

Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate ‘Hass’ en Michoacán*

Scenarios of how climate change will modify the ‘Hass’ avocado producing areas in Michoacán

Arturo Álvarez-Bravo¹, Samuel Salazar-García^{1§}, José Ariel Ruiz-Corral² y Guillermo Medina-García³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Internacional México-Nogales km 6, Entrada a Santiago Ixcuintla, Nayarit. (alvarez.arturo@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno km 8, Tepatitlán, Jalisco, México. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo km 24.5. Calera, Zacatecas, México. (medina.guillermo@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: salazar.avocado@gmail.com.

Resumen

Siendo el clima un factor con fuerte influencia sobre la fenología y fisiología de los cultivos, es prioritario dimensionar la amenaza ante el cambio climático. Existe evidencia que dicho cambio en el patrón climático afectará la producción de especies frutales como aguacate. Estudiar el posible impacto del cambio climático en la principal región productora de aguacate cv. Hass fue el objetivo del presente trabajo. Se acopiaron diferentes bases de datos climáticas y fueron cuantificados los cambios de las principales variables meteorológicas al comparar la climatología actual (1961-2010) y los escenarios futuros, en dos rutas de concentración representativas [RCP] de gases de efecto invernadero (GEI) (4.5 y 8.5) para las climatologías 2030, 2050 y 2070. Lo anterior permitió evaluar el impacto en algunas etapas fenológicas del cultivo. Los cambios se manifestarán con mayor intensidad hacia finales de siglo para las dos RCP, siendo la ruta 8.5 la que presenta los cambios más sobresalientes particularmente en temperatura. Lo cual permitió identificar el impacto que tendrá el cambio climático en la etapa de floración en dos climas (cálido subhúmedo y el semicálido subhúmedo) lo que seguramente afectará la cantidad y calidad de fruta. La

Abstract

Since climate is a factor with strong influence on the phenology and physiology of crops, it is a priority to dimension the threat to climate change. There is evidence that such a change in the climate pattern will affect the production of fruit species such as avocado. To study the possible impact of climate change on the main producing region of avocado cv. Hass was the objective of the present work. Different climate databases were collected and were quantified changes of main meteorological variables when comparing the current climatology (1961-2010) and future scenarios, two paths representative concentration [RCP] of greenhouse gases (GEI) (4.5 and 8.5) for climatologies 2030, 2050 and 2070. This allowed to evaluate the impact in some phenological stages of the crop. The changes will be manifested with greater intensity towards the end of the century for the two RCP, with route 8.5 being the one that presents the most outstanding changes, particularly in temperature. This allowed us to identify the impact of climate change on the flowering stage in two climates (warm sub-humid and sub-humid), which will certainly affect the quantity and quality of fruit. The phenology of ‘Hass’ avocado cultivated in Michoacán is vulnerable to

*Recibido: julio de 2017

Aceptado: septiembre de 2017

fenología del aguacate ‘Hass’ cultivado en Michoacán es vulnerable al cambio climático por dos amenazas (aumento de la temperatura máxima y retraso de la inflexión de la temperatura mínima). Los resultados apuntan hacia mejores condiciones futuras para el cultivo de ‘Hass’ en el clima semicálido subhúmedo.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., ecofisiología, escenarios de cambio climático, fenología.

Introducción

Para valorar si el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en Michoacán es necesario identificar y cuantificar la amenaza y la vulnerabilidad asociada. El cambio climático es la variación del clima respecto a los valores medios históricos. Esta variación debe ser cuantificada estadísticamente y mantener su tendencia por periodos mayores a 10 años. Entre los causantes de dicha variación están el cambio de uso de suelo y el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (IPCC, 2013).

La principal causa del calentamiento global son las concentraciones de GEI desde la revolución industrial ocurrida en el siglo XIX causando el aumento en la temperatura media de 0.8 °C hasta 2 °C en algunas regiones del mundo (Ring *et al.*, 2012; Adedeji *et al.*, 2014; Lane, 2015). En el quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) la comunidad científica definió un conjunto de cuatro nuevos escenarios para representar la presencia de los gases efecto invernadero como promotores del cambio climático global, denominados trayectorias de concentración representativas (RCP) por sus siglas en inglés.

Las RCP se caracterizan por el cálculo aproximado que hacen del forzamiento radiativo total en el año 2100 en relación con el año 1750, esto es, 2.6 W m⁻² en el caso del escenario RCP2.6 (bajas emisiones de GEI); 4.5 W m⁻², en el caso del escenario RCP4.5 y 6 W m⁻², en el caso del escenario RCP6.0 (emisiones intermedias de GEI), y 8.5 W m⁻², en el caso del escenario RCP8.5 que corresponde a altas emisiones de GEI (IPCC, 2013). En México se ha previsto el cambio en la temperatura y la precipitación para el escenario RCP4.5 hacia mediados del presente siglo y que asciende a 2-3 °C y disminuciones anuales de precipitación del orden de 50 a 10 mm.

climate change due to two threats (increase of maximum temperature and delay of inflection of minimum temperature). The results point towards better future conditions for the cultivation of ‘Hass’ in the semi-warm sub-humid climate.

Keywords: *Persea americana* Mill., ecophysiology, phenology, scenarios of climate change.

Introduction

To assess if climate change will modify the avocado producing areas (*Persea americana* Mill.) Cv. Hass in Michoacán, it is necessary to identify and quantify the associated threat and vulnerability. Climate change is the variation of the climate with respect to historical average values. This variation must be quantified statistically and maintain its tendency for periods greater than 10 years. Among the causes of this variation are the change in land use and the increase in concentrations of greenhouse gases (GEI) in the atmosphere (IPCC, 2013).

The main cause of global warming is GEI concentrations since the industrial revolution in the 19th century, causing an increase in the average temperature of 0.8 °C to 2 °C in some regions of the world (Ring *et al.*, 2012; Adedeji *et al.*, 2014; Lane, 2015). In the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) the scientific community defined a set of four new scenarios to represent the presence of greenhouse gases as promoters of global climate change, called representative concentration trajectories (RCP) for its acronym in English.

The RCP are characterized by the approximate calculation of the total radiative forcing in the year 2100 in relation to the year 1750, that is, 2.6 W m⁻² in the case of the RCP2.6 scenario (low GEI emissions); 4.5 W m⁻², in the case of scenario RCP4.5 and 6.0 W m⁻², in scenario RCP6.0 (intermediate GEI emissions), and 8.5 W m⁻², in the case of the RCP8 scenario which corresponds to high GEI emissions (IPCC, 2013). In Mexico the change in temperature and precipitation for the RCP4.5 scenario in the middle of the present century has been foreseen and rising to 2-3 °C and annual precipitation decreases of the order of 50 to 10 mm.

According to Hulme (1996), there are four ways in which climate would have a physical effect on crops: 1) distribution of agroecological zones; 2) higher photosynthetic rate; 3) less

Según Hulme (1996), hay cuatro maneras en que el clima tendría un efecto físico en los cultivos: 1) distribución de las zonas agroecológicas; 2) mayor tasa fotosintética; 3) menor disponibilidad de agua; y 4) pérdidas agrícolas o disminución del rendimiento. Hribar y Vidrih (2015), señalan que aumentos en la temperatura y las concentraciones de CO₂ cambiarán la producción de frutas para finales de siglo. Por ejemplo, en Canadá se prevén afectaciones en la fruticultura de clima templado principalmente por inviernos menos fríos (Rochette *et al.*, 2004). Resultados similares se encontraron para el nogal (*Carya illinoensis*) en Sonora, México, en donde la disminución de horas frío invernal ha atrasado la floración y disminuido el rendimiento (Grageda *et al.*, 2016). A pesar de la gran plasticidad ecológica del mango, éste enfrentará condiciones climáticas más extremas, principalmente sequías y altas temperaturas (Sugiura *et al.*, 2013).

El clima también tiene un efecto sobre las características externas de los frutos de aguacate 'Hass' (tamaño, forma y rugosidad de la piel), contenido de fitoquímicos y aceite (Salazar-García *et al.*, 2011; Salazar-García *et al.*, 2016a; Salazar-García *et al.*, 2016b). Para (Howden *et al.*, 2005 y Putland *et al.*, 2011) el cambio climático puede afectar la producción de aguacate principalmente por su efecto sobre etapas fenológicas sensibles a la temperatura, como diferenciación floral, antesis, amarre y desarrollo de fruto. En algunos tipos de clima de Michoacán, México, el aguacate 'Hass' presenta hasta tres flujos vegetativos al año de diferente intensidad (invierno, primavera y verano) que pueden resultar en tres o cuatro periodos de floración (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011).

Una etapa importante en el desarrollo floral es la determinación irreversible a la floración (DIF) ya que es el momento cuando las yemas de los brotes cambian de la fase vegetativa a la reproductiva (Salazar-García *et al.*, 1999). En Michoacán, la fecha de ocurrencia de la DIF en brotes de invierno (que dan origen a la floración principal) del aguacate 'Hass' ocurre más temprano en clima templado que en cálido (Rocha-Arroyo *et al.*, 2010). Posterior a la DIF se lleva a cabo el desarrollo floral y en este aspecto Álvarez-Bravo y Salazar-García (2015) evaluaron para aguacate 'Hass' en Michoacán un modelo de predicción del desarrollo floral (basado en días frío acumulados con temperaturas ≤ 16 °C) en brotes del flujo vegetativo de invierno, el cual mostró buena capacidad predictiva ($R^2=0.97$).

availability of water; and 4) agricultural losses or decreased yield. Hribar and Vidrih (2015), point out that increases in temperature and CO₂ concentrations will change fruit production by the end of the century. In Canada, for example, temperate fruit crops are expected to be affected mainly by less cold winters (Rochette *et al.*, 2004). Similar results were found for walnut (*Carya illinoensis*) in Sonora, Mexico, where decreasing winter cold hours have delayed flowering and decreased yield (Grageda *et al.*, 2016). Despite the great ecological plasticity of the mango, it will face more extreme climatic conditions, mainly droughts and high temperatures (Sugiura *et al.*, 2013).

Climate also has an effect on the external characteristics of the fruits of 'Hass' avocado (size, shape and roughness of the skin), in phytochemicals and oil (Salazar-García *et al.*, 2011; Salazar-García *et al.*, 2016a; Salazar-García *et al.*, 2016b). For (Howden *et al.*, 2005 and Putland *et al.*, 2011) the climate change can affect avocado production mainly because of its effect on temperature sensitive phenological stages, as floral differentiation, anthesis, mooring and fruit development. In some types of climate in Michoacán, Mexico, 'Hass' avocado presents up to three vegetative flows per year of different intensity (winter, spring and summer) that can result in three or four flowering periods (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011).

An important stage in floral development is the irreversible determination of flowering (DIF), since it is the moment when the shoot buds change from the vegetative to the reproductive phase (Salazar-García *et al.*, 1999). In Michoacán, the date of occurrence of DIF in winter shoots (giving rise to main flowering) of 'Hass' avocado occurs earlier in temperate than in warm (Rocha-Arroyo *et al.*, 2010). After the DIF, floral development is carried out and Álvarez-Bravo and Salazar-García (2015) evaluated a model of floral development prediction for 'Hass' avocado in Michoacán (based on cold days accumulated at temperatures ≤ 16 °C) in shoots of the winter vegetative flow, which showed good predictive capacity ($R^2=0.97$).

The foregoing reveals the possible thermal threshold necessary for the climates of Michoacán, to have a floral development without setbacks. For Galindo-Tovar and Arzate-Fernández (2010), avocado has had a long and fruitful adaptation to different climates, this evolution has conferred the capacity of resilience to adverse environments. However,

Lo anterior revela el posible umbral térmico necesario, para los climas de Michoacán, para tener un desarrollo floral sin contratiempos. Para Galindo-Tovar y Arzate-Fernández (2010), el aguacate ha tenido una larga y fructífera adaptación a diversos climas, dicha evolución ha conferido la capacidad de resiliencia a ambientes adversos. Sin embargo, Michoacán es la principal región productora de aguacate ‘Hass’ del mundo por lo que dimensionar el posible impacto del cambio climático es de interés para productores, comercializadores, consumidores, así como para la industria. Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio es identificar cómo el cambio climático afectará a la distribución de la actual zona productora de aguacate ‘Hass’ en Michoacán, México.

Materiales y métodos

Zona de estudio

La región productora de aguacate en Michoacán concentra 148 000 ha (72% de la superficie nacional). Se distribuye principalmente en cuatro climas y 40 municipios. Michoacán representa casi 80% de la producción nacional (1.5 millones de toneladas anuales). La región presenta climas contrastantes y un comportamiento fenológico del cv. Hass claramente diferenciado (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011) (Figura 1).

Descripción de los climas

En la región productora de ‘Hass’ en Michoacán se han identificado al menos 8 tipos de clima (García, 1964). Para este estudio fueron seleccionados los más ampliamente distribuidos de acuerdo al porcentaje de superficie establecida del cultivo. Siendo los más representativos el semicálido subhúmedo y el templado subhúmedo (89.21% de los huertos) (Cuadro 1).

Selección de huertos

Se utilizó el padrón parcelario georreferenciado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) para seleccionar de manera aleatoria 10 huertos por cada tipo de clima con el sistema de información geográfica ArcMap Versión 10.1 (ESRI, Redlands, CA, Estados Unidos). Los criterios de selección fueron: tamaño del huerto mayor a 2 ha, variedad ‘Hass’, y que la altura sobre el nivel mar (ASNM) correspondiera a la región climática (Cuadro 2).

in Michoacán is the main producing region of ‘Hass’ avocado in the world, so dimensioning the possible impact of climate change is of interest to producers, marketers, consumers, as well as to industry. For all of the above, the objective of this study is to identify how climate change will affect the distribution of the current ‘Hass’ avocado production area in Michoacán, Mexico.

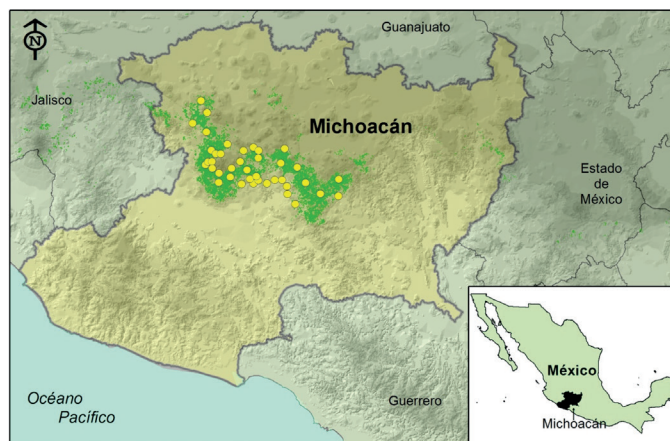


Figura 1. Geo localización de la zona de estudio. Polígonos en verde corresponden al padrón parcelario, círculos en amarillo a los huertos seleccionados.

Figure 1. Geo location of the study area. Polygons in green correspond to the parcel pattern, circles in yellow to the selected orchards.

Materials and methods

Study zone

The avocado producing region in Michoacan concentrates 148 000 ha (72% of the national surface area). It is distributed mainly in four climates and 40 municipalities. Michoacan represents almost 80% of national production (1.5 million tons per year). The region presents contrasting climates and a phenological behavior of cv. Hass clearly differentiated (Rocha-Arroyo *et al.*, 2011) (Figure 1).

Description of climates

In the producing region of ‘Hass’ in Michoacan at least 8 types of climate have been identified (García, 1964). For this study were selected the most widely distributed according to the percentage of established area of the crop. The most representative are sub-humid and subhumid temperate (89.21% of orchards) (Table 1).

Cuadro 1. Características de los climas.**Table 1. Characteristics of climates.**

Tipo de clima	Huertos (%)	Descripción climática
Cálido subhúmedo del tipo Aw ₁	1.08	Temperatura media anual mayor de 22 °C y temperatura del mes más frío mayor de 18 °C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal de 5% a 10.2% del total anual.
Semicálido subhúmedo (A)Ca(w ₁)+(A)Ca(w ₂)	43.83	Temperatura media anual mayor de 18 °C, temperatura del mes más frío menor de 18 °C, temperatura del mes más caliente mayor de 22 °C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal de 5% a 10.2% anual.
Templado subhúmedo del tipo Cb(w ₂)	45.38	Temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal de 5 a 10.2% del total anual.
Templado subhúmedo monzónico del tipo Cbm(w)	6.47	Temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 °C y 18 °C y temperatura del mes más caliente bajo 22 °C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal de 5% a 10.2% del total anual.

Climatología de referencia (actual)

Se utilizó el período 1961-2010, para lo cual se empleó el sistema de información climática interpolado por el INIFAP a una resolución de 90 m. Las variables climáticas obtenidas del sistema fueron: temperatura mínima media anual (T_{mín}), temperatura máxima media anual (T_{máx}), temperatura media anual (T_{med}) y precipitación acumulada anual (P_{cp}).

Escenarios de cambio climático (futuros)

Se utilizó el sistema de información de cambio climático del INIFAP derivado del ensamble de 11 modelos de circulación general: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M para RCP4.5 y 8.5 en tres temporalidades o climatologías futuras: 2030, 2050 y 2070 para caracterizar a corto, mediano y largo plazo respectivamente. Las variables climáticas fueron las mismas que se obtuvieron para la climatología de referencia.

Cálculo de las variables climáticas

Por cada sitio de estudio se colectó el valor de las variables climáticas T_{mín}, T_{máx}, T_{med} y P_{cp}. Con la hoja de cálculo de Excel Versión 14 (Microsoft, Redmond, WA, USA) se generaron valores medios para todas las variables climáticas por tipo de clima (promedio de las 10 observaciones).

Selection of orchards

The georeferenced land parcel of the Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA) was used to randomly select 10 orchards for each type of climate with the ArcMap Geographic Information System Version 10.1 (ESRI, Redlands, CA, U.S). The selection criteria were: size of orchard greater than 2 ha, variety 'Hass', and height above sea level (ASNM) corresponded to the climatic region (Table 2).

Reference climatology (current)

The period 1961-2010 was used, for which the climate information system interpolated by INIFAP was used at a resolution of 90 m. The climatic variables obtained from the system were: annual mean minimum temperature (T_{mín}), mean annual maximum temperature (T_{máx}), mean annual temperature (T_{med}) and annual cumulative precipitation (P_{cp}).

Climate change scenarios (futuros)

We used the INIFAP climate change information system derived from the assembly of 11 general circulation models: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M for

Cuadro 2. Huertos seleccionados por clima.
Table 2. Climate-selected orchards.

Clima/Sitio	Latitud	Longitud	ASNМ	Municipio	Localidad
Cálido subhúmedo (Aw_1)					
1	19° 18' 50.1"	101° 55' 16.2"	965	Taretan	Taretan
2	19° 13' 02.5"	101° 49' 46.6"	988	Nuevo Urecho	El Calvario
3	19° 18' 47.4"	101° 52' 13.4"	993	Taretan	Hoyo del Aire
4	19° 17' 18.1"	101° 58' 40.1"	1 001	Uruapan	San Francisco
5	19° 16' 11.4"	101° 50' 09.1"	1 016	Taretan	Hoyo del Aire
6	19° 17' 21.2"	102° 04' 24.3"	1 249	Uruapan	Charapendo
7	19° 19' 06.9"	102° 05' 55.2"	1 341	Uruapan	San Francisco
8	19° 17' 08.8"	102° 09' 27.7"	1 351	Uruapan	Conejo
9	19° 18' 38.1"	102° 02' 24.8"	1 555	Uruapan	San Francisco
10	19° 20' 12.0"	102° 03' 08.8"	1 601	Uruapan	San Francisco
Semicálido subhúmedo (AcW_1)+(AcW ₂)					
1	19° 25' 34.0"	101° 52' 45.0"	1 549	Ziracuaretiro	Ziracuaretiro
2	19° 09' 01.6"	101° 46' 31.9"	1 582	Ario de Rosales	Dr. Miguel Silva
3	19° 12' 08.9"	101° 28' 01.0"	1 604	Tacámbaro	Tacámbaro
4	19° 41' 48.0"	102° 30' 29.6"	1 614	Tocumbo	Tocumbo
5	19° 38' 18.0"	102° 24' 35.6"	1 632	Los Reyes	Atapan
6	19° 19' 54.5"	102° 14' 18.8"	1 742	Tancítaro	San José de la Peña
7	19° 22' 50.3"	102° 07' 12.2"	1 863	Nuevo Parangaricutiro	San Juan
8	19° 30' 46.4"	102° 22' 30.2"	1 893	Peribán	Peribán
9	19° 17' 40.3"	102° 19' 16.0"	2 009	Tancítaro	Zirimbo
10	19° 24' 50.7"	102° 24' 56.6"	2 161	Tancítaro	Tancítaro
Templado subhúmedo (Cw_2)					
1	19° 50' 55.6"	102° 26' 54.9"	2 069	Tangamandapio	Tarecuato
2	19° 23' 51.2"	101° 45' 36.6"	2 128	Salvador Escalante	Turian Bajo
3	19° 13' 11.8"	101° 35' 45.8"	2 136	Ario de Rosales	El Tepamal
4	19° 46' 02.3"	102° 24' 17.6"	2 202	Los Reyes	Jesús Díaz
5	19° 29' 20.3"	102° 20' 31.8"	2 241	Peribán	Peribán
6	19° 18' 58.1"	101° 27' 54.1"	2 244	Tacámbaro	San José de los Laureles
7	19° 31' 32.2"	101° 51' 02.5"	2 245	Tingambato	Tingambato
8	19° 17' 32.5"	101° 42' 08.4"	2 245	Salvador Escalante	La Cantera
9	19° 26' 07.1"	102° 23' 50.6"	2 290	Tancítaro	Apo del Rosario
10	19° 33' 17.1"	102° 15' 34.8"	2 379	Nuevo Parangaricutiro	San Juan Viejo
Templado subhúmedo monzónico ($Cm(w)$)					
1	19° 27' 37.6"	102° 02' 20.9"	2 194	Uruapan	Uruapan
2	19° 26' 17.6"	102° 10' 00.5"	2 208	Nuevo Parangaricutiro	Rancha Nuevo
3	19° 30' 43.0"	102° 08' 40.3"	2 214	Uruapan	Las Cocinas
4	19° 30' 43.1"	102° 02' 10.5"	2 215	Uruapan	Zirapóndiro
5	19° 31' 56.8"	102° 04' 28.3"	2 238	Uruapan	Capacuaro
6	19° 23' 29.9"	102° 22' 06.1"	2 436	Tancítaro	El Jazmín
7	19° 23' 30.1"	102° 13' 45.4"	2 485	Nuevo Parangaricutiro	Las Amapolas
8	19° 29' 19.2"	102° 18' 32.0"	2 497	Uruapan	Nuevo Zirosto
9	19° 21' 30.9"	102° 19' 08.5"	2 519	Tancítaro	Zirimondiro
10	19° 26' 14.8"	102° 22' 10.9"	2 545	Tancítaro	Apo del Rosario

Esquemas fenológicos

De los diagramas publicados por Rocha-Arroyo *et al.* (2011) se obtuvo la cronología por tipo de floración (normal, marceña, aventajada y loca) y el flujo vegetativo (invierno, primavera y verano) por tipo de clima.

Meteorología mensual

Para apoyar la interpretación de los esquemas fenológicos, fue incluida la temperatura mínima mensual de la climatología de referencia y los escenarios de cambio climático. Los datos mensuales fueron extraídos del mismo sistema de información climática del INIFAP. Mediante el gestor de base de datos Access Versión 14 (Microsoft, Redmond, WA, Estados Unidos) se promediaron los valores de los diez sitios de cada clima por cada mes, escenario y climatología.

Resultados y discusión

Climatología actual

El clima cálido subhúmedo (Aw_1) presentó los indicadores térmicos más altos de los cuatro climas. Los climas templado subhúmedo (Cbw_2) y templado húmedo ($Cbm(w)$) fueron los más fríos con $T_{mín}$ 8.9 °C. La precipitación varió debido a la orografía de la región. Las zonas productoras con menor precipitación comprenden los climas Aw_1 y $Cm(w)$ y la Pcp más alta (1 428.6 mm) es el clima templado subhúmedo (Cuadro 3). Lo anterior coincide con lo mencionado por García (1964) para los climas templados (subhúmedo y húmedo). Sin embargo, para el clima cálido los resultados fueron menores (0.3 °C), en tanto que para el clima semicálido superaron en 1.1 °C el valor típico de este clima. Las diferencias encontradas pueden deberse a la fuente de datos utilizada, así como la climatología de referencia. El resultado del análisis de las variables climatológicas del presente trabajo concuerda con los requerimientos agroecológicos para la producción de 'Hass' publicados por Ruíz *et al.* (2013).

Escenarios futuros de cambio climático

El comportamiento de las variables climáticas bajo un escenario de emisiones intermedias de GEI (RCP 4.5) sobrepasa 2 °C de aumento hacia finales de siglo en los cuatro climas de la región productora de aguacate 'Hass' en Michoacán. El aumento más representativo se presenta en

RCPs 4.5 and 8.5 in three temporalities or future climatologies: 2030, 2050 and 2070 in order to characterize the short, medium and long term respectively. The climatic variables were the same ones that were obtained for the reference climatology.

Calculation of climatic variables

For each study site, the value of the climatic variables T_{min} , T_{max} , T_{med} and P_{cp} were collected. With the Excel Version 14 spreadsheet (Microsoft, Redmond, WA, USA) the mean values for all climate variables were generated by climate type (average of 10 observations).

Phenological schemes

From the diagrams published by Rocha-Arroyo *et al.* (2011) chronology was obtained by type of flowering (normal, marceña, surpassed and crazy) and the vegetative flow (winter, spring and summer) by type of climate.

Monthly weather

In order to support the interpretation of the phenological schemes, the minimum monthly temperature of the reference climatology and the climatic change scenarios were included. The monthly data were extracted from the same INIFAP climate information system. Using the Access Version 14 database manager (Microsoft, Redmond, WA, USA) the values of the ten sites of each climate were averaged for each month, scenario and climatology.

Results and discussion

Current climatology

The warm subhumid climate (Aw_1) presented the highest thermal indicators of the four climates. Temperatures subhumid (Cbw_2) and temperate humid ($Cbm(w)$) were the coldest with $T_{mín}$ 8.9 °C. Rainfall varied due to the orography of the region. The areas with the lowest precipitation include climates Aw_1 and $Cm(w)$ and the highest P_{cp} (1 428.6 mm) is the subhumid temperate climate (Table 3). This coincides with that mentioned by García (1964) for temperate climates (sub-humid and humid). However, for the warm climate the results were lower (0.3 °C), whereas for the semi-warm climate they surpassed in 1.1 °C the

la T_{máx} y T_{med} en el clima templado subhúmedo. Por el contrario, la P_{cp} muestra disminución en todos los horizontes y climas, con valores promedio de -40 mm. Sobresale el horizonte de mediados de siglo (2050) con una baja de la precipitación desde 3.56% en el clima Templado subhúmedo hasta 4.20% en el clima semicálido subhúmedo (Cuadro 4).

typical value of this climate. The differences found may be due to the data source used, as well as the reference climatology. The result of the analysis of the climatological variables of the present work agrees with the agroecological requirements for the production of 'Hass' published by Ruiz *et al.* (2013).

Cuadro 3. Climatología de referencia (1961-2010).

Table 3. Reference climatology (1961-2010).

Clima	T mín (°C)	T máx (°C)	T med (°C)	P (mm)
Cálido subhúmedo Aw ₁	13.7	29.6	21.7	1 145.5
Semicálido subhúmedo (A)Ca(w ₁)+(A)Ca(w ₂)	11.4	26.8	19.1	1 222
Templado subhúmedo Cb(w ₂)	8.9	24.7	16.8	1 428.6
Templado húmedo Cbm(w)	8.9	23.3	16.1	1 198.3

Cuadro 4. Simulación climática para el RCP 4.5 en tres diferentes horizontes por tipo de clima.

Table 4. Climate simulation for RCP 4.5 in three different horizons by climate type.

Climatología	T mín (°C)		T máx (°C)		T med (°C)		P (mm)	
	Sim ^z	Dif ^y	Sim	Dif	Sim	Dif	Sim	Dif
Cálido subhúmedo (Aw ₁)								
Horizonte 2030	14.91	1.18	30.95	1.35	22.93	1.26	1 115	-30
Horizonte 2050	15.43	1.71	31.55	1.94	23.49	1.83	1 115	-43
Horizonte 2070	15.72	2	32.02	2.41	23.87	2.2	1 116	-29
Semicálido subhúmedo (A)Ca(w ₁)+(A)Ca(w ₂)								
Horizonte 2030	12.58	1.19	28.16	1.36	20.37	1.27	1 186	-36
Horizonte 2050	13.11	1.72	28.76	.97	20.94	1.84	1 171	-51
Horizonte 2070	13.41	2.02	29.21	2.41	21.31	2.22	1 178	-45
Templado subhúmedo C(w ₂)								
Horizonte 2030	10.08	1.19	26.05	1.37	18.06	1.28	1 393	-35
Horizonte 2050	10.61	1.72	26.66	1.98	18.63	1.85	1 378	-51
Horizonte 2070	10.89	2.01	27.12	2.44	19.01	2.23	1 384	-43
Templado húmedo Cbm(w)								
Horizonte 2030	10.04	1.19	24.65	1.37	17.35	1.28	1 164	-34
Horizonte 2050	10.57	1.72	25.25	1.98	17.91	1.85	1 149	-50
Horizonte 2070	10.88	2.03	25.7	2.42	18.29	2.23	1 156	-43

^z= datos de simulación para las climatologías; ^y= diferencia aritmética de restar el valor de un horizonte menos la climatología de referencia.

El cambio climático en un escenario de altas emisiones de GEI (RCP 8.5) manifiesta en todos los climas las mayores diferencias respecto a la climatología de referencia (1961-2010). Aumentos de temperatura de más de 3 °C, de los cuales resalta T_{máx} con 3.74 °C en el horizonte 2070. La tasa de cambio entre mediados y finales de siglo en todas las variables térmicas es mayor a 1 °C. En lo que respecta

Future climate change scenarios

The behavior of climatic variables under an intermediate GEI emissions scenario (RCP 4.5) surpasses 2 °C increase by the end of the century in the four climates of the Hass avocado producing region in Michoacán. The most representative increase occurs in the T_{max} and T_{med} in the temperate

a la Pcp, todos los climas y todos los horizontes presentan disminución, siendo el horizonte 2070 donde se acentúa dicha disminución (menores que 120 mm) el cual representa en promedio 10% de la Pcp en cada uno de los cuatro climas (Cuadro 5).

sub-humid climate. In contrast, Pcp shows decrease in all horizons and climates, with mean values of -40 mm. The mid-century horizon (2050) stands out with a drop in precipitation from 3.56% in the subhumid temperate climate to 4.20% in the semi-humid sub-humid climate (Table 4).

Cuadro 5. Simulación climática para el RCP 8.5 en tres diferentes horizontes por tipo de clima.
Table 5. Climate simulation for RCP 8.5 in three different horizons by climate type.

Climatología	T mín (°C)		T máx (°C)		T med (°C)		P (mm)	
	Sim ^z	Dif ^y	Sim	Dif	Sim	Dif	Sim	Dif
Cálido subhúmedo (Aw ₁)								
Horizonte 2030	15.23	1.51	31.45	1.84	23.34	1.68	1 083	-62
Horizonte 2050	15.9	2.18	32.27	2.66	24.09	2.42	1 055	-90
Horizonte 2070	16.92	3.19	33.34	3.74	25.13	3.47	1 022	-123
Semicálido subhúmedo (A)Ca(w ₁)+(A)Ca(w ₂)								
Horizonte 2030	12.93	1.54	28.65	1.85	20.79	1.69	1 158	-64
Horizonte 2050	13.62	2.23	29.47	2.67	21.54	2.45	1 130	-92
Horizonte 2070	14.63	3.24	30.54	3.74	22.58	3.49	1 085	-137
Templado subhúmedo Cb(w ₂)								
Horizonte 2030	10.39	1.51	26.53	1.84	18.46	1.67	1 377	-52
Horizonte 2050	11.09	2.21	27.35	2.66	19.22	2.44	1 354	-75
Horizonte 2070	12.11	3.23	28.42	3.74	20.27	3.49	1 307	-122
Templado húmedo Cbm(w)								
Horizonte 2030	10.42	1.57	25.12	1.84	17.77	1.7	1 143	-55
Horizonte 2050	11.08	2.23	25.94	2.66	18.51	2.45	1 119	-80
Horizonte 2070	12.11	3.26	27.01	3.73	19.56	3.49	1 069	-129

^z= datos de simulación para las climatologías; ^y= diferencia aritmética de restar el valor de un horizonte menos la climatología de referencia.

El aumento de la Tmín según los escenarios RCP 4.5 y 8.5, resultaría benéfico al disminuir el riesgo de exposición a bajas temperaturas (<10 °C) las cuales afectan el desarrollo del cultivo, sobre todo en la fase de floración (Whiley y Winston, 1987; Zamet, 1990). Es posible que dichas condiciones ocurran en los cuatro climas para los tres horizontes.

El incremento en la Tmáx sí podría representar un factor limitante para el cv. Hass en Michoacán. Los periodos de apertura floral de 'Hass' normalmente son de 40 a 90 días, siendo los periodos cortos para temperaturas altas durante la floración. Sin embargo, las temperaturas extremas altas (33°C) durante la floración no sólo acortan el periodo de apertura de flores, sino que reducen la cantidad de flores que abren (Sedgley y Annells, 1981) y disminuyen la viabilidad del polen. Los periodos cortos de floración disminuyen la probabilidad de cuaja de fruto y consecuentemente la producción de fruto.

Climate change in a scenario of high GEI emissions (RCP 8.5) shows the greatest differences in reference climatology in all climates (1961-2010). Temperature increases of more than 3 °C, which highlights Tmax with 3.74 °C in the horizon 2070. The exchange rate between the middle and end of the century in all thermal variables is greater than 1 °C. As far as Pcp is concerned, all the climates and all horizons of the decrease, being the 2070 horizon where the decrease (less than 120 mm) is accentuated, which represents on average 10% of the Pcp in each of the four climates (Table 5).

The increase in Tmin according to the scenarios RCP 4.5 and 8.5, would be beneficial to reduce the risk of exposure to low temperatures (<10 °C) which could affect the development of the crop, especially in the flowering phase (Whiley and Winston, 1987; Zamet, 1990). It is possible that such conditions occur in the four climates for the three horizons.

Después de la polinización y fecundación del óvulo se inicia la formación y el desarrollo del embrión. En el cv. Hass el crecimiento inicial de los embriones también es sensible a las temperaturas altas obteniéndose un máximo crecimiento inicial a 25/20 °C (día/noche) y muerte de embriones con temperaturas 28 - 33 °C (Sedgley y Annells, 1981). La caída de frutillos (<5 mm) en aguacate también es provocada por las temperaturas extremas máximas ($R^2=0.72$), así como la baja humedad relativa ($R^2=0.87$) asociada a las altas temperaturas (Lahav y Zamet, 1999). Las condiciones mencionadas se presentarán solamente en el clima cálido subhúmedo bajo el escenario RCP 8.5 en el horizonte 2 070. Sin embargo, el aumento de temperatura en combinación con una disminución de la precipitación incrementará el estrés del cultivo (aumento de la evapotranspiración), intensificando el impacto del aumento de la temperatura (Ruiz *et al.*, 2011).

Umbral térmico para el desarrollo floral

El cambio climático sólo podrá afectar al proceso de desarrollo floral en dos climas de la región productora de aguacate en Michoacán (cálido subhúmedo y el semicálido subhúmedo). Los climas templados aún se mantienen por debajo del umbral crítico ($T_{mín} \leq 16$ °C) (Álvarez-Bravo y Salazar-García, 2015). En el clima cálido subhúmedo en los tres horizontes del escenario intermedio en emisiones de GEI la $T_{mín}$ supera el umbral por siete meses (abril-octubre) (Figura 2A). En el clima semicálido subhúmedo se superará el umbral de 16 °C en junio para el horizonte de finales de siglo (Figura 2B).

Mientras que en el escenario RCP 8.5 no únicamente incrementan los meses de exposición al umbral crítico (abril-diciembre para el horizonte 2070) sino también se alcanzará una $T_{mín}$ de 20 °C en verano (Figura 2A). En lo que respecta al clima semicálido subhúmedo, solo en el horizonte 2070 se prevé supere la línea de 16 °C en el periodo junio - octubre (Figura 2B). Lo anterior muestra la vulnerabilidad del cv. Hass ante el cambio climático, coincidiendo con lo reportado en otros trabajos donde se concluye el impacto negativo del cambio climático en etapas fenológicas sensibles a altas temperaturas (Howden *et al.*, 2005; Putland *et al.*, 2011).

Esta vulnerabilidad del cv. Hass debería ser motivo de incluir en un futuro próximo una línea de investigación encaminada a la búsqueda de germoplasma con mejor respuesta adaptativa a las altas temperaturas y su incorporación a programas de mejoramiento genético, con la finalidad de obtener variedades mejor dotadas para enfrentar el cambio climático del presente siglo.

The increase in maximum temperature could represent a limiting factor for cv. Hass in Michoacán. The floral opening periods of 'Hass' are usually 40 to 90 days, with the periods being short for high temperatures during flowering. However, high temperatures (33 °C) during flowering not only shorten the period of flower opening, but also reduce the number of flowers that open (Sedgley and Annells, 1981) and decrease the viability of pollen. The short periods of flowering reduce the probability of harvesting of fruit and consecutively the production of fruit.

After the pollination and fertilization of the ovule the formation and development of the embryo begins. In cv. Hass initial embryo growth is also sensitive to high temperatures obtaining maximum initial growth at 25/20 °C (day / night) and death of embryos at temperatures 28 - 33 °C (Sedgley and Annells, 1981). The fruit fall (<5 mm) in avocado is also caused by the maximum extreme temperatures ($R^2=0.72$), as well as the low relative humidity ($R^2=0.87$) associated with high temperatures (Lahav and Zamet, 1999). The conditions mentioned will only be presented in the warm sub-humid climate under the RCP 8.5 scenario in the 2070 horizon. However, increasing temperature in combination with a decrease in precipitation will increase crop stress (increased evapotranspiration), impact of temperature increase (Ruiz *et al.*, 2011).

Thermal threshold for floral development

The climatic change only allows to affect the process of floral development in the climates of the producing region of avocado in Michoacán (warm subhumid and the semicalido subhumid). Temperate climates still remain below the critical threshold ($T_{mín} \leq 16$ °C) (Álvarez-Bravo and Salazar-García, 2015). In the warm sub-humid climate in the three horizons of the intermediate stage in GEI emissions the $T_{mín}$ exceeds the threshold for seven months (april - october) (Figure 2A). In the sub-humid semi-warm climate, the threshold of 16 °C in June will be exceeded by the end of the century horizon (Figure 2B).

However, in the RCP 8.5 scenario not only increase the months of exposure to the critical threshold (april - december for the 2070 horizon) but also a $T_{mín}$ of 20 °C in summer (Figure 2A). As far as the sub-humid semi-warm climate is concerned, it is only in the 2070 horizon that the line of 16 °C in the period June-october is expected to surpass (Figure 2B). This shows the vulnerability of cv. Hass report on climate change, coinciding with other studies concluding the negative impact of climate change on phenological stages sensitive to high temperatures (Howden *et al.*, 2005; Putland *et al.*, 2011).

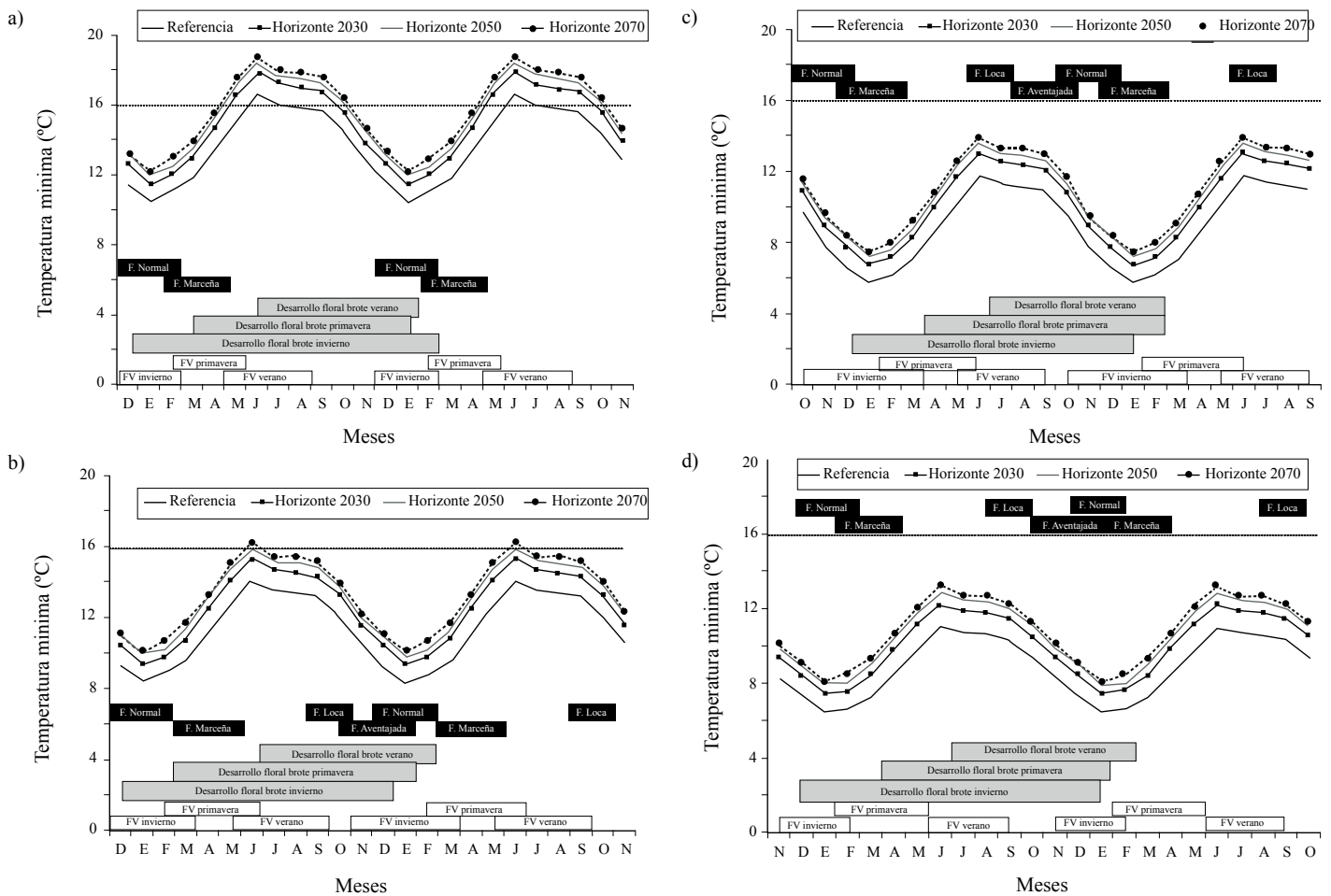


Figura 2. T_{min} mensual para el RCP 4.5 en tres horizontes y fenología del aguacate ‘Hass’ en los climas: a) cálido subhúmedo Aw₁; b) semicálido subhúmedo (A)Ca(w₁)+(A)Ca(w₂); c) templado subhúmedo Cb(w₂); y d) templado subhúmedo monzónico Cbm(w). ‘F’ se refiere a floración y ‘FV’ a flujo vegetativo.

Figure 2. T_{min} monthly for RCP 4.5 in three horizons and ‘Hass’ avocado phenology in climates: a) warm subhumid Aw₁; b) sub-humid sub-fluid (A)Ca(w₁)+(A)Ca(w₂); c) subhumid tempering Cb(w₂); and d) subhumid monsoon tempering Cbm(w). ‘F’ refers to flowering and ‘FV’ to vegetative flow.

Inflexión de la temperatura mínima

Es aceptado que la transición de un periodo cálido a uno fresco (disminución de la T_{min}) promueve el inicio del desarrollo floral mediante la inhibición del crecimiento vegetativo (Salazar-García *et al.*, 2013). Esta inflexión se presenta en los cuatro climas de julio en la climatología de referencia. Sin embargo, en el escenario de emisiones medias, se presentan aumentos de temperatura en los tres horizontes pero prevalece julio como el mes de inflexión (Figura 2A, 2B, 2C y 2D). En tanto la climatología mensual en el escenario de altas emisiones tendrá impacto negativo en los cuatro climas. En el cálido y semicálido subhúmedo la inflexión se moverá un mes hacia adelante (agosto) (Figura 3A y 3B).

This vulnerability of cv. Hass is recommended to be included in the future near a line of research aimed at the search of germplasm with the best adaptive response to high temperatures and its incorporation into genetic improvement programs, in order to obtain various best points to face the climate change of the present century.

Inflection of the minimum temperature

It is accepted that the transition from a warm period to a fresh one (decrease in minimum temperature) promotes the onset of floral development by inhibiting vegetative growth (Salazar-García *et al.*, 2013). This inflection occurs in the four climates in the month of July in the reference

Mientras que en el templado subhúmedo y subhúmedo monzónico la inflexión se prolonga hasta dos meses después (septiembre) (Figuras 3C y 3D) con consecuencias en la posible desaparición de la floración marceña. Rocha *et al.* (2010) indicaron que la determinación irreversible a la floración se presenta más temprano en los climas templados que en los cálidos.

climatology. However, in the average emissions scenario, there are increases in temperature in the three horizons but July prevails as the month of inflection (Figures 2A, 2B, 2C and 2D). While the monthly climatology in the high emissions scenario will have a negative impact on the four climates. In the warm and semi-humid sub-humid the inflection will move one month forward (august) (Figure 3A and 3B).

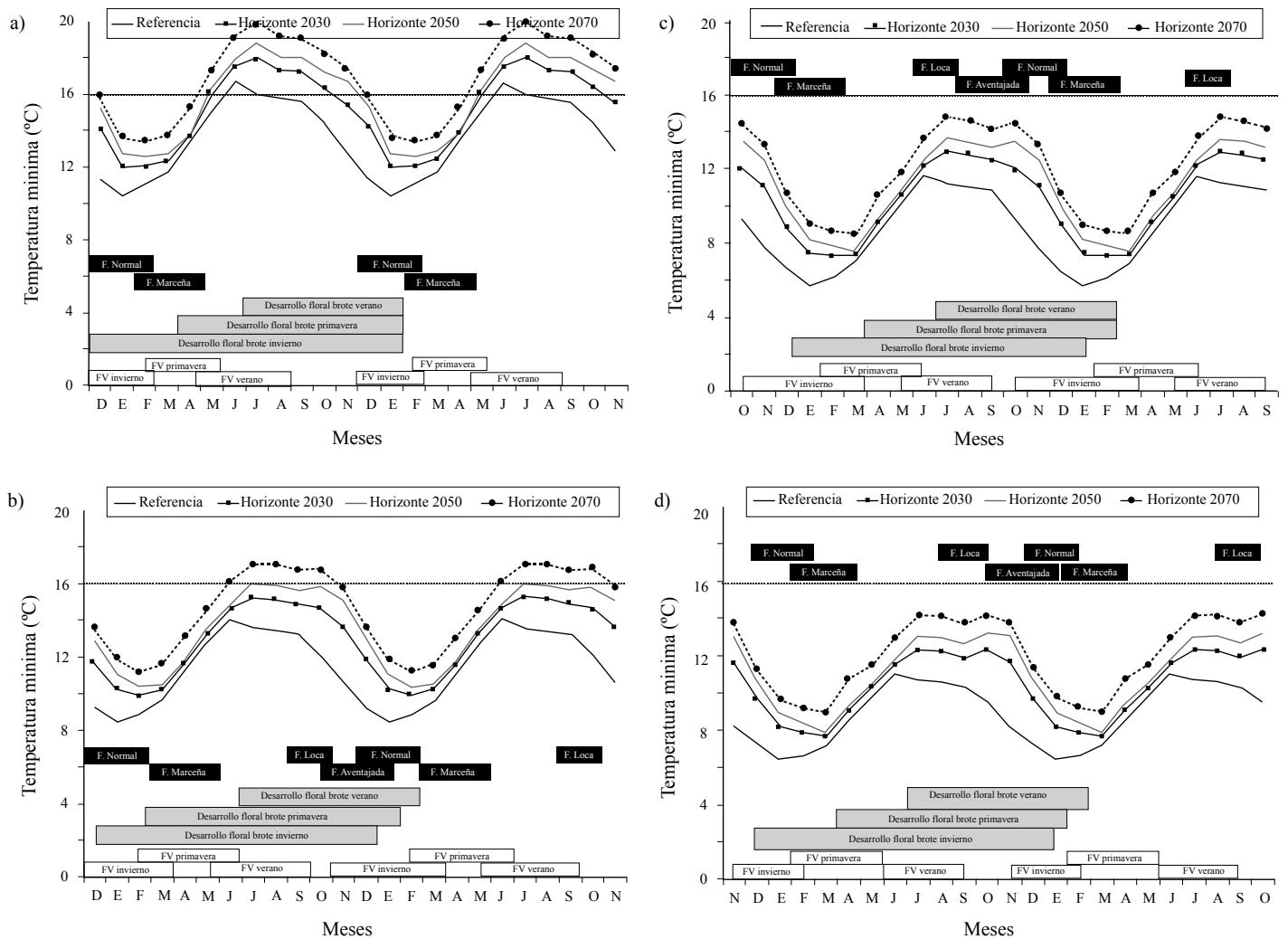


Figura 3. T_{min} mensual para el RCP 8.5 en tres horizontes y fenología del aguacate ‘Hass’ en los climas: A) cálido subhúmedo Aw₁; B) semicálido subhúmedo (A)Ca(w₁)+(A)Ca(w₂); C) templado subhúmedo Cb(w₂); y D) templado subhúmedo monzónico Cbm(w). “F” se refiere a floración y “FV” a flujo vegetativo.

Figure 3. T_{min} monthly for RCP 8.5 in three horizons and ‘Hass’ avocado phenology in climates: A) warm subhumid Aw₁. B) sub-humid sub-fluid (A)Ca(w₁)+(A)Ca(w₂); C) subhumid tempering Cb(w₂); and D) subhumid monsoon tempering Cbm(w). “F” refers to flowering and “FV” to vegetative flow.

Considerando la salida del escenario RCP 8.5 esa aseveración cambiará en el horizonte de mediados y finales de siglo. Estos cambios en el patrón climático promoverán

While in the subhumid and subhumid temperate monsoon the inflection continues until two months later (september) (Figures 3C and 3D) with consequences in the possible

alteraciones fenológicas que seguramente impactarán la cantidad y calidad del fruto a cosechar, como lo exponen trabajos realizados en Michoacán (Salazar-García *et al.*, 2011; Salazar-García *et al.*, 2016a; Salazar-García *et al.*, 2016b).

Conclusiones

La fenología del aguacate 'Hass' cultivado en Michoacán es vulnerable al cambio climático por dos amenazas: 1. El aumento de la temperatura máxima media anual; y 2. El retraso de la inflexión (descenso) de la temperatura mínima. Estos impactos son regionales y asociados a zonas climáticas identificadas en este estudio. Por lo tanto, el cambio climático sí modificará las zonas productoras de este cultivar de aguacate. Las zonas con clima cálido subhúmedo son las más afectadas por el aumento de la temperatura máxima al sobrepasar el umbral crítico de 33 °C, en tanto que en los climas templados subhúmedo y templado subhúmedo monzónico, resentirán el retraso de iniciación floral solamente para la trayectoria de concentración representativa (RCP) 8.5. Los resultados apuntan hacia mejores condiciones futuras para el cultivo de 'Hass' en el clima semicálido subhúmedo (A)Ca(w₁)+(A)Ca(w₂), aún con los cambios en el clima futuro.

Agradecimientos

Se reconoce el financiamiento del INIFAP para esta investigación (proyecto SIGI: 116132972).

Literatura citada

- Adedeji, O.; Reuben, O. and Olatoye, O. 2014. Global climate change. *J. Geosci. Environ. Protection*. 2(02):114.
- Álvarez-Bravo, A. y Salazar-García, S. 2015. Validación de un modelo de predicción del desarrollo floral del aguacate 'Hass' en Michoacán, México. *In: VIII Congreso Mundial de la Palta*. Lima, Perú. 380-385 pp.
- Galindo, T. M. E. y Arzate, F. A. M. 2010. Consideraciones sobre el origen y primera dispersión del aguacate (*Persea americana*, Lauraceae). *Cuadernos de Biodiversidad*.(33):11-15.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF. México. Instituto de Geografía. Serie libros Núm. 6. 98 p.

disappearance of the marceña flowering. Rocha *et al.* (2010) indicated that the irreversible determination to flowering occurs earlier in temperate than in warm climates.

Considering the departure of the scenario RCP 8.5 that assertion will change in the horizon of mid and end of century. These changes in the climatic pattern will promote phenological alterations that will surely impact the quantity and quality of the fruit to be harvested, as shown by works carried out in Michoacán (Salazar-García *et al.*, 2011; Salazar-García *et al.*, 2016a; Salazar-García *et al.*, 2016b).

Conclusions

The phenology of 'Hass' avocado cultivated in Michoacán is vulnerable to climate change by two threats: 1. The increase of the average annual maximum temperature; and 2. Delay of inflection (descent) of the minimum temperature. These impacts are regional and associated to climatic zones identified in this study. Therefore, climate change will change the production areas of this avocado cultivar. The zones with warm subhumid climate are most affected by the increase of the maximum temperature when exceeding the critical threshold of 33 °C, whereas in subhumid temperate climates and temperate subhumid monsoon, they will suffer the delay of floral initiation only for the trajectory of representative concentration (RCP) 8.5. The results point to better future conditions for 'Hass' cultivation in the semi-warm sub-humid climate (A)Ca(w₁)+(A)Ca(w₂), even with changes in future climate.

End of the English version



- Grageda, J. G.; Corral, J. A. R.; Romero, G. E. G.; Moreno, J. H. N.; Lagarda, J. V.; Álvarez, O. R. y Lagunes, A. J. 2016. Efecto del cambio climático en la acumulación de horas frío en la región nogalera de Hermosillo, Sonora. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2487-2495.
- Howden, M.; Newett, S. and Deuter, P. 2005. Climate change-risks and opportunities for the avocado industry. *In: proceedings of the New Zealand and Australian Avocado Grower's Conference*. Holland, P. (Eds.) Tauranga, New Zealand. 1-28.
- Hribar, J. and Vidrih, R. 2015. Impacts of climate change on fruit physiology and quality. *In: Proceedings. 50th Croatian and 10th International Symposium on Agriculture*. Opatija. Croatia. 42- 45 p.

- Hulme, M. 1996. Climate change and Southern Africa: an exploration of some potential impacts and implications for the SADC region. Norwich, UK: Climatic Research Unit, University of East Anglia. 1-104 pp.
- IPCC. 2013. Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. y Midgley, P. M. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY. Estados Unidos de América. 205 p.
- Lahav, E. and Zamet, D. 1999. Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 5: 95-100.
- Lane, J. E. 2015. Global warming as evolution: rebuttal of two extreme positions. *Open Access Library Journal.* 2(10):1.
- Putland, D.; Muller, J.; Deuter, P. and Newett, S. 2011. Potential implications of climate change and climate policies for the Australian avocado industry. *Horticulture Australia.* 1-116.
- Ring, M. J.; Lindner, D.; Cross, E. F. and Schlesinger, M. E. 2012. Causes of the global warming observed since the 19th century. *Atmospheric Climate Sci.* 2(04):401.
- Rocha-Arroyo, J. L.; Salazar-García, S. y Bárcenas-Ortega, A. E. 2010. Determinación irreversible a la floración del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(4):469-478.
- Rocha-Arroyo, J. L.; Salazar-García, S.; Bárcenas-Ortega, A. E.; González-Durán, I. J. y Cossio-Vargas, L. E. 2011. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(3):303-316.
- Rochette, P.; Belanger, G.; Castonguay, Y.; Bootsma, A. and Mongrain, D. 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. *Canadian J. Plant Sci.* 84(4):1113-1125.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Ramírez, D. J. L.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Manríquez, O. J. D.; Zarazúa, V. P.; González, E. D. R.; Díaz, P. G. y Mora, O. C. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2:* 309-323.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. I. J.; González, A. H. E.; Flores, L. G.; Ramírez, O. C.; Ortiz, T. K. F. Byerly, M. y Martínez, P. R. A. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda edición. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Libro técnico Núm. 3. 564 p.
- Salazar-García, S.; Garner, L. C. and Lovatt, C. J. 2013. Reproductive biology. *In:* Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N. and Whiley, A. W. (Eds.). *The avocado. 2nd (Ed.). Botany, Production and Uses.* CABI, Oxfordshire, UK. 118-167 pp.
- Salazar-García, S.; González-Durán, I. J. L. y Tapia-Vargas, L. M. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17(2):183-194.
- Salazar-García, S.; Lord, E. M. and Lovatt, C. J. 1999. Inflorescence development of the 'Hass' avocado: commitment to flowering. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124: 478-482.
- Salazar-García, S.; Medina-Carrillo, R. E. y Álvarez-Bravo, A. 2016a. Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 13:* 2565-2575.
- Salazar-García, S.; Medina-Carrillo, R. E. y Álvarez-Bravo, A. 2016b. Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(2):277-289.
- Sedgley, M. and Annells, C. M. 1981. Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar 'Hass'. *Sci. Hortic.* 14:27-33.
- Sugiura, T.; Ogawa, H.; Fukuda, N. and Moriguchi, T. 2013. Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change. *Scientific Reports,* 3, 2418.
- Whiley, A. W. and Winston, E. C. 1987. Effect of temperature at flowering on varietal productivity in some avocado-growing areas in Australia. *Proc. First World Avocado Congress. South African Avocado Growers' Association Yearbook.* 10:45-47.
- Zamet, D. N. 1990. The effect of minimum temperature on avocado yield. *California Avocado Society Yearbook* 74. USA. 247-256 pp.