region of Mexico. The number of hours at which the temperature was inside and outside of the optimal ranges (as defined by the cardinal temperatures), and the number of generations were estimated. Maps of the current climate scenario were generated (1981-2010) and for the periods 2030, 2050, and 2070 for RCP 4.5 and 8.5. A favorable effect of climate change is observed in future climate scenarios in the north-central region of Mexico, as well as in the increase of the number of broods in the growing pepper season (April-October); this could decrease the yield of the crop due to the negative effect of this pest. This pest is expected to spread to regions where increased temperatures eliminate frost, allowing populations of this pest throughout the year.

**Keywords:** Pepper, *Capsicum annuum*, hourly temperatures, pests, RCP

#### Resumen

**E**l chile (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo de importancia económica en México. Este cultivo es atacado por la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*). La mosquita causa daño a la planta y transmite más de 200 virus provocando pérdidas severas. El objetivo de esta investigación fue conocer el efecto posible del cambio climático sobre los requerimientos térmicos y el número de generaciones de *B. tabaci* en el norte centro de México. El número de horas en que la temperatura estuvo dentro y fuera de los rangos óptimos (definidos por las temperaturas cardinales) y el número de generaciones que fueron estimadas. Mapas del escenario climático actual (1981-2010) y de los años 2030, 2050 y 2070, RCP's 4.5 y 8.5 fueron generados. Lo apreciable es un efecto favorable del calentamiento global en escenarios climáticos futuros en las RCP's 4.5 y 8.5, así como en el incremento del número de generaciones en el ciclo agrícola abril-octubre; esto podría repercutir en la disminución del rendimiento de chile debido al efecto negativo de esta plaga. Lo esperable es que esta plaga se expanda a regiones donde el aumento de la temperatura elimine las heladas, permitiendo poblaciones de este insecto plaga durante todo el año.

**Palabras clave:** Chile, *Capsicum annuum*, temperaturas horarias, RCP



## Introduction

*Capsicum annuum* L. pepper is native to the Americas. Currently, pepper is grown worldwide and produces a highly valued fruit used as a vegetable or as a spice for seasoning various dishes (Madhavi et al., 2016). In 2019, Mexico produced 60 706 t of dried pepper and was ranked 14th globally, surpassed by India, Thailand and China, among others. However, in terms of green pepper production, Mexico ranked second with 3'238 245 t, surpassed by China with a production almost six times higher (FAO, 2021). In Mexico, pepper is grown mainly in the north-central states of the country (Mexican Altiplano). These states contribute to more than 96 % of the national production: Zacatecas, 48.9%; San Luis Potosí, 28.6%; Chihuahua, 14.5%; and Durango, 4.4% (SIACON, 2020). Due to its economic importance, several pepper breeding programs seek to involve resistance to pests and diseases (Mongkolporn and Taylor, 2011).

Peppers are frequently affected by insect pests such as whiteflies (Brown and Bird, 1992). The whitefly (*Bemisia tabaci*) (Gennadius) (Hemiptera:Aleyrodidae) is a polyphagous pest, with incomplete metamorphosis, no diapause and can reproduce throughout the year. This pest is considered important for several crops worldwide and has been recorded on more than 600 hosts from 74 families ranging from vegetables, ornamentals, industrial crops and wild plants. Its hosts are generally dicotyledonous plants. This pest is distributed in the five continents. In Mexico, it is widely distributed in temperate, tropical and subtropical climates (Naranjo et al., 2009; Ortega & Carapia, 2020; Kriticós et al., 2020).

*Bemisia tabaci* is capable of transmitting more than 200 viruses; of all the viruses they transmit, those of the begomovirus genus are the main causes of crop losses, with percentages of 20 to 100 %; such losses are valued in millions of dollars (Sani et al., 2020; Perring, 2001; Brown, 2010). One of the cases corresponds to the pepper leaf curl virus, a disease that can be very severe and cause 100 % crop loss (Thakur et al., 2018).

The population dynamics of communities of living organisms is affected by environmental changes, especially temperature (Kiritani, 2006). With climate change, it is expected that by 2050 the average temperature of the Earth's atmosphere will increase by 2 to 5 °C or more (IPCC, 2014). The increase in temperature due to global warming brings with it an increase in hourly temperatures (Medina et al., 2017). Because insects are poikilothermic organisms, their growth and development will also be influenced by changes in climate that will have as consequences: changes in geographic distribution, changes in population development rates, increase in the number

## Introducción

El chile (*Capsicum annuum* L.) es originario del continente americano. Actualmente, el chile se siembra en el mundo y produce un fruto muy cotizado usado como vegetal o como especie para sazonar diversos platillos (Madhavi et al., 2016). En 2019, México produjo 60 706 t de chile seco y fue el 14 lugar a nivel mundial, superado por la India, Tailandia y China, entre otros. Sin embargo, en cuanto a producción de chile verde, México ocupó el segundo lugar con 3'238 245 t, superado por China con una producción casi seis veces mayor (FAO, 2021). En México, el chile se cultiva, principalmente, en los estados del norte centro del país (Altiplano mexicano). Estos estados aportan más del 96 % de la producción nacional: Zacatecas, 48.9 %; San Luis Potosí, 28.6 %; Chihuahua, 14.5 %; y Durango, 4.4 % (SIACON, 2020). Debido a su importancia económica, varios programas de mejoramiento genético de chile buscan involucrar resistencia a plagas y enfermedades (Mongkolporn y Taylor, 2011).

El cultivo de chile es afectado frecuentemente por insectos plaga como la mosquita blanca del tabaco (Brown y Bird, 1992). La mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) (Gennadius) (Hemiptera:Aleyrodidae) es una plaga polífaga, con metamorfosis incompleta, sin diapausa y se puede reproducir durante todo el año. Esta plaga es considerada como importante para varios cultivos en todo el mundo y se ha registrado en más de 600 hospederas de 74 familias desde hortalizas, plantas ornamentales, cultivos industriales y plantas silvestres. Sus hospederos son, generalmente, plantas dicotiledóneas. Esta plaga se encuentra distribuida en los cinco continentes. En México se encuentra distribuida ampliamente en climas templados, tropicales y subtropicales (Naranjo et al., 2009; Ortega & Carapia, 2020; Kriticós et al., 2020).

*Bemisia tabaci* es capaz transmitir más de 200 virus; de todos los virus que transmiten, los del género begomovirus son los causantes principales de pérdidas en las cosechas, con porcentajes del 20 al 100 %; tales pérdidas se valoran en millones de dólares (Sani et al., 2020; Perring, 2001; Brown, 2010). Uno de los casos corresponde a la hoja rizada en chile, enfermedad que puede ser muy severa y causar el 100 % de pérdida del cultivo (Thakur et al., 2018).

La dinámica poblacional de las comunidades de organismos vivos es afectada por los cambios ambientales, especialmente por la temperatura (Kiritani, 2006). Con el cambio climático se espera que en el año 2050 la temperatura promedio de la atmósfera terrestre se incremente de 2 a 5 °C o más (IPCC, 2014). El incremento de la temperatura debido al calentamiento global trae consigo un aumento de las temperaturas horarias (Medina et al., 2017). Debido

of broods per year or per cycle, development season extension, changes in crop-insect synchrony, changes in interspecific interactions and increased risk of pest invasion (Porter et al., 1991).

Greenhouse gas (GHG) emissions scenarios are used in climatology to provide descriptions of how the future may evolve in relation to a range of variables including socioeconomic change, technological change, energy and land use, GHG emissions and air pollutants. These elements are used as input for running climate models and as a basis for assessing potential climate impacts and mitigation options and related costs (Van Vuuren et al., 2011).

To understand the effect of GHG and apply possible adaptation measures, the IPCC established reference emission scenarios, based on which projections are made. Currently, Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios are used (IPCC, 2014). The emissions scenarios start from four different GHG RCP, called RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 and RCP 8.5, which describe the relationships between the main demographic, economic and technological forces that determine future GHG emissions. The first is a small emissions trajectory, the second and third are intermediate emissions trajectories, and the fourth is a large emissions trajectory (Van Vuuren et al., 2011).

Currently, climate change represents one of the main problems faced by the agricultural sector; rising temperatures may increase the risk of invasion of insect pests from tropical to temperate zones, such as the *Bemisia tabaci* whitefly. The objective of this research was to determine the possible effect of global warming on thermal requirements and the number of broods of *Bemisia tabaci* whitefly by considering future climate scenarios in the north-central region of Mexico.

## Materials and Methods

The study area includes the main dry pepper producing states of north-central Mexico: Chihuahua, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato and San Luis Potosí. Daily maximum and minimum temperature data from 131 meteorological stations of the National Meteorological Service with more than 30 years of records and more than 90 % of data, located in these states, were selected to achieve the proposed objective. The study area, the areas with potential for pepper production (Medina et al., 2017) and the location of these stations are shown in Figure 1.

Hourly temperatures were estimated for the entire historical series of station data from daily maximum and minimum temperature data with the model proposed by Snyder (1985). These data were accounted for each cardinal temperature range corresponding to

a que los insectos son organismos poiquilotermos, su crecimiento y desarrollo también estarán influenciados por cambios en el clima que tendrán como consecuencias: cambios en la distribución geográfica, cambios en las tasas de desarrollo de las poblaciones, incremento del número de generaciones por año o por ciclo, extensión de la temporada de desarrollo, cambios en la sincronía cultivo-insecto, cambios en las interacciones interespecíficas y aumento del riesgo de invasión de plagas migrantes (Porter et al., 1991).

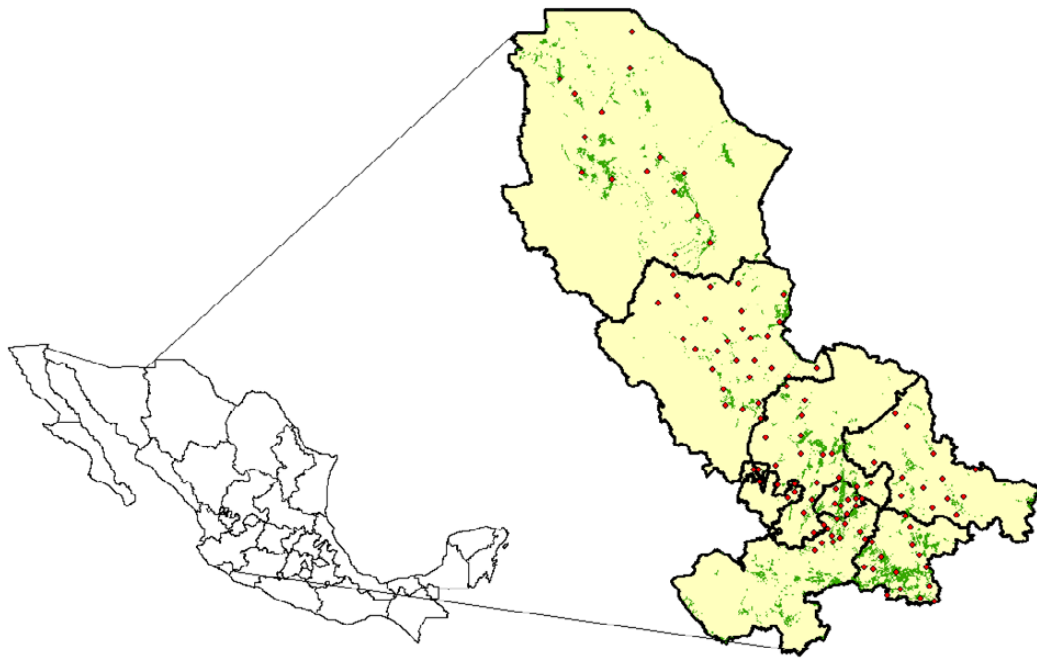
Los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se utilizan en la climatología para proporcionar descripciones de cómo puede evolucionar el futuro con respecto a una gama de variables que incluyen el cambio socioeconómico, el cambio tecnológico, el uso de energía y tierra, las emisiones de GEI y contaminantes del aire. Esos elementos se utilizan como insumo para la ejecución de modelos climáticos y como base para la evaluación de posibles impactos climáticos y opciones de mitigación y costos asociados (Van Vuuren et al., 2011).

Para entender el efecto de los GEI y aplicar medidas de adaptación posibles, el IPCC estableció los escenarios de emisiones de referencia, con base en los cuales se realizan las proyecciones. Actualmente, los escenarios de Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés) se utilizan (IPCC, 2014). Los escenarios de emisiones parten de cuatro diferentes RCP's de GEI, denominadas RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5, que describen las relaciones entre las fuerzas demográficas, económicas y tecnológicas principales que determinan las emisiones futuras de los GEI. El primero es una trayectoria de emisiones pequeñas, el segundo y el tercero son trayectorias de emisiones intermedias y el cuarto es una trayectoria de emisiones grandes (Van Vuuren et al., 2011).

Actualmente, el cambio climático representa uno de los problemas principales que enfrenta el sector agrícola; el aumento de temperaturas puede incrementar el riesgo de invasión de insectos plaga desde las zonas tropicales hacia las zonas templadas, como puede ser el caso de la mosquita blanca del tabaco, *Bemisia tabaci*. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto posible del calentamiento global sobre los requerimientos térmicos y el número de generaciones de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) mediante la consideración de escenarios climáticos futuros en la región norte centro de México.

## Materiales y métodos

El área de estudio comprende los principales estados productores de chile seco del norte centro de México: Chihuahua, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato y San Luis Potosí. Los datos diarios



**Figure 1. Study area, areas with potential for dry pepper production and meteorological stations used (Medina et al., 2017).  
Figura 1. Zona de estudio, áreas con potencial para la producción de chile seco y estaciones climáticas utilizadas (Medina et al., 2017).**

whiteflies (Table 1), according to the temperature value, during the growing cycle (April-October).

Regression models for the growing season April to October were generated to elaborate maps with the number of hours of temperature for each range; for this purpose, only 61 stations were selected at the national level covering different environments. The number of hours of temperature for each range was calculated and related to average maximum and minimum temperatures in the same growing season. Thus, a model was found for each range for the spring-summer crop cycle (April-October).

On the other hand, Heat Units (HU) for whitefly were estimated with the thresholds 10 and 35 °C (Bonato et al., 2007), for the climate stations of the north-central region of Mexico, for the months of April to October. With these monthly HU data and monthly temperature data, models were estimated to generate HU maps. The number of broods of this pest, regarding that a brood requires 317 HU (Ahn et al., 2001; Awadalla et al., 2014), was estimated from the monthly HU maps.

The climate change information system of Mexico provided by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Ruiz-Corral et al., 2016) was used to estimate the possible effect of climate change on the number of hours of cardinal temperatures; this system consists of baseline climate for the period 1961-2010 and climate for the years

de temperaturas máxima y mínima de 131 estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional con más de 30 años de registros y más de 90 % de datos, localizadas en esos estados, se seleccionaron para lograr el objetivo planteado. El área de estudio, las áreas con potencial para la producción de chile (Medina et al., 2017) y la ubicación de las estaciones se aprecian en la Figura 1.

Las temperaturas horarias se estimaron para toda la serie histórica de datos de las estaciones a partir de los datos diarios de temperaturas máxima y mínima con el modelo propuesto por Snyder (1985). Estos datos se contabilizaron para cada rango de temperaturas cardinales correspondientes a mosquita blanca (Cuadro 1), de acuerdo con el valor de la temperatura, durante el ciclo de cultivo (abril-octubre).

Modelos de regresión para el ciclo de cultivo abril a octubre fueron generados para elaborar mapas con el número de horas de temperatura de cada rango; para lo cual se seleccionaron únicamente 61 estaciones a nivel nacional abarcando diferentes ambientes. El número de horas de temperatura para cada rango fue calculado y se relacionó con temperatura máxima y mínima medias en el mismo periodo de cultivo. Así se obtuvo un modelo para cada rango para el ciclo de cultivo primavera – verano (abril-octubre).

Por otra parte, Unidades calor (UC) para mosquita blanca fueron estimadas con los umbrales 10 y 35 °C (Bonato et al., 2007), para las estaciones de clima de

**Table 1. Threshold and optimum values of cardinal temperatures for *Bemisia tabaci* whitefly, a pest of dry pepper grown in this study region.**

**Cuadro 1. Valores umbrales y óptimos de temperaturas cardinales para mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), plaga de chile seco cultivado en la región de estudio.**

Species/Especie	Lower threshold/ Umbral inferior	Optimal/ Óptimo	Upper threshold/ Umbral superior
<i>Bemisia tabaci</i>	9	28 - 33	35

2041 to 2080 in GHG RCP 4.5 and 8.5. These climates were taken from information from the WorldClim data portal used to generate an ensemble model integrated by 11 general circulation models (BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M) downscaled, calibrated (Walton et al., 2013) and selected for Mexico.

An intermediate emissions RCP (4.5), consistent with a future with relatively ambitious emission reductions, and a large emissions RCP (8.5), consistent with a future with no policy changes to reduce emissions (Van Vuuren et al., 2011), as well as maximum temperature and minimum temperature values for the years 2021 to 2080 were used. With the monthly data, annual data were obtained for the climate scenarios 2021-2040, 2041-2060 and 2061-2080, hereafter referred to as climates of the years 2030, 2050 and 2070, respectively.

## Results and Discussion

The hourly temperature data were fitted to a linear regression model with real hourly data for validation, resulting in an  $R^2 = 0.9$ , meeting the 1:1 validation assumption; that is, the intercept was statistically equal to zero and the slope statistically equal to one (Fritz et al., 1997; Medina-García et al., 2019).

### Climate scenarios

Regression models were created for the 61 stations distributed throughout the country relating the number of hours of temperature of each range of cardinal temperatures, with the average maximum and minimum temperatures of the crop cycle from April to October. These models had  $R^2$  values between 0.863 and 0.926. All models showed a  $P = <0.0001$  (Table 2). With these models, maps of the number of hours of each of the whitefly threshold ranges or temperatures (Table 1) were generated for the current climate scenario (1981-2010) and for the 2030, 2050 and 2070 climates, for RCP 4.5 and 8.5.

**Optimal temperature for whitefly development (28 to 33 °C).** Maps with the percentage of the number of hours with optimal temperature for the development

la región norte centro de México, para los meses de abril a octubre. Con estos datos mensuales de UC y datos mensuales de temperatura se estimaron modelos para generar con ellos los mapas de UC. El número de generaciones de esta plaga, considerando que una generación requiere 317 UC (Ahn et al., 2001; Awadalla et al., 2014), fue estimado a partir de los mapas mensuales de UC.

El sistema de información de cambio climático de la República Mexicana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP (Ruiz-Corral et al., 2016) se utilizó para estimar el efecto posible del cambio climático sobre el número de horas de las temperaturas cardinales; el sistema consta de clima base del periodo 1961-2010 y clima de los años 2041 a 2080 en las RCP 4.5 y 8.5 de GEI. Estos climas fueron obtenidos a partir de información del portal de datos de WorldClim con los que se generó un modelo ensamble integrado por 11 modelos de circulación general (BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M) reducidos en escala, calibrados (Walton et al., 2013) y seleccionados para México.

Una RCP de emisiones intermedias (4.5), consistente con un futuro con reducciones de emisiones relativamente ambiciosas, y una RCP de emisiones grandes (8.5), coherente con un futuro sin cambios de política para reducir las emisiones (Van Vuuren et al., 2011), así como valores de temperatura máxima y temperatura mínima de los años 2021 a 2080 fueron utilizados. Con los datos mensuales se obtuvieron los anuales para los escenarios climáticos 2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080, en adelante referidos como climas de los años 2030, 2050 y 2070, respectivamente.

## Resultados y discusión

Los datos horarios de temperatura se ajustaron a un modelo de regresión lineal con datos horarios reales para su validación, resultando un  $R^2 = 0.9$ , cumpliendo con los supuestos de validación 1:1; es decir, el intercepto fue estadísticamente igual a cero y la pendiente estadísticamente igual a uno (Fritz et al., 1997; Medina-García et al., 2019).

**Table 2. Coefficients of regression models for estimating number of hours in each temperature range from average maximum and minimum temperatures for *Bemisia tabaci*.**

**Cuadro 2. Coeficientes de modelos de regresión para estimar número de horas en cada rango de temperatura a partir de temperaturas máxima y mínima medias para *Bemisia tabaci*.**

Range °C/ Rango °C	R <sup>2</sup>	April-October cycle/Ciclo abril-octubre				Term independent/ Término independiente
		MAX	MAX <sup>2</sup>	MIN	MIN <sup>2</sup>	
28 a 33	0.92470	14.83601			2.83883	-295.65826
< 9	0.92600	-389.58079	6.44704	-146.44677	3.56261	7308.02841
> 35	0.86290	-160.28965	4.16120		-0.64796	1368.05799

of *Bemisia tabaci* (28 to 33 °C) for the April-October crop cycle in the north-central region are shown in Figure 2. The areas with the largest area cultivated with pepper have between 0 and 20 % of the total number of hours in the crop cycle (Figure 2A). Five ranges with the percentage of the number of hours with optimal temperature for whitefly development for the April-October crop cycle are shown in Table 3.

This section emphasizes two percentages: 1) ranges of hours expressed as a percentage of the total number of hours in the crop cycle and 2) the percentage of area in each range in the study area.

In the current scenario, 93.5 % of the area in the pepper-producing states is in the ranges 0 - 10 and 10 - 20 % of the total number of hours in the crop cycle with temperature from 28 to 33 °C. The area in the 0 - 10 % range would decrease from 40.0 %, in the current scenario, to 24.6, 14.7 and 12.2 % in 2030, 2050 and 2070, respectively, with a RCP 4.5 (Figure 2 B, C and D). In contrast, the area in the 10 - 20 % range would increase from 53.5 % in the current scenario to 64.2 % in 2030 (Figure 2B); this area would decrease in the 2050 and 2070 climates (Table 3). The 20 - 30 % range would increase from 5.7 % of the area of pepper-producing states in the current climate (Figure 2A) to 18.3 and 32.0 % in the 2070 climate in RCP 4.5 (Figure 2D and Table 3).

Pest diversity, dispersal range and impacts increase with higher temperatures (Matsumura et al. 2005; Parmesan, 2007). Currently, the whitefly is common in semitropical areas and uncommon, or absent, in most pepper-producing areas because its distribution is limited, among other factors, by minimum temperatures during the winter (Brown and Bird, 1992). As the percentage of surface area with optimal temperature hours increases in the producing areas, the whitefly may disperse and appear in the Mexican Altiplano, showing an increase in its reproductive rate and aptitude. As the atmosphere warms, these temperature-limited species will be able to expand

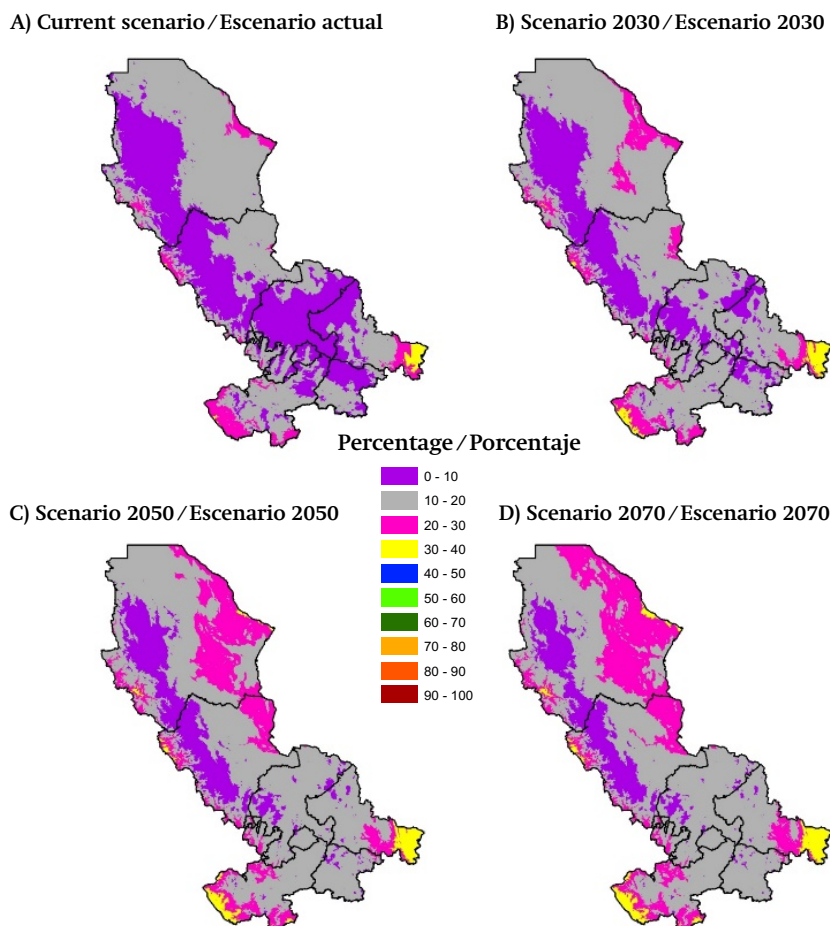
### Escenarios climáticos

Modelos de regresión fueron generados para las 61 estaciones distribuidas en todo el país relacionando el número de horas de temperatura de cada rango de las temperaturas cardinales, con la temperaturas máxima y mínima medias del ciclo de cultivo de abril a octubre. Los modelos generados presentaron valores de R<sup>2</sup> entre 0.863 y 0.926. Todos los modelos resultaron con una P = <0.0001 (Cuadro 2). Con estos modelos se generaron mapas del número de horas de cada uno de los rangos o temperaturas umbrales de mosquita blanca (Cuadro 1) para el escenario climático actual (1981-2010) y para los climas 2030, 2050 y 2070, para las RCP 4.5 y 8.5.

**Temperatura óptima para el desarrollo de mosquita blanca (28 a 33 °C).** Mapas con el porcentaje del número de horas con temperatura óptima para el desarrollo de *Bemisia tabaci* (28 a 33 °C) en el ciclo de cultivo abril-octubre en la región norte centro se presentan en la Figura 2. En las zonas con mayor superficie sembrada de chile se tiene entre 0 y 20 % del número de horas totales en el ciclo agrícola (Figura 2A). Cinco rangos con el porcentaje del número de horas con temperatura óptima para el desarrollo de mosquita blanca en el ciclo de cultivo abril-octubre se presentan en el Cuadro 3.

Cabe aclarar que en esta sección hace énfasis en dos porcentajes: 1) los rangos de horas expresados en porcentaje respecto al total de número de horas del ciclo de cultivo y 2) el porcentaje de superficie de cada rango en el área de estudio.

En el escenario actual, el 93.5 % de la superficie en los estados productores de chile se encuentra en los rangos 0 - 10 y 10 - 20 % del número de horas totales en el ciclo de cultivo con temperatura de 28 a 33 °C. La superficie del rango 0 - 10 % disminuiría de 40.0 %, en el escenario actual, a 24.6, 14.7 y 12.2 % en 2030, 2050 y 2070, respectivamente, con una RCP 4.5 (Figura 2 B, C y D). En contraste, la superficie del rango 10 - 20 % tendría un aumento al pasar de 53.5 %, en el escenario actual, a



**Figure 2.** Percentage of the number of hours with temperature from 28 to 33 °C (optimal temperature for the development of *Bemisia tabaci*) for the April-October crop cycle, in the current scenario (A) and in three future climate scenarios of RCP 4.5, in the dry pepper-producing region of Mexico.

**Figura 2.** Porcentaje del número de horas con temperatura de 28 a 33 °C (temperatura óptima para el desarrollo de *Bemisia tabaci*) en el ciclo de cultivo abril-octubre, en el escenario actual (A) y en tres escenarios climáticos futuros de la RCP 4.5, en la región productora de chile seco en México.

**Table 3.** Percentage of the area of pepper producing states in the North-Central region in five ranges of percentage of hours with temperature between 28 to 33 °C in the April - October cycle (optimal temperature for whitefly development) in the current climate scenario and for future scenarios.

**Cuadro 3.** Porcentaje de la superficie de los estados productores de chile en la región Norte-Centro en cinco rangos de porcentaje de horas con temperatura entre 28 a 33 °C en el ciclo abril - octubre (temperatura óptima para el desarrollo de mosquita blanca) en el escenario climático actual y en escenarios futuros.

Ranges of hours (%) / Rangos de horas (%)	Percentage of the area of producing states / Porcentaje de la superficie de estados productores						
	Current scenarios / Escenario actual	RCP 4.5			RCP 8.5		
		2030	2050	2070	2030	2050	2070
0 - 10	40.0	24.6	14.7	12.2	23.8	14.8	7.7
10 - 20	53.5	64.2	64.0	61.1	65.5	65.5	55.7
20 - 30	5.7	9.3	18.3	23.2	8.9	16.9	32.0
30 - 40	0.8	1.8	3.0	3.5	1.8	2.8	4.0
40 - 50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6

Percentage of future scenarios based on the current scenario. Pepper is grown in the highlighted range.

Porcentaje de los escenarios futuros con base en el escenario actual. En el rango resaltado se cultiva el chile.

northward as fast as their dispersal mechanisms will allow (Kiritani, 2006).

**Lower threshold temperature for whitefly development (< 9 °C).** Three ranges with the percentage of the number of hours with lower marginal temperature for *Bemisia tabaci* development (< 9 °C) for the April-October crop cycle in the north-central region are shown in Table 4. In the current scenario, 83.9 % of the area is in the 0 - 10 % range; this area would increase to 91.2, 95.8 and 97.0 % in the 2030, 2050 and 2070 climates, respectively, with RCP 4.5. In contrast, the area in the 10 - 20 % range would decrease from 14.2 % in the current scenario to 8.5 % in 2030; this area would continue to decrease in the 2050 and 2070 climates (Table 4). The area of pepper-producing states within the range of 20 to 30 % of the total number of hours with temperature < 9 °C in the April - October cycle would practically disappear in the 2030 climate (Table 4).

With the decrease of the area with temperatures below the lower threshold for whitefly development, it is expected that the pest will expand to regions where increased temperatures eliminate frost, allowing for year-round populations of the insect pest, according to the above results. With the above conditions, insects may start their life cycles earlier, possibly leading to a disruption between host-pest-natural enemy synchrony; in the worst case, pests would increase their geographic areas of adaptation and outbreaks would be more frequent and long-lasting (Bale, 2002; Parmesan, 2007).

**Upper threshold temperature for whitefly development (> 35 °C).** Three ranges with the percentage of the number of hours with upper marginal temperature for the development of *Bemisia tabaci* (> 35 °C) for the April-October crop cycle in the north-central region are shown in Table 5. In the current scenario, 97.2 % of the area is in the 0 - 10 %

64.2 % en 2030 (Figura 2B); esta superficie disminuiría en los climas 2050 y 2070 (Cuadro 3). El rango 20 - 30 % se incrementaría de 5.7 % de la superficie de los estados productores de Chile en el clima actual (Figura 2A) hasta 18.3 y 32.0 % en el clima 2070 en la RCP 4.5 (Figura 2D y Cuadro 3).

La diversidad de plagas, su rango de dispersión y sus impactos se incrementan con mayores temperaturas (Matsumura et al. 2005; Parmesan, 2007). Actualmente, la mosquita blanca es común en las zonas semitropicales y poco común, o no está presente, en la mayoría de las zonas productoras de Chile, ya que su distribución está limitada, entre otros factores, por las temperaturas mínimas durante el invierno (Brown y Bird, 1992). Al aumentar el porcentaje de superficie con horas con temperaturas óptimas en las zonas productoras, puede haber una dispersión de la mosquita blanca y presentarse en el Altiplano mexicano, mostrando un incremento de su tasa reproductiva y aptitud. A medida que la atmósfera se calienta, estas especies limitadas directamente por la temperatura serán capaces de expandirse hacia el norte tan rápido como sus mecanismos de dispersión lo permitan (Kiritani, 2006).

**Temperatura umbral inferior para el desarrollo de mosquita blanca (< 9 °C).** Tres rangos con el porcentaje del número de horas con temperatura marginal menor para el desarrollo de *Bemisia tabaci* (< 9 °C) en el ciclo de cultivo abril-octubre en la región norte centro se presentan en el Cuadro 4. En el escenario actual, 83.9 % de la superficie se encuentra en el rango 0 - 10 %, esta superficie aumentaría a 91.2, 95.8 y 97.0 % en los climas 2030, 2050 y 2070, respectivamente, con una RCP 4.5. En contraste, la superficie del rango 10 - 20 % tendría un decremento al pasar de 14.2 %, en el escenario actual, a 8.5 % en 2030; esta superficie continuaría disminuyendo en los climas 2050 y 2070

**Table 4. Percentage of the area of the pepper-producing states in the North-Central region in five ranges of percentage of hours with temperature below 9 °C for the April-October cycle (lower threshold temperature for whitefly development) in the current climate scenario and for future scenarios.**

**Cuadro 4. Porcentaje de la superficie de los estados productores de Chile en la región Norte-Centro en cinco rangos de porcentaje de horas con temperatura menor de 9 °C en el ciclo abril - octubre (temperatura umbral inferior para el desarrollo de mosquita blanca) en el escenario climático actual y en escenarios futuros.**

Range of hours (%) / Rangos de horas (%)	Current scenario / Escenario actual	Percentage of the area of producing states / Porcentaje de la superficie de estados productores					
		RCP 4.5			RCP 8.5		
		2030	2050	2070	2030	2050	2070
0 - 10	83.9	91.2	95.8	97.0	91.0	95.7	98.8
10 - 20	14.2	8.5	4.2	3.0	8.8	4.3	1.2
20 - 30	1.9	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0

Percentage of future scenarios based on the current scenario. Pepper is grown in the highlighted range.

Porcentaje de los escenarios futuros con base en el escenario actual. En el rango resaltado se cultiva el Chile.



**Table 5. Percentage of the area of the chili-producing states in the North-Central region in five ranges of percentage of hours with temperature higher than 35 °C in the April-October cycle (upper threshold temperature for whitefly development) in the current climate scenario and in future scenarios.**

**Cuadro 5. Porcentaje de la superficie de los estados productores de chile en la región Norte-Centro en cinco rangos de porcentaje de horas con temperatura mayor a 35 °C en el ciclo abril - octubre (temperatura umbral superior para el desarrollo de mosquita blanca) en el escenario climático actual y en escenarios futuros.**

Range of hours (%) / Rangos de horas (%)	Current scenario / Escenario actual	Percentage of the area of producing states / Porcentaje de la superficie de estados productores					
		RCP 4.5			RCP 8.5		
		2030	2050	2070	2030	2050	2070
0 - 10	97.2	87.4	74.1	68.4	89.5	76.9	55.8
10 - 20	2.8	12.5	25.7	31.0	10.5	22.9	41.7
20 - 30	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.2	2.4

Percentage of future scenarios based on the current scenario. Pepper is grown in the highlighted range.

Porcentaje de los escenarios futuros con base en el escenario actual. En el rango resaltado se cultiva el chile.

range. This area would decrease to 87.4, 74.1 and 68.4 % in the 2030, 2050 and 2070 climates, respectively, with RCP 4.5. In contrast, the area in the 10 - 20 % range would increase from 2.8 % in the current scenario to 12.5 % in 2030, and this area would continue to increase in the 2050 and 2070 climate scenarios (Table 5). The area in the 20-30% range would start to increase slightly from the 2050 climate (Table 5) for RCP 4.5.

Temperature plays a vital role for the whitefly as it is a poikilotherm organism, so when its upper temperature threshold is exceeded, it is considered that the adaptability of this insect begins to decline, and it may die (Denlinger & Yocum, 1998). However, what is known is that *B. tabaci* biotype B is thermotolerant and is distributed in warm environments with short periods of extreme temperatures, being able to adapt to new temperatures and expand its geographical range. This is evidenced by a study in which *B. tabaci* was subjected to temperatures above its threshold (37, 39, 41, 43, 44, 45 °C and control at 25 °C) and thermal conditioning (40 °C/1h, 25 °C/1h and 45 °C/1h). Survival was affected between 41 °C and 45 °C, fecundity at 45 °C as there was no oviposition, and viability was affected at 44 °C. However, thermal conditioning increased survival by more than 30 % in females (Muñoz-Valencia et al., 2013). Similar results were found by Cui et al. (2008), who subjected *B. tabaci* to temperatures higher than their upper thresholds. Few agricultural pests can tolerate hot temperatures as *B. tabaci* (Wolfe et al. 1998; Salvucci, 2000).

The observed trends of increasing or decreasing areas in the different temperature ranges in RCP 4.5 are also observed in RCP 8.5, but more significantly. This is because RCP 4.5 is a scenario with emissions of moderate amounts of GHG, while RCP 8.5 is a scenario with emissions of large amounts of GHG, which could lead to a greater increase in global temperature (Van Vuuren et al., 2011).

(Cuadro 4). La superficie de los estados productores de chile dentro del rango de 20 a 30 % del número de horas totales con temperatura < 9 °C en el ciclo abril - octubre, prácticamente desaparecería en el clima 2030 (Cuadro 4).

Con la disminución de la superficie con temperaturas menores al umbral inferior para el desarrollo de mosquita blanca, lo esperable es que la plaga se expanda a regiones donde el aumento de las temperaturas elimine las heladas, permitiendo poblaciones del insecto plaga durante todo el año, de acuerdo con los resultados anteriores. Con las condiciones anteriores, los insectos pueden empezar sus ciclos de vida antes, lo que posiblemente conllevará a una disrupción entre la sincronía de hospederos-plagas-enemigos naturales; en el peor de los casos las plagas aumentarían sus áreas geográficas de adaptación y los brotes serán más frecuentes y duraderos (Bale, 2002; Parmesan, 2007).

**Temperatura umbral superior para el desarrollo de mosquita blanca (> 35 °C).** Tres rangos con el porcentaje del número de horas con temperatura marginal superior para el desarrollo de *Bemisia tabaci* (> 35 °C) en el ciclo de cultivo abril-octubre en la región norte centro se presentan en el Cuadro 5. En el escenario actual, 97.2 % de la superficie se encuentra en el rango 0 - 10 %. Esta superficie disminuiría a 87.4, 74.1 y 68.4 % en los climas 2030, 2050 y 2070, respectivamente, con una RCP 4.5. En contraste, la superficie del rango 10 - 20 % tendría un incremento al pasar de 2.8 % en el escenario actual, a 12.5 % en 2030, esta superficie continuaría aumentando en los escenarios climáticos 2050 y 2070 (Cuadro 5). La superficie del rango de 20 - 30 % comenzaría a presentarse levemente a partir del clima 2050 (Cuadro 5) para una RCP 4.5.

La temperatura juega un papel vital en la mosquita blanca al ser un organismo poiquiloterma, por lo

## Heat unit scenarios

The number of HU (10-35 °C) for each of the months from April to October was related to the maximum and minimum temperature in the same period, for purposes of generating models to produce HU maps. The resulting models showed  $R^2$  values between 0.962 and 0.992, all with a  $P < 0.0001$  (Table 6).

With the models shown in Table 6, HU maps were obtained for each of the months and with them the cumulative HU from April to October for the current climate scenario (1981-2010). These models were used to generate monthly and cumulative HU maps for future climate scenarios for the 2030, 2050 and 2070 climates, for RCP 4.5 and 8.5. With the HU maps, the number of broods of this pest was recorded.

Maps with the number of broods of *Bemisia tabaci* that can develop in the crop cycle from April to October, regarding 317 HU within the thresholds 10-35 °C, to complete one brood, are shown in Figure 3 and Table 7. In the current scenario, the highest percentage of area is in the ranges 4 to 6, 6 to 8 and 8 to 10 broods with 20.1, 41.4 and 29.4 %, respectively (Figure 3A). The area in the range 4 to 6 broods would go from 20.1 to 5.0 % in the 2070 scenario of RCP 4.5 (Figure 3D); the area in the range 6 to 8 broods would also decrease in the future; in contrast, the area with 8 to 10 would go from 29.4 to 36.9 % in the 2070 scenario (Figure 3D); similarly, the range 10 to 12 broods would increase from 5.4 to 24.9 % in the same future scenario.

The observed trends of increase or decrease in the number of whitefly broods in the different ranges in RCP 4.5 are also observed in RCP 8.5 but more significantly, especially for the 2070 scenario. This is because RCP 4.5 is a scenario with emissions of

que al rebasar su umbral superior de temperatura se considera que la adaptabilidad de este insecto comienza a decaer y puede morir (Denlinger & Yocum, 1998). Sin embargo, lo que se sabe es que *B.tabaci* biotipo B tiene termotolerancia y se distribuye en ambientes cálidos con periodos cortos de temperaturas extremas, pudiendo adaptarse a temperaturas nuevas y expandir su rango geográfico. Lo anterior es evidenciado por un estudio en el cual se sometió a *B. tabaci* a temperaturas superiores a su umbral (37, 39, 41, 43, 44, 45 °C y control a 25 °C) y a un acondicionamiento térmico (40 °C/1h, 25 °C/1h y 45 °C/1h). La supervivencia fue afectada entre 41 °C y 45 °C, la fecundidad a 45 °C pues no hubo ovoposición y la viabilidad fue afectada a 44 °C. Sin embargo, el acondicionamiento térmico aumentó la supervivencia más de un 30 % en las hembras (Muñoz-Valencia et al., 2013). Resultados similares fueron obtenidos por Cui et al. (2008), quienes sometieron a *B. tabaci* a temperaturas mayores a sus umbrales superiores. Pocas plagas agrícolas tienen la habilidad de tolerar temperaturas calientes como *B. tabaci* (Wolfe et al. 1998; Salvucci, 2000).

Las tendencias observadas de aumento o disminución de las superficies de los diferentes rangos de temperatura en la RCP 4.5 se observan también en la RCP 8.5 pero de una manera más acentuada. Esto se debe a que la RCP 4.5 es un escenario con emisiones de cantidades moderadas de GEI, mientras que la RCP 8.5 es un escenario con emisiones de cantidades grandes de GEI, lo que pudiera provocar un mayor aumento de la temperatura a nivel global (Van Vuuren et al., 2011).

## Escenarios de unidades calor

El número de UC (10-35 °C) para cada uno de los meses de abril a octubre se relacionó con la temperatura máxima y mínima en el mismo periodo, para la

**Table 6. Coefficients of regression models to estimate heat units (10-35 °C) from average maximum and minimum temperature in the April to October cycle for *Bemisia tabaci*.**

**Cuadro 6. Coeficientes de modelos de regresión para estimar unidades calor (10-35 °C) a partir de temperatura máxima y mínima medias en el ciclo abril a octubre en *Bemisia tabaci*.**

Month/ Mes	$R^2$	Term	MAX	MIN	MAX <sup>2</sup>	MIN <sup>2</sup>
		Independiente/ Término Independiente				
April/Abril	0.9827	-140.8941	9.84946	8.91454	0.02469	0.22774
May/Mayo	0.9741	-287.2649	21.06380	13.01843	-0.18739	0.13449
June/Junio	0.9819	-317.8603	22.16391	11.78222	-0.17804	0.11404
July/Julio	0.9922	-294.2195	17.60196	11.95779	-0.05558	0.10448
August/Agosto	0.9898	-300.3087	18.85776	11.98164	-0.09280	0.13968
September/Septiembre	0.9803	-285.9870	17.87492	12.46607	-0.10132	0.14489
October/Octubre	0.9623	-237.8574	18.07859	10.44745	-0.12803	0.22614

Table 7. Deviations of the percentage of s area of number of broods of *Bemisia tabaci* in climate change scenarios in the north-central region of Mexico.

Cuadro 7. Desviaciones del porcentaje de superficie de número de generaciones de *Bemisia tabaci* en escenarios de cambio climático en la región norte centro de México.

Broods/ Generaciones	Current scenario/ Escenario actual	RCP 4.5			RCP 8.5		
		2030	2050	2070	2030	2050	2070
0 - 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 - 4	2.9	0.7	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0
4 - 6	20.1	12.3	6.5	5.0	12.1	6.4	2.1
6 - 8	41.4	39.3	32.4	28.5	38.6	28.4	16.0
8 - 10	29.4	35.6	36.4	36.9	36.6	41.8	41.0
10 - 12	5.4	10.0	20.7	24.9	10.0	19.3	33.4
> 12	0.7	2.1	3.9	4.6	2.2	4.1	7.5
Sum/Suma	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

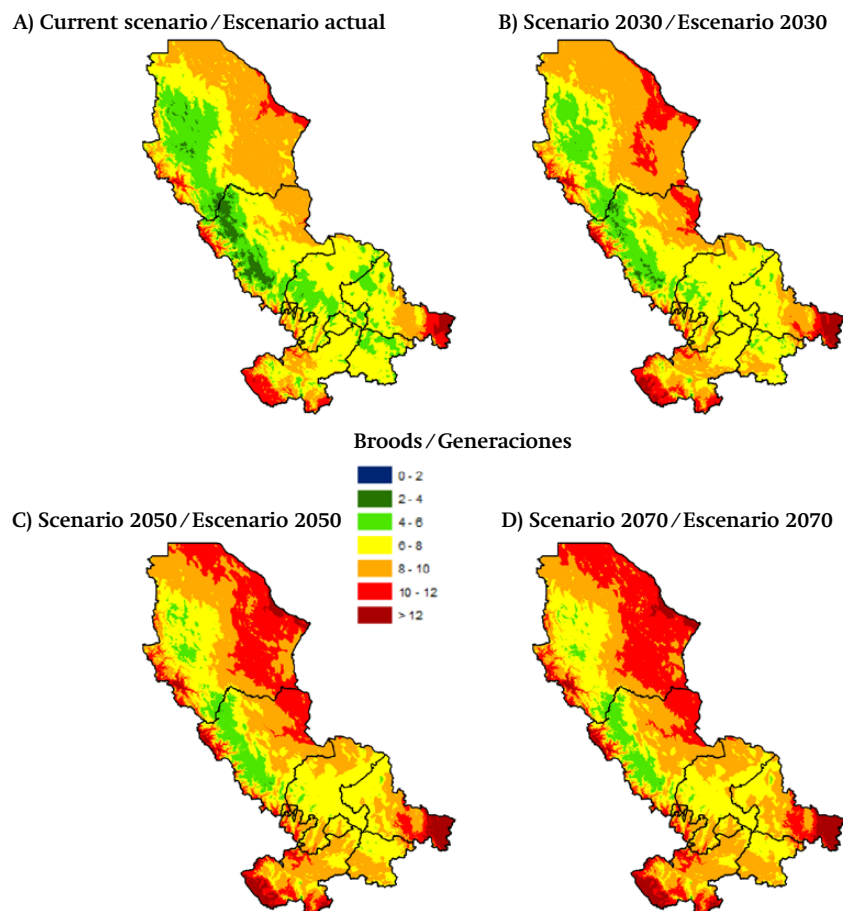


Figure 3. Number of broods of *Bemisia tabaci* based on HU (10-35 °C) in the April-October crop cycle, in the current scenario (A) and in three future climate scenarios of RCP 4.5, in the dry pepper-producing region of Mexico.

Figura 3. Número de generaciones de *Bemisia tabaci* con base en UC (10-35 °C) en el ciclo de cultivo abril-octubre, en el escenario actual (A) y en tres escenarios climáticos futuros de la RCP 4.5, en la región productora de chile seco en México.

moderate amounts of GHG, while RCP 8.5 is a scenario with emissions of large amounts of GHG, which could lead to a higher global temperature increase (Van Vuuren et al., 2011).

*Bemisia tabaci* can have 7 to 15 broods per year with predominantly sexual reproduction, although they can reproduce by parthenogenesis. High temperatures shorten the duration of the cycle and low temperatures lengthen it (Byrne & Bellows, 1991; Butler et al., 1986). As a multivoltine insect, the whitefly can reproduce throughout the year by jumping from wild hosts to agricultural crops. Therefore, an increase in the number of broods per year would increase the damage to hosts while increasing its geographic range as has been observed with other pests (Parmesan, 2007). Some examples are: the diamondback moth (*Plutella xylostella*) which is expected to complete two additional broods per year in Japan (Morimoto et al., 1998); the bark beetle (*Dendroctonus ponderosae*) in the Rocky Mountains in North America produces one brood per year when it previously produced one brood every two years (Parmesan, 2007); and the budworm (*Spodoptera frugiperda*) that could complete four to five broods by 2060 when they currently appear, usually three to four in Zacatecas, Mexico (Ramírez-Cabral et al., 2020). In another study conducted to know the potential areas of the whitefly in tomato crops for 2050 and 2070, it was found that the risk of crop damage by this insect increased more than 100 % by 2050 in some countries, while in other regions the risk decreased (Ramos et al., 2018).

## Conclusions

A possible favorable effect of global warming in future climate scenarios in RCP 4.5 and 8.5 in north-central Mexico for whitefly would be an increase in the area with a greater number of hours within the optimal temperature range, which are favorable for its development; likewise, the number of hours with temperatures below the lower temperature threshold would decrease. On the contrary, an unfavorable effect of global warming for whitefly would be the increase in the area with temperature higher than the upper temperature threshold, which is unfavorable for its development.

Given the effects of global warming in future climate scenarios in RCP 4.5 and 8.5, for whiteflies, there would be an increase in the area with a greater number of broods in the April-October agricultural cycle in north-central Mexico. By decreasing the area of the range from 4 to 6 broods, the number of broods from 6 to 8 would be maintained and the ranges from 8 to 10 and 10 to 12 broods in the cycle would increase, which could have repercussions on the reduction of pepper yield due to the negative effect of this pest.

generación de modelos que permitieran elaborar mapas de UC. Los modelos resultantes presentaron valores de  $R^2$  entre 0.962 y 0.992, todos con una  $P < 0.0001$  (Cuadro 6).

Con los modelos presentados en el Cuadro 6 se obtuvieron mapas de UC para cada uno de los meses y con ellos se hizo el acumulado de UC de abril a octubre para el escenario climático actual (1981-2010). Estos mismos modelos se utilizaron para generar mapas de UC mensuales y acumulados en escenarios climáticos futuros para los climas 2030, 2050 y 2070, para las RCP 4.5 y 8.5. Con los mapas de UC se obtuvo el número de generaciones de esta plaga.

Los mapas con el número de generaciones de *Bemisia tabaci* que se pueden desarrollar en el ciclo de cultivo de abril a octubre, considerando 317 UC dentro de los umbrales 10-35 °C, para completar una generación, se presentan en la Figura 3 y Cuadro 7. En el escenario actual, el mayor porcentaje de superficie está en los rangos 4 a 6, 6 a 8 y 8 a 10 generaciones con 20.1, 41.4 y 29.4 %, respectivamente (Figura 3A). La superficie del rango 4 a 6 generaciones pasaría de 20.1 a 5.0 % en el escenario 2070 de la RCP 4.5 (Figura 3D); la superficie del rango 6 a 8 generaciones también disminuiría en el futuro; en cambio, la superficie con 8 a 10 pasaría de 29.4 a 36.9 % en el escenario 2070 (Figura 3D); de igual manera, el rango de 10 a 12 generaciones aumentaría de 5.4 a 24.9 % en el mismo escenario futuro.

Las tendencias observadas de aumento o disminución del número de generaciones de mosquita blanca en los diferentes rangos en la RCP 4.5 se observan también en la RCP 8.5 pero de una manera más acentuada, especialmente para el escenario 2070. Esto se debe a que la RCP 4.5 es un escenario con emisiones de cantidades moderadas de GEI, mientras que la RCP 8.5 es un escenario con emisiones de cantidades grandes de GEI, lo que pudiera provocar un aumento mayor de la temperatura a nivel global (Van Vuuren et al., 2011).

*Bemisia tabaci* puede tener de 7 a 15 generaciones al año con reproducción predominantemente sexual, aunque pueden reproducirse por partenogénesis. Las temperaturas grandes acortan la duración del ciclo y las pequeñas lo alargan (Byrne & Bellows, 1991; Butler et al., 1986). Al ser un insecto multivoltino, la mosquita blanca puede reproducirse durante todo el año brincando de hospederos silvestres a cultivos agrícolas. Por lo tanto, un incremento del número de generaciones por año aumentaría el daño a los hospederos a la vez que acrecentaría su rango geográfico como se ha observado con otras plagas (Parmesan, 2007). Algunos ejemplos son: la palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) que se espera complete dos generaciones adicionales al año en Japón (Morimoto et al., 1998); el escarabajo descortezador

The increase in temperature due to the possible effect of climate change may increase the risk of invasion of insect pests from tropical to temperate areas, as could be the case of the whitefly, *Bemisia tabaci*, which has the additional risk of transmitting viruses to pepper plants.

#### End of English version

## References / Referencias

- Ahn, K. S., Lee, K. Y., Choi, M. H., Kim, J. W., y Kim, G. H. (2001). Effect of temperature and host plant on development and reproduction of the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Korean Journal of Applied Entomology* 40: 203-209. <http://www.entomology2.or.kr/journal/article.php?code=10746>
- Awadalla, S. S., Bayoumy, M. H., Khattab, M. A., y Abdel-Wahab, A. H. (2014). Thermal Requirements for Development of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotype 'B' and Their Implication to Field Sample Population Data. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 49. 287-302. <https://doi.org/10.1556/APhyt.49.2014.2.16>
- Bale, J. S., Masters, G., Hodkinson, I., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J. C., Farrar, J., Good, J. E. G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T. H., Lindroth, R. L., Press, M., Symrnioudis, I., Watt A. D., y Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biol.* 8(1):1-16. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x>
- Bonato, O., Lurette, A., Vidal, C., y Fargues, B.J. (2007). Modelling temperature-dependent bionomics of *Bemisia tabaci* (Q-biotype). *Physiological Entomology*, 32: 50-55. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2006.00540.x>
- Brown, J. K. (2010). Phylogenetic biology of the *Bemisia tabaci* sibling species group. En: "Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest", Eds. P.A. Stansly & S.E. Naranjo, Springer (London-New York), pp:31-67.
- Brown, J. K., y Bird, J. (1992). Whitefly-transmitted geminiviruses and associated disorders in Americas and the Caribbean Basin. *Plant Dis.* 76: 220-225. <http://dx.doi.org/10.1094/PD-76-0220>
- Butler, G. D., Henneberry, T. J., y Hutchison, W. D. (1986). Biology, sampling and population dynamics of *Bemisia tabaci*. In *Agricultural Zoology Reviews*, ed. GE Russell, pp. 167-195. Andover, Hants: Intercept Ltd.
- Byrne, D. N., y Bellows T. S. (1991). Whitefly biology. *Annual Review of Entomology*, 36(1): 431-457. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.36.010191.002243>
- Cui, X., Wan, F., Xie, M., y Liu, T. (2008). Effects of heat shock on survival and reproduction of two whitefly species, *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* biotype B. 10 pp. *Journal of Insect Science* 8:24. <https://dx.doi.org/10.1673%2F031.008.2401>
- Denlinger, D. L., y Yocum, G. D. (1998). Physiology of heat sensitivity. In: Hallman, G. J., Denlinger, D. L., editors.

(*Dendroctonus ponderosae*) de las Montañas Rocosas en Norte América produce una generación al año cuando anteriormente producía una generación cada dos años (Parmesan, 2007); y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) que podría llegar a completar de cuatro a cinco generaciones para el 2060 cuando actualmente se presentan, por lo general de tres a cuatro en Zacatecas, México (Ramírez-Cabral et al., 2020). En otro estudio realizado para conocer las áreas potenciales de la mosquita blanca en el cultivo del tomate para el 2050 y 2070 se encontró que el riesgo de daño al cultivo por este insecto aumentaba más del 100 % para el año 2050 en algunos países, mientras que en otras regiones el riesgo disminuía (Ramos et al., 2018).

## Conclusiones

Un posible efecto favorable del calentamiento global en escenarios climáticos futuros en las RCP 4.5 y 8.5 en el norte centro de México para la mosquita blanca, sería el aumento de la superficie con mayor número horas dentro del rango de temperatura óptima, que son favorables para su desarrollo; de la misma manera, el número de horas con temperatura menor al del umbral inferior de temperatura disminuiría. Por el contrario, un efecto desfavorable del calentamiento global para la mosquita blanca sería el aumento la superficie con temperatura mayor al umbral superior de temperatura, la cual es desfavorable para su desarrollo.

Considerando los efectos del calentamiento global en escenarios climáticos futuros en las RCP 4.5 y 8.5, en mosquita blanca, se tendría un incremento de la superficie con mayor número de generaciones en el ciclo agrícola abril – octubre en el norte centro de México. Al disminuir la superficie del rango de 4 a 6 generaciones se mantendría el número de generaciones de 6 a 8 y aumentarían los rangos de 8 a 10 y 10 a 12 generaciones en el ciclo, lo que pudiera repercutir en la disminución del rendimiento de chile debido al efecto negativo de esta plaga.

El aumento de temperatura debido al posible efecto del cambio de clima puede incrementar el riesgo de invasión de insectos plaga desde las zonas tropicales hacia las zonas templadas, como pudiera ser el caso de la mosquita blanca, *Bemisia tabaci*, la cual posee el riesgo adicional de transmitir virus a las plantas del chile.

## Fin de la versión en español

Thermal sensitivity in insects and application in integrated pest management 11–18. Westview Press, Boulder, Colorado, USA.

FAO. (2021). Statistic. FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Consultado en línea: Febrero 2021. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

- Fritz, J. O., Vanderlip, R. L., Heiniger, R. W., y Abelhalim, A. Z. (1997). Simulating forage sorghum yields with SORKAM. *Agron. J.* 89:64-68.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_Front\\_matters.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf)
- Kriticos, D. J., De Barro, P. J., Yonow, T., Ota, N., y Sutherst, R. W. (2020). The potential geographical distribution and phenology of *Bemisia tabaci* Middle East/Asia Minor 1, considering irrigation and glasshouse production. *Bulletin of Entomological Research* 110, 567–576. <https://doi.org/10.1017/S0007485320000061>.
- Kiritani, K. (2006). Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Population Ecology* 48(1): 5-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s10144-005-0225-0>
- Madhavi, R. K., Shivashankara, K. S., Geetha, G. A., y Pavithra, K. C. (2016). *Capsicum* (hot pepper and bell pepper). In: Srinivasa N. K.; Shivashankara K. S. y Laxman R. H. (Eds.) *Abiotic stress physiology of horticultural crops*. Springer India. 151-166 pp
- Matsumura, M., Tokuda, M., Endo, N., Ohata, S., y Kamitani, S. (2005). Distribution and abundance of the maize orange leafhopper *Cicadulina bipunctata* (Homoptera: Cicadellidae) in Kikuchi, Kumamoto, Japan in 2004. *Kyushu Plant Prot. Res.* 51:36-40.
- Medina G., G., Mena C., J., Reveles H., M., Echavarría Ch., F. G., y Ruiz C., J. A. (2017). Cambio climático y sus efectos en el potencial productivo de Chile en el norte centro de México. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas. Calera de V. R., Zacatecas. Folleto técnico No. 88. 43 pp.
- Medina-García, G., Grageda-Grageda, J., Ruiz-Corral, J. A., Casas-Flores, J. I., Rodríguez-Moreno, V. M., y de la Mora-Orozco, C. (2019). Disminución de las horas frío como efecto del cambio climático en México. *Rev Mex Cienc Agríc* 10:1325-1337. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1688>
- Mongkolporn, O., y Taylor P., W. J. (2011). *Capsicum*. In: Kole C. (eds) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0_4)
- Morimoto, N., Imura, O., y Kiura, T. (1998). Potential effects of global warming on the occurrence of Japanese pest insects. *Appl. Entomol. Zool.* 33(1):147-155. [CAB Abstracts]
- Muñoz-Valencia, V., Díaz-González, F., Manzano-Martínez, M. del R., Toro-Perea, N., y Cárdenas-Hena, H. (2013). Basal and induced thermotolerance to heat shocks in *Bemisia tabaci* biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Colombiana de Entomología* 39 (1): 18-25
- Naranjo, S.E., Castle, S. J., De Barro, P. J., y Liu, S. S. (2009). Population dynamics, demography, dispersal and spread of *Bemisia tabaci*. In: *Bemisia: bionomics and management of a global pest*. Springer, pp 185–226. [http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-2460-2\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-2460-2_6)
- Ortega A., L. D., y Carapia R., U. E. (2020). Moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) en México: estatus, especies, distribución e importancia. *Dugesiana* 27(1): 37-54. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v27i1.7095>
- Parmesan, C. (2007). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecology, Evolution, and Systematics.* 37:637-669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Perring, T. M. (2001). The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection*, 20:725-737. [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00109-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00109-0)
- Porter, J. H., Parry, M. L., y Carter, T. R. (1991). The potential effects of climatic change on agriculture insect pests. *Agriculture and Forest Meteorology.* 57: 221–240. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923\(91\)90088-8](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1923(91)90088-8)
- Ramírez-Cabral, N., Medina-García, G., y Kumar, L. (2020). Increase of the number of broods of Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) as an indicator of global warming. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 19(1), 1-16. <https://doi.org/10.5154/r.rchsa.2020.11.01>
- Ramos, R. S., Kumar, L., Shabani, F., y Picanco, M. C. (2018). Mapping global risk levels of *Bemisia tabaci* in areas of suitability for open field tomato cultivation under current and future climates. *PLoS ONE* 13(6): e0198925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198925>
- Ruiz-Corral, J. A., Medina-García, G., Rodríguez-Moreno, V. M., Sánchez-González, J. J., Villavicencio G. R., Durán P., N., Grageda G., J., y García R., J. E. (2016). Regionalización del cambio climático en México. *Rev. Mex. de Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 13:2451-2464.* <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.460>
- Salvucci, M. E. (2000). Sorbitol accumulation in whiteflies: evidence for a role in protecting proteins during heat stress. *J. Therm. Biol.* 25:353–361. [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-4565\(99\)00107-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-4565(99)00107-2)
- Sani, I., Ismail, S. I., Abdullah, S., Jalinas, J., Jamian, S., y Saad, N. (2020). A Review of the Biology and Control of Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), with Special Reference to Biological Control Using Entomopathogenic Fungi. *Insects.* 11, 619; <https://doi.org/10.3390/insects11090619>
- SIACON (Sistema de Información Agropecuaria de Consulta) 1980-2019. SADER. SIAP (2020). <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Snyder, R. L. (1985). Hand calculating degree-days. *Agric. For. Meteorol.* 35:353-358. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(85\)90095-4](https://doi.org/10.1016/0168-1923(85)90095-4)

- Thakur, H., Jindal, S. K., Sharma, A., y Dhaliwal, M. S. (2018). Chilli leaf curl virus disease: a serious threat for chilli cultivation. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 125, 239–249. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0146-8>
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., y Masui, T. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change* 109(1):5-31. <http://link.springer.com/article/10.1007%25252Fs10584-011-0148-z>
- Walton, D., Meyerson, J., y Neelin, J. D. (2013). Accessing, Downloading, and Viewing CMIP5 Data. *Earth System Grid Federation*. pp. 25.
- Wolfe, G. R., Hendrix, D. L., y Salvucci, M. E. (1998). A thermoprotective role for sorbitol in the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. *J. Insect Physiol.* 44:597–603. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1910\(98\)00035-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1910(98)00035-3)