

EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ACUMULACIÓN DE FRÍO EN LA REGIÓN MANZANERA DE CHIHUAHUA *

EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON COLD ACCUMULATION IN THE APPLE PRODUCING REGION OF CHIHUAHUA

Guillermo Medina-García^{1§}, José Ariel Ruiz-Corral², Manuel Rafael Ramírez-Legarreta³ y Gabriel Díaz Padilla⁴

¹Campo Experimental Zacatecas. INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5. Calera, Zacatecas, México. C. P. 98600. Tel. 01 478 9850198. ²Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Tepatitlán, Jalisco, México. C. P. 47600. ³Campo Experimental Sierra de Chihuahua. INIFAP. Hidalgo 1213. Colonia centro, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. ⁴Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, km 34.5. Medellín de Bravo, Veracruz, México. [§]Autor de correspondencia: medina.guillermo@inifap.gob.mx.

RESUMEN

La región manzanera del estado de Chihuahua es la más importante en México con 40.8% de la superficie plantada, las principales variedades que se cultivan son Golden Delicious y Red Delicious. A nivel mundial es aceptado que la Tierra está experimentando un fenómeno de calentamiento atmosférico global y que ha sido consecuencia del aumento en la concentración de los llamados “gases de efecto invernadero”. Se realizó un análisis retrospectivo con series de datos históricos del área de estudio, para ello se utilizaron anomalías de temperatura para el periodo 2011-2060, estimadas con un ensamble de 10 modelos de circulación general, para generar mapas de temperatura futura a partir de la climatología de referencia 1961-2003. A partir de estos mapas de temperatura se obtuvieron mapas de unidades frío para cinco escenarios futuros. El análisis retrospectivo mostró tendencia significativa de la disminución de las unidades frío en el periodo invernal. Con los escenarios futuros de la acumulación de unidades frío, se cuantificó la disminución promedio de las unidades, así como la disminución de la superficie con mayor acumulación de frío y el aumento de áreas con menor acumulación de frío en la región manzanera. Estos resultados evidencian el impacto de la variación del clima regional sobre el desarrollo del

ABSTRACT

The apple producing region of Chihuahua is the most important in Mexico, with 40.8% of the planted area; the main grown varieties are Golden Delicious and Red Delicious. Globally it is accepted that the Earth is experiencing a global warming phenomenon and it has been the result of increased concentration of the so-called “greenhouse gases”. A retrospective analysis was performed using historical data series for the studied area, for this purpose, temperature anomalies for the period 2011-2060 were used, they were estimated from an ensemble of 10 general circulation models, in order to generate future temperature maps from the 1961-2003 reference climatology. From these temperature maps, chilling units' maps were obtained for five future scenarios. The retrospective analysis showed a significant trend of decreasing cold units during the Winter. Using future scenarios of the cold units' accumulation, the units' average decline was quantified, as well as the decrease of the surface with greater accumulation of cold and increased areas of low cold accumulation in the apple producer region. These results demonstrate the impact of regional climate variability on the development of apple trees in recent

* Recibido: diciembre de 2010
Aceptado: junio de 2011

manzano en las últimas décadas, lo que señala la necesidad de medidas de adaptación. En este sentido se sugiere la aplicación de compensadores de frío, cambiar a variedades con menor requerimiento de frío y las plantaciones a zonas con mayor acumulación de frío.

Palabras clave: calentamiento global, Chihuahua, manzano, unidades frío.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global implica perturbaciones en la temperatura, en la precipitación, nubosidad y todos los elementos del sistema atmosférico. A nivel mundial es aceptado actualmente que el planeta Tierra está experimentando un fenómeno de calentamiento atmosférico global. El IPCC (2007) señala que la temperatura promedio se ha incrementado 0.6 ± 0.2 °C durante los últimos cien años y ha sido consecuencia del aumento en la concentración atmosférica de los llamados “gases de efecto invernadero”.

A nivel global las décadas de 1990 y 2000 han sido las más cálidas. Es notable el periodo entre 1910-1945 con un incremento de temperatura global de 0.14 °C y el periodo de 1976-1999 con un acrecentamiento de temperatura de 0.17 °C (Salinger, 2005; Jones *et al.*, 2009).

Se han realizado estudios en diferentes regiones del planeta para conocer las tendencias de temperatura y determinar sus diferencias con respecto a la climatología actual, utilizando series de 30 años para que disminuyan errores sistemáticos y que permitan detectar variaciones pequeñas en temperaturas (Leroy, 1999), dichas diferencias son conocidas como anomalías.

En lo que respecta a las anomalías de temperatura de manera estacional, todas las estaciones muestran un calentamiento general desde mediados de los 70's (Jones *et al.*, 2009). Esta tendencia ha alargado el período libre de heladas en varias regiones de latitudes medias y altas, observando una disminución de 10% en el número de días con helada a nivel global (Salinger, 2005).

Debido al incremento de la temperatura que se ha dado de manera general en todas las estaciones, invierno también se ha visto afectada al disminuir la cantidad de frío o unidades frío que se acumulan durante la temporada y que son

decades, indicating the need for adaptation measures. In this regard, it is suggested the application of cold compensators, switching to varieties with lower chilling requirements and to move plantations to areas with greater accumulation of cold.

Key words: apple trees, Chihuahua, cold units, global warming.

INTRODUCTION

Global climate change involves perturbations in temperature, precipitation, cloudiness, and all elements of the atmospheric system. Worldwide is currently accepted that the Earth is experiencing a global warming phenomenon. The IPCC (2007), indicates that the average temperature has risen 0.6 ± 0.2 °C during the last hundred years and has been a result of increased atmospheric concentrations of the so-called “greenhouse gases”.

Globally, the decades of 1990 and 2000 were the warmest. The period between 1910-1945 is remarkable due to the increase of 0.14 °C in global temperature and, the period of 1976-1999 with a temperature increase of 0.17 °C (Salinger, 2005; Jones *et al.*, 2009).

Studies in different regions of the world have been conducted for knowing trends in temperature and to determine their differences with respect to the current climate; using series of 30 years to reduce systematic errors and to detect small variations in temperature (Leroy, 1999), these differences are known as anomalies.

Regarding to the temperature anomalies on a seasonal basis, all stations show a general warming since the mid 70's (Jones *et al.*, 2009). This trend has extended the frost-free period in various regions of middle and high elevations, noting a 10% decrease in the number of days with frost globally (Salinger, 2005).

Due to the temperature increase in all seasons, the Winter has also been affected by decreasing the amount of cold or cold units that are usually accumulated during the season and that are necessary to break Winter dormancy of deciduous fruit trees (Jindal and Mankotia, 2004; Luedeling *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010).

necesarias para romper el letargo invernal de los frutales caducifolios (Jindal and Mankotia, 2004; Luedeling *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010).

Debido que la temperatura es afectada por diversos factores entre los que se encuentran la altitud, la cercanía del mar y el albedo que varía de acuerdo a tipo de suelo y cubierta vegetal, a escala regional se encuentran ciertas variaciones con respecto a la escala global (Garduño, 1994). Estas variaciones afectan tanto a nivel temporal, como es el caso de temperaturas invernales (Enfield and Mestas-Núñez, 1999; Pezzuli *et al.*, 2005), lo cual se refleja en el cálculo de unidades frío.

En México, como en la mayoría de los países del mundo, existe preocupación por el cambio climático y sus posibles impactos sobre el sector productivo primario. El INE (2009) establece que en el país, para el periodo 2010-2030 la temperatura media anual puede variar de 0.5 ± 0.5 °C a 1.3 ± 0.8 °C, de 2040 a 2060 de 1.3 ± 0.3 °C a 2.3 ± 1 °C y de 2070 a 2090 de 2.5 ± 0.3 °C a 3.5 ± 1.3 °C.

Las tendencias observadas a nivel regional presentan diferentes patrones aún a escala local, tal es el caso de un estudio realizado en el estado de Nuevo León, donde Herrera *et al.* (2009), detectaron incrementos en las temperaturas máximas extremas de 0.5 °C a 1.08 °C en algunas partes del estado, mientras que en otras zonas de la entidad se detectaron decrementos. De la misma manera Brito *et al.* (2009), en un estudio para localizar tendencias de temperatura máxima y mínima en Zacatecas, encontraron también patrones opuestos en diferentes partes del estado. Variaciones similares de acuerdo a la zona, se encontraron en la cuenca del Lago de Cuitzeo en Michoacán (Carlón y Mendoza, 2007).

No obstante que se han realizado diversos estudios, aún queda mucho por investigar con relación al carácter regional y estacional del cambio climático en México, sobre todo para cuantificar los tipos y niveles de modificación climática en las diferentes regiones agropecuarias del país, con sus consecuentes requerimientos de ajuste de patrones de cultivo y sistemas de producción (INE, 2009).

Magaña y Caetano (2007) utilizaron un ensamble de 10 modelos de circulación general, para generar escenarios de cambio climático en México con reducción de escala global a regional y considerando los escenarios de emisiones A1B, A2, B1 y COMMIT. La cuadrícula resultante de este proceso es de 50 km*50 km con una resolución temporal mensual.

The temperature is affected by several factors, such as altitude, the proximity of the sea and the albedo that varies with the soil type and vegetation cover; at regional level there are some variations respect to the global scale (Garduño, 1994). These variations affect at temporal level, as in the case of Winter temperatures (Enfield and Mestas-Núñez, 1999; Pezzuli *et al.*, 2005), which is reflected in the calculation of cold units.

In Mexico, as in most of the countries, there is concern about climate change and its possible impacts on the primary production sector. The INE (2009), states that in the country, for the period 2010-2030, the average annual temperature might varies from 0.5 ± 0.5 °C to 1.3 ± 0.8 °C, from 2040 to 2060 of 1.3 ± 0.3 °C to 2.3 ± 1 °C and from 2070 to 2090 of 2.5 ± 0.3 °C to 3.5 ± 1.3 °C.

The trends at regional level show different patterns, even at the local level; as in the case of a study conducted in Nuevo León State, where Herrera *et al.* (2009), found increases in extreme maximum temperatures of 0.5 °C to 1.08 °C in some parts of the State, while in other areas decreases were detected. Similarly Brito *et al.* (2009), in a study to identify trends of maximum and minimum temperature in Zacatecas, also found opposite patterns in different parts of the State. Similar variations according to the area were found in the basin of Cuitzeo Lake in Michoacán (Carlón and Mendoza, 2007).

Although, several studies have been made, it remains a lot to be investigated regarding to the regional and seasonal climate change in Mexico, especially for quantifying types and levels of climate change on different agricultural regions of the country, with its requirements of cropping adjustment patterns and production systems (INE, 2009).

Magaña and Caetano (2007), used an ensemble of 10 general circulation models in order to generate climate change scenarios in Mexico, reducing the global scale to regional scale and considering the emissions scenarios A1B, A2, B1 and COMMIT. The grid resulting from this process is 50 km*50 km with a monthly temporal resolution.

In Mexico, for the last 10 years, the average area planted with apple trees amounts to 61 764 ha (SIACON, 2010), with an output of 509 285 t. Mexico's major apple producing States are Chihuahua (40.8%), Durango (18.0%) and Coahuila (11.7%), representing 70.6% of the planted area and 84.2% of the national production. The largest acreage cultivars are Golden Delicious (60%) and Red Delicious (30%) (Parra *et al.*, 2008).

En México, la superficie promedio de los últimos 10 años plantada con manzano asciende a 61 764 ha (SIACON, 2010), con una producción de 509 285 t. Los principales estados productores de manzana de México son Chihuahua (40.8%), Durango (18.0%) y Coahuila (11.7%), lo cual representa 70.6% de la superficie plantada y 84.2% de la producción nacional. Los cultivares con mayor superficie sembrada son Golden Delicious (60%) y Red Delicious (30%) (Parra *et al.*, 2008).

El proceso de reposo en frutales de clima templado es una característica que inhibe el crecimiento, el cual sólo puede terminarse si la yema es expuesta a bajas temperaturas por determinado tiempo (Díaz-Montenegro, 1987). Lo anterior se denomina acumulación de frío invernal. La mayoría de las variedades de manzano requieren de 800 a 200 unidades frío (UF) durante el periodo invernal, Red Delicious requiere 700 a 800 UF y Golden Delicious 800 a 1 000 UF (Ashcroft *et al.*, 1977). La problemática de la acumulación de frío invernal en las regiones productoras de manzano de Chihuahua, ha sido reportada desde los inviernos de 1992 a 1999 (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2008).

Con el fin de lograr una adecuada planeación del desarrollo agrícola a corto y mediano plazo en una región, es necesario estimar en escenarios climáticos futuros, la disponibilidad de recursos agroclimáticos, entre ellos la acumulación de frío, para contar con suficiente información y poder diseñar e implementar medidas de adaptación que eviten o minimicen en lo posible los impactos negativos del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la región manzanera del estado de Chihuahua, México, que se encuentra entre los 108° 06' 36" y 106° 28' 48" de longitud oeste y 28° 00' 00" y 29° 34' 12" de latitud norte, la cual comprende los municipios de Namiquipa, Bachiniva, Cuauhtémoc, Guerrero y Cusiuhiriachi (Figura 1).

La primera parte del estudio consistió en realizar un análisis retrospectivo para determinar si realmente en la región de estudio se está registrando un cambio en la temperatura. Para ello se seleccionaron seis estaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA) con el mayor número posible de datos y ubicadas dentro de la región manzanera del estado de Chihuahua. Con los datos diarios de temperatura se

The rest process in temperate fruit trees is a feature that inhibits growth and, that it can only end if the tip is exposed to cold temperatures for a certain time (Díaz-Montenegro, 1987). This is called accumulated Winter chill. Most apple varieties require between 800 to 200 chilling units (CU) during the Winter, Red Delicious requires 700 to 800 CU and Golden Delicious 800 to 1 000 CU (Ashcroft *et al.*, 1977). The problem of the accumulation of Winter chilling on apple producing regions of Chihuahua has been reported from the Winters of 1992 to 1999 (Ramírez-Legarreta *et al.*, 2008).

In order to ensure proper planning of agricultural development in the short and medium term in a region, it is necessary to estimate in future climate scenarios, the availability of agroclimatic resources, including the chilling accumulation; aiming to provide sufficient information to design and implement adaptation measures to avoid or minimize, the negative impacts of climate change.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the apple producer region of Chihuahua, Mexico, which lies between the 108° 06' 36" and 106° 28' 48" west longitude and 28° 00' 00" and 29° 34' 12" of north latitude, which includes the municipalities of Namiquipa, Bachiniva, Cuauhtémoc, Guerrero and Cusiuhiriachi (Figure 1).



Figura 1. Ubicación de la región manzanera del estado de Chihuahua, México.

Figure 1. Location of the apple producer region of Chihuahua, Mexico.

estimaron las unidades frío (UF) de octubre a marzo para los años de la serie, para ello se utilizó el programa SICA (Medina *et al.*, 2004), el cual utiliza la metodología propuesta por Richardson *et al.* (1974).

Con los datos de UF de la serie histórica de las estaciones, se estimaron promedios móviles con periodos de 30 años, tal como lo recomienda la organización meteorológica mundial (WMO, 1983). Con los promedios móviles resultantes se estimaron modelos de regresión para determinar si la tendencia de cambio de la temperatura es significativa, esto es, si la pendiente del modelo es diferente de cero (White *et al.*, 2007).

La segunda parte del estudio consistió en la estimación de los escenarios climáticos futuros en la región de estudio, para ello se utilizó la base de datos de anomalías mensuales de temperatura media obtenidas del modelo ensamble (10 modelos globales de circulación general) para el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero A2 (IPCC, 2007), elaborado por Magaña y Caetano (2007). Se obtuvieron valores de anomalías de temperatura media mensual a nivel nacional de los años 2000 a 2099.

Las características más distintivas del escenario A2 son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

Posteriormente, se tomó como climatología actual de referencia la correspondiente al Sistema de Información Ambiental (SIA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) correspondiente al periodo 1961-2003 (Ruiz *et al.*, 2003), la cual se trabajó en formato raster, sumándole algebraicamente las anomalías futuras estimadas por Magaña y Caetano (2007). Se calcularon los valores de temperatura media mensual para los años 2011 a 2060, mediante la expresión: Temperatura media (en el año n) = temperatura (1961-2003) + anomalía de temperatura (en el año n).

Una vez que se estimaron las temperaturas medias mensuales para cada uno de los años 2011 a 2060, se obtuvieron las temperaturas medias mensuales para los cinco escenarios futuros: 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050 y

The first part of the study was to conduct a retrospective analysis for determining changes that were occurring in the temperature. Six stations of the National Water Commission (CNA) were selected, with as many data as possible and, located within the apple producing region of Chihuahua. Using daily temperature data, the chilling units (UF) were estimated from October to March for the years of the series, using the program SICA (Medina *et al.*, 2004), which uses the methodology proposed by Richardson *et al.* (1974).

Using data from the CU in the stations' time series, moving averages with periods of 30 years were estimated, as recommended by the World Meteorological Organization (WMO, 1983). With the resulting moving averages, regression models were estimated in order to determine if the trend of temperature change is significant, i. e., if the model slope is different from zero (White *et al.*, 2007).

The second part of the study consisted on the estimation of future climate scenarios in the region using the database of monthly mean temperature anomalies obtained from the assembly model (10 global models of general circulation) for the greenhouse gases emission scenario A2 (IPCC, 2007), developed by Magaña and Caetano (2007). Values of mean monthly temperature anomalies at national level from 2000 to 2099 were obtained.

The most distinctive features of the A2 scenario are self-reliance and preservation of local identities. Fertility patterns in all regions converge very slowly, which results in a continuously growing world population. The economic development is primarily regionally oriented and per capita economic growth and technological change are more fragmented and thus, they are slower than in other timelines.

Then, as the climatic current reference, the one corresponding to the Environmental Information System (SIA by its Spanish acronym) of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) for the period 1961-2003 was taken (Ruiz *et al.*, 2003), by using the raster format, and algebraically adding the estimated future anomalies by Magaña and Caetano (2007). The mean monthly temperature values for the years 2011 to 2060 were calculated, by the expression: Average temperature (in year n) = temperature (1961-2003) + temperature anomaly (in year n).

Once the monthly average temperatures was estimated for each of the years from 2011 to 2060, the monthly average temperatures for the five future scenarios: 2011-2020,

2051-2060 (Ruiz *et al.*, 2010). Para cada uno de estos cinco escenarios se estimaron las temperaturas mínimas para los meses de octubre a marzo mediante modelos de regresión del SIA e INIFAP, a partir de la temperatura media y la oscilación térmica.

Después de aplicar los modelos se contó en el SIA con imágenes de temperaturas medias y mínimas de los meses de octubre a marzo en los cinco escenarios futuros. Para contar con imágenes de UF en estos mismos meses y escenarios, se procedió a realizar lo descrito en el siguiente párrafo.

Con los promedios históricos normales (1961-2003) de los meses de octubre a marzo, de temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima, latitud, altitud y UF de 1 970 estaciones de la CNA, se desarrollaron modelos de regresión con la opción de seleccionar variables significativas (Forward) con el programa SAS (SAS, 2009) para cada uno de los meses, considerando a las UF como variable dependiente. Con los modelos obtenidos se generaron mapas de UF a partir de los mapas de temperatura del SIA e INIFAP, los modelos se aplicaron con el SIG Idrisi (Eastman, 2006).

Después que se obtuvieron los mapas de UF de la climatología actual y en los cinco escenarios futuros, se obtuvieron de esos mapas los promedios mensuales de UF en las áreas agrícolas más importantes de los cinco municipios que comprenden la región manzanera (Figura 2); dentro de esas áreas agrícolas se localizan las huertas de manzano, no significa que todas las áreas agrícolas están plantadas con éste frutal. También se clasificaron los mapas de UF en rangos cada 100 unidades y se obtuvo el número de hectáreas de cada rango en las áreas agrícolas de la región manzanera en los diferentes escenarios.

Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos, se proponen algunas medidas de adaptación a los escenarios climáticos estudiados en la región manzanera del estado de Chihuahua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis retrospectivo realizado mediante la estimación de promedios móviles de periodos de 30 años, muestra la tendencia de las unidades frías acumuladas en los meses de octubre a marzo, en cada una de las seis estaciones

2021-2030, 2031-2040, 2041-2050 and 2051-2060 were obtained (Ruiz *et al.*, 2010). For each of these five scenarios, the minimum temperatures were estimated from October to March, using SIA and INIFAP regression models, based on the mean temperature and temperature variation.

After applying the models, images of mean and minimum temperatures from October to March in the five future scenarios were obtained in the SIA. The procedure for obtaining CU images for the same months and stages is described in the following paragraph.

With the normal historical averages (1961-2003), of average temperature, minimum temperature, maximum temperature, latitude, altitude and CU of 1970 CNA stations from October to March; regression models were developed with the option of selecting significant variables (Forward) using the SAS software (SAS, 2009) for each of the months, considering CU as a dependent variable. With the obtained models, CU maps were generated from the temperature maps of the SIA and the INIFAP, the models were applied with the SIG Idrisi (Eastman, 2006).

After the CU maps were obtained from the current weather and for the five future scenarios, from these maps were obtained the CU's monthly averages of the most important agricultural areas of the five municipalities that comprise the apple producing region (Figure 2); within these agricultural areas there are located apple orchards, it does not mean that

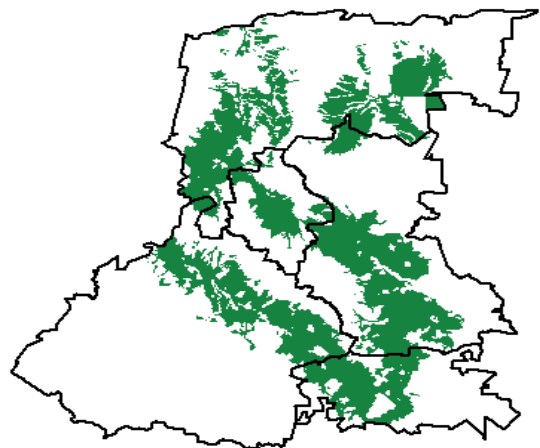


Figura 2. Áreas agrícolas más importantes de la región manzanera del estado de Chihuahua, México, dentro de las cuales se ubican las huertas de manzano.

Figure 2. Most important agricultural areas in the apple producing region of Chihuahua, Mexico, in which the apple orchards are located.

seleccionadas en la región de estudio (Figura 3). Se observa como las líneas en la gráfica tienen una tendencia a la disminución en la cantidad de frío acumulado.

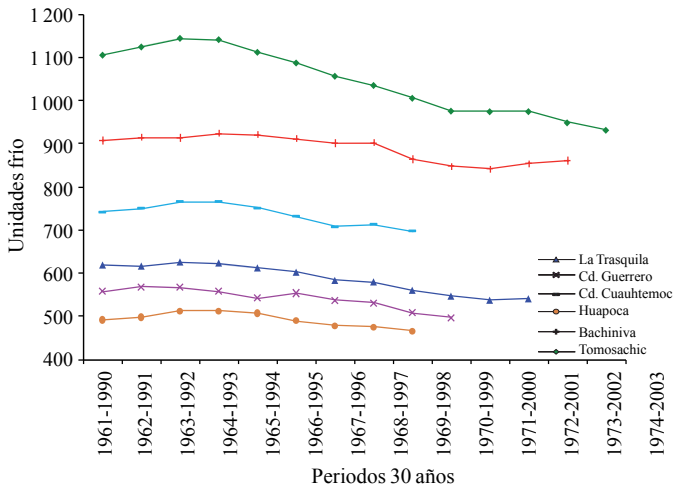


Figura 3. Tendencia de las unidades frío acumuladas de octubre a marzo en seis estaciones.

Figure 3. Trend of accumulated chilling units from October to March in six seasons.

Los modelos de regresión obtenidos con los promedios móviles de los periodos de 30 años, se presentan en el Cuadro 1. Todas las pendientes de los modelos resultaron negativas significativamente ($p \leq 0.05$), excepto en la estación Bachiniva ($p \leq 0.1$), y cumplieron el supuesto que la pendiente debe ser estadísticamente diferente de cero para tomar como válida la tendencia (White *et al.*, 2007) de la disminución de las UF en la región de estudio.

Cuadro 1. Modelos de regresión por estación, de promedios móviles de periodos de 30 años de UF acumuladas de octubre a marzo.

Table 1. Regression models per station, of moving average of 30 years periods of accumulated CU from October to March.

Estación	Intercepto	Pendiente	R ²
La Trásquila	632	-7.41667**	0.8089
Cd. Guerrero	572.17778	-6.26667**	0.7744
Cd. Cuauhtémoc	765.11111	-7.25**	0.6344
Huapoca	509.66667	-4.33333**	0.514
Bachiniva	922.95556	-4.18333*	0.4096
Tomosachic	1149.51111	-14.85**	0.7129

** = Pendiente significativamente diferente de cero ($p \leq 0.05$), ($p \leq 0.1$).

Los modelos de regresión obtenidos con los promedios históricos normales (1961-2003), para cada uno de los meses de octubre a marzo, considerando a las UF como

all agricultural areas are planted with this fruit. Also CU maps were classified into ranges each 100 units and, the number of hectares of each range were obtained in agricultural areas of the apple producer region in different scenarios.

RESULTS AND DISCUSSION

The retrospective analysis made by estimating moving average of 30 years periods, shows the trend of accumulated chilling units from October to March, in each of the six selected stations in the studied region (Figure 3). Is observed how the graph lines tend to decrease in the amount of accumulated chilling.

The regression models obtained with the moving average of 30 years periods are presented in Table 1. All models slopes were significantly negative ($p \leq 0.05$), except at Bachiniva station ($p \leq 0.1$), and met the assumption that the slope must be statistically different from zero in order to take it as valid (White *et al.*, 2007) of the CU reduction in the studied region.

The regression models obtained with normal historical averages (1961-2003), for each of the months of October to March (considering CU as dependent variable) are presented in Table 2. For each month, the variables that were selected as statistically significant independent variables (SAS, 2009) were the mean temperature and mean minimum temperature, resulting cubic models. There were also selected models with the lowest

value of the residual sum of squares. In all cases the value of R² was higher than 0.9, which means that they are acceptable predictive models.

variable dependiente, se presentan en el Cuadro 2. En todos los meses las variables que fueron seleccionadas como variables independientes estadísticamente significativas (SAS, 2009), fueron la temperatura media y la temperatura media mínima, resultando modelos cúbicos. También se seleccionaron los modelos con el menor valor de la suma de cuadrados de los residuales. En todos los casos el valor de R^2 fue superior a 0.9, lo cual significa que son modelos predictivos aceptables.

The application of regression models with current and future climate scenario was executed with the SIG Idrisi (Eastman, 2006), resulting in cumulative CU maps for the October to March period, which are shown in Figure 4. As it moves into the future, the area of the intervals with more cold decreases, as the ranges 701-800, 801-900, 901 to 1 000 and >1 000 CU, whereas the intervals area with fewer CU increases, as the ranges between 401 and 700 CU, indicating a decrease in the accumulated amount of chill in the Winter period. These results are consistent with Jindal and Mankotia (2004).

Cuadro 2. Coeficientes de las variables de los modelos de regresión para la obtención de las UF mensuales.

Table 2. Coefficients of the variables of regression models for obtaining the monthly CU.

Mes	T min.	T min. ²	T min. ³	T med.	T med. ²	T med. ³	Térm. ind.	R ²
Oct.	86.8085	-8.11302	0.18406	-187.67627	4.64308	-0.02546	1496.77101	0.9847
Nov.	57.33942	-5.34929	0.1116	-85.65257	-0.55133	0.05876	956.2151	0.9887
Dic.	51.91808	-4.37068	0.07227	-58.48647	-2.58172	0.10153	859.83351	0.9858
Ene.	50.53927	-4.1574	0.05918	-56.06567	-2.80529	0.10917	852.92882	0.9789
Feb.	44.15735	-4.00786	0.06787	-61.12499	-1.4819	0.07212	801.63935	0.9861
Mar.	49.01928	-5.33073	0.12113	-98.49449	0.88228	0.02377	996.32171	0.9878

La aplicación de los modelos de regresión con los escenarios climáticos actual y futuros, se ejecutó con el SIG Idrisi (Eastman, 2006), produciendo los mapas de UF acumuladas para el periodo de octubre a marzo que se muestran en la Figura 4. Conforme se avanza hacia el futuro en los escenarios, disminuye el área de los intervalos con mayor cantidad de frío, como son los rangos 701 a 800, 801 a 900, 901 a 1 000 y >1 000 UF, en cambio el área de los intervalos con menor cantidad de UF, como son los rangos entre 401 y 700 UF aumenta, lo cual indica que disminuye la cantidad de frío acumulado en el periodo invernal. Estos resultados coinciden con lo reportado por Jindal y Mankotia (2004).

Al mismo tiempo que se obtuvieron los mapas de los escenarios futuros para todo el periodo invernal, se estimaron los promedios mensuales de UF, pero únicamente en las áreas agrícolas más importantes de la región manzanera (Figura 2). Los resultados se presentan en el Cuadro 3, ahí se observa que en la climatología actual el promedio de UF acumuladas en el periodo invernal es de 786.9 y conforme se avanza hacia los escenarios futuros, ésta cantidad disminuye hasta ser de sólo 599.6 en el escenario 2051-2060; es decir, una disminución de 187.3 UF. Resultados similares en la disminución de la cantidad de frío han sido reportados por otros autores (Jindal y Mankotia, 2004; Yu *et al.*, 2010).

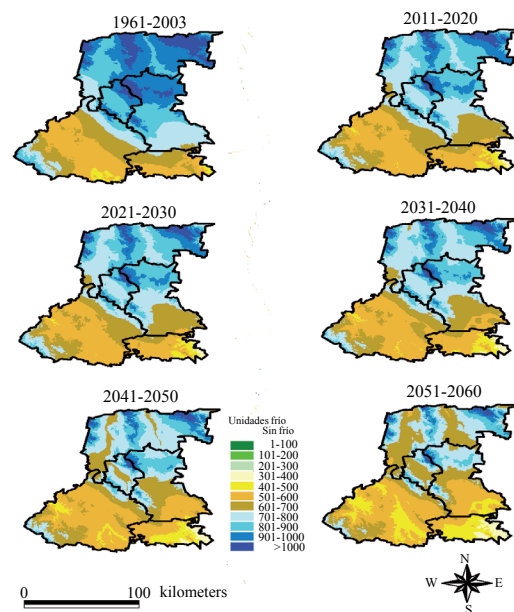


Figura 4. UF acumuladas para el periodo de octubre a marzo, para la climatología actual y para cinco escenarios futuros en la región manzanera de Chihuahua.

Figure 4. Accumulated CU for the October to March period, for the current climate and for five future scenarios in the apple producing region of Chihuahua.

While the maps of the future scenarios for the entire Winter period were obtained, the monthly averages of CU were estimated, but only in the most important agricultural

Cuadro 3. Promedio de UF mensuales en las áreas agrícolas más importantes de la región manzanera de Chihuahua, México.

Table 3. Average monthly CU's in the most important agricultural areas in the apple producing region of Chihuahua, Mexico.

Mes	1961-2003	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
Enero	213	208.6	207.6	205.8	203.7	199.2
Febrero	159.7	149.1	151.1	149.6	145.2	138.7
Marzo	114.2	89.7	89.6	81.7	73.9	63.2
Noviembre	105.9	73.6	70.9	62.1	47.5	26.6
Diciembre	194	188.4	185.8	184.4	179.2	171.9
Anual	786.9	709.3	705	683.7	649.4	599.6

En la región manzanera de Chihuahua las variedades con mayor superficie plantada son Golden Delicious (60%) y Red Delicious (30%) (Parra *et al.*, 2008), las cuales requieren 800 a 1 000 y 700 a 800 UF, respectivamente (Ashcroft *et al.*, 1977). De acuerdo con los resultados del Cuadro 3, en el periodo 1961-2003 en promedio se acumula el frío suficiente para Red Delicious, pero no para Golden Delicious; sin embargo, esto es un promedio, lo cual no significa que todos los años sean así. En los escenarios futuros, el frío acumulado en promedio en el periodo invernal, disminuirá hasta el punto en que durante el periodo 2031-2040 las UF acumuladas promedio descenderán por debajo de 700, lo cual no será suficiente para ninguna de las dos variedades.

También en el Cuadro 3 los resultados indican que los meses de marzo y noviembre, tendrán una mayor disminución en la cantidad acumulada de frío; de tal manera, que para el escenario 2051-2060 prácticamente sólo en los meses de diciembre, enero y febrero habrá acumulación de frío. El mes de octubre no se reporta debido a que resultó con cero acumulación de frío.

Por otra parte, se clasificaron los mapas de UF en rangos de 100 unidades, y se obtuvo el número de hectáreas de cada uno en las áreas agrícolas más importantes de la región de estudio, en los diferentes escenarios. En esas áreas agrícolas se localizan las huertas de manzano, no significando que todas las áreas agrícolas están plantadas con manzano (Cuadro 4).

areas in the apple producing region (Figure 2). The results are shown in Table 3, it can be observed that in the current climate, the average of accumulated CU in the Winter period is 786.9 and as it moves toward the future scenarios, this number decreases to 599.6 in the scenario 2051-2060; i. e., a decrease of 187.3 CU. Similar results in the cold amount decrease have been reported by other authors (Jindal and Mankotia, 2004; Yu *et al.*, 2010).

In the apple producing region of Chihuahua, the largest area of planted varieties are Golden Delicious (60%) and Red Delicious (30%) (Parra *et al.*, 2008), which requires from 800 to 1 000 and 700 to 800 CU, respectively (Ashcroft *et al.*, 1977). According to the results in Table 3, in the period 1961-2003 is accumulated on average, enough chilling for Red Delicious, but not for Golden Delicious; however, it is only an average and it does not mean that all years are going to show the very same behavior. In future scenarios, the average accumulated chilling during the Winter, will decrease until the point that during the period 2031-2040 the average cumulative CU will fall below 700, which is not enough for either of the two varieties.

Results in Table 3, also indicate that March and November, will have a greater decrease in the cumulative chilling amount, and for the scenario from 2051 to 2060 chilling accumulation will almost exclusively happen in December, January and February. October is not reported because there was not chilling accumulation.

Cuadro 4. Número de hectáreas en diferentes rangos de acumulación de UF de octubre a marzo, en la región manzanera de Chihuahua.

Table 4. Number of acres in different CU's accumulation ranges from October to March, in the apple producing region of Chihuahua.

UF	1961-2003	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
301 - 400	0	0	0	0	0	3
401 - 500	0	3	3	1 844	13 388	53 457
501 - 600	22 654	70 130	69 414	103 952	142 246	170 349
601 - 700	90 840	136 142	142 690	131 469	153 080	161 086
701 - 800	112 065	147 294	153 605	158 870	118 419	56 389
801 - 900	135 264	85 821	74 993	46 364	16 044	1 905
901 - 1 000	80 903	3 801	2 485	690	13	0
>1 000	1 464	0	0	0	0	0
Total	443 190	443 190	443 190	443 190	443 190	443 190

En los primeros cuatro rangos, de 301 a 700 UF, conforme se avanza en los escenarios a futuro, la cantidad de superficie aumenta; es decir, el área aumenta pero no el frío ya que son rangos con pocas UF, por lo que aumenta la superficie pero disminuye el frío. Por lo contrario la superficie de los rangos con mayor cantidad de frío, de 701 a 1 000, baja al disminuir la cantidad de frío. En otras palabras la superficie de los rangos con más frío pasa a los rangos con menos frío, que predice la disminución de frío en el futuro (Luedeling *et al.*, 2009).

Justamente los rangos donde disminuirá la superficie son los rangos donde se pudiera cultivar manzano de acuerdo a sus requerimientos que son entre 700 y 1 000 UF; sin embargo, de acuerdo con los resultados del Cuadro 4, el rango de 701 a 800 UF, donde se acumula el frío suficiente para Red Delicious, aunque disminuirá, para el escenario 2051-2060 aún habrá 56 389 ha donde se podría cultivar ésta variedad.

Dadas las evidencias de los Cuadros 3 y 4, se manifiesta la tendencia a la disminución de la cantidad de frío en el periodo invernal en la región manzanera del estado de Chihuahua; sin embargo, también se observa que las zonas con mayor cantidad de acumulación de frío, pasarán a un rango de menor acumulación, en este sentido el rango de 701-800 UF, que es el apropiado para la variedad Red Delicious, aparentemente se mantendrá con buena superficie hasta el escenario 2041-2050.

Si se desea seguir cultivando manzana en la región de estudio se debe pensar en aplicar compensadores de frío, sobre todo en la variedad Golden Delicious, ya que de no

On the other hand, CU maps were classified in ranges of 100 units and the number of hectares of each was obtained in the major agricultural areas of the studied region, in the different scenarios. In these agricultural areas, apple orchards are located, but it does not mean that all agricultural areas are planted with apple trees (Table 4).

In the first four ranks, from 301 to 700 CU, as it moves into future scenarios, the surface area increases; i. e., the area increases but not the cold as they are ranges with few CU, thereby the area increases but the chilling decreases. By contrast, the ranges surface with the most cold, from 701 to 1 000, decreases when decreasing the chilling amount. In other words, the surface of the cooler ranges becomes less chilling, which predicts the chilling decline in the future (Luedeling *et al.*, 2009).

Ranges where the surface will decrease, are the ranges where the apples trees could grow according to their requirements which are between 700 and 1 000 CU; however, according to the results in Table 4, the range of 701 to 800 CU (where the chill is enough for the Red Delicious is accumulated), even when it will decrease for the 2051-2060 scenario, 56 389 ha where this variety can be cultivated will still exist.

Given the evidence in Tables 3 and 4, the tendency of cold amount to decrease in Winter period in the apple producing region of Chihuahua State is shown; but also shows that areas with higher amount of chilling accumulation will become to a range of lower chilling accumulation, so the

hacerlo se retrasa la brotación y se afecta la fenología del cultivo (Schwartz y Hanes, 2010). Al mismo tiempo se debe pensar en cambiar a cultivares con menor requerimiento de frío como los de tipo Gala, de tal manera que se aplique la menor cantidad de compensadores de frío y evitar el incremento de los costos de producción.

También se debe identificar plenamente las áreas con mayor acumulación de frío y que reúnan otras condiciones para el establecimiento del cultivo, como el riego o bien un excelente temporal, pensando en la posibilidad de establecer las huertas en esos lugares.

CONCLUSIONES

El promedio de las UF acumuladas en el periodo invernal en las áreas agrícolas del área de estudio disminuye conforme se avanza en los escenarios futuros, pasando de 786.9 en el escenario climatológico actual a 599.6 en el escenario 2051-2060; es decir, una disminución de 187.3 UF en promedio.

Los meses de marzo y noviembre son los que tendrán una mayor disminución en la cantidad acumulada de frío, de tal manera que para el escenario 2051-2060 prácticamente sólo en los meses de diciembre, enero y febrero habrá acumulación de frío.

La superficie agrícola con menos de 700 UF aumentará conforme se avanza en los escenarios a futuro, mientras que la superficie con más de 700 UF disminuirá. Esta última superficie es donde se puede cultivar manzano de acuerdo con sus requerimientos que son entre 700 y 1 000 UF. El rango de 701 a 800 UF, donde se acumula el frío suficiente para Red Delicious, aunque disminuirá, para el escenario 2051-2060 aún habrá 56 389 ha donde se pudiera cultivar esta variedad.

Dado que la cantidad de frío invernal está disminuyendo, se hará necesario aplicar compensadores de frío, sobre todo en la variedad Golden Delicious. Al mismo tiempo se deben sustituir las actuales variedades por otras de menor requerimiento de frío. Se puede iniciar el traslado de plantaciones de manzano a las áreas con mayor acumulación de frío y con facilidades para el establecimiento de las huertas.

range of 701-800 CU, which is appropriate for the Red Delicious variety, apparently will keep an adequate surface until the scenario 2041-2050.

If apples growing is wanted in the future in the studied region, the use of chilling compensators should be considered, especially with the Golden Delicious variety and, if that action is not taken, the sprouting will be delay and crop phenology will be affected (Schwartz and Hanes, 2010). At the same time, switching to cultivars with lower chilling requirements should be considered such as those of Gala type, in order to apply the least amount of chilling compensators and avoid the increased costs of production.

The areas with more chill accumulation should also be identified; they also have to meet other conditions for crop establishment, such as irrigation or good rainfed conditions, thinking about the possibility of establishing orchards in those places.

CONCLUSIONS

The average of accumulated CU during the Winter in agricultural areas of the studied area decreases as the future scenarios move along, going from 786.9 in the current climate scenario to 599.6 on 2051-2060 scenario; i. e., a decrease of 187.3 CU on average.

March and November are the months that will have a greater decrease in chilling accumulation, so for the 2051-2060 scenarios, almost exclusively in December, January and February there will be chilling accumulation.

The agricultural area with less than 700 CU will increase as it moves forward on the scenarios; while the surface with more than 700 CU will decrease. This latter area is where the apples could grow according to their requirements that are between 700 and 1 000 CU. The range of 701 to 800 CU, where the chilling is enough for Red Delicious is accumulated, will decrease for the 2051-2060 stage but will retain 56 389 hectares, where this variety could be cultivated.

Since the amount of Winter chilling is decreasing, it will be necessary to apply chilling compensators, especially for the Golden Delicious variety. At the same time, the current varieties should be replaced by others with minor chilling

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Ecología e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; por el apoyo financiero y las facilidades brindadas en la realización de esta investigación, dentro del marco de los proyectos “PRECI 3057110AF: evaluación de la vulnerabilidad y propuesta de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático”, y “PRECI 1527703M: cambio climático y su impacto sobre el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México”.

LITERATURA CITADA

- Ashcroft, G. L.; Richardson, E. A. and Seeley, S. D. 1977. A statistical method of determining chill unit and growing degree hour requirements for deciduous fruit trees. *Hortscience*. 12(4): 347-348.
- Carlón, A. T. y Mendoza, M. E. 2007. Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la Cuenca del Lago Cuitzeo. *Investigaciones Geográficas de México. Boletín*. 63:56-76.
- Díaz-Montenegro, D. H. 1987. Requerimiento de frío de frutales caducifolios. SARH-INIFAP. México. Tema didáctico. Núm. 2. 54 p.
- Enfield, D. B. and Mestas-Núñez, A. M. 1999. Multiscale variabilities in global sea surface temperatures and their relationships with tropospheric climate patterns. *Am. Meteorol. Soc. J. Clim.* 12:2719-2733.
- Eastman, J. R. 2006. IDRISI v 15.1. IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing Vol. 1. Clark Labs-Clark University. Worcester, Mass, USA. 328 p.
- Garduño, R. 1994. El veleidoso clima. 1^{ra} Edición. Editorial Fondo de Cultura Económica. México. URL: <http://www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/html/ciencias.html>.
- Herrera, S. S.; Valdez, C. R. D.; Vidales, C. J. A.; Rodríguez, F. H.; Olivares, S. E.; Vázquez, A. R. y Pando, M. M. 2009. Mapas de tendencia y dimensión fractal de temperaturas extremas y evaporación en Nuevo León. XXX ciclo de seminarios de posgrado e investigación de la Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- requirement. The apple orchards moving can be started to areas with greater chilling accumulation and greater facilities for the orchards establishment.

End of the English version



- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2009. México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México. 119-174 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Special report on emissions scenarios. Nakicenovic N. and R. Swart (ed.). URL: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/500.htm>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: mitigation of climate change. Contribution of working group iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. (Metz, B.; Davidson, O.; Bosch, P.; Dave, R. and Meyer, L. (eds.)). Cambridge University Press. U. K. and USA. 851 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-Data Distribution Centre (IPCC-DDC). 2009. Model output described in the 2007 IPCC Fourth Assessment Report (SRES scenarios), multi-year means. URL: http://www.ipcc-data.org/ar4/gcm_data.html.
- Jindal, K. K. and Mankotia, M. S. 2004. Impact of changing climatic conditions on chilling units, physiological attributes and productivity of apple in western Himalayas. *Acta Hort.* 662:111-117.
- Jones, P. D.; Parker, D. E.; Osborn, T. J. and Briffa, K. R. 2009. Global and hemispheric temperatures anomalies land and marine instrumental records. *In: trends a compendium of data on global change. Carbon dioxide information analysis center, Oak Ridge National Laboratory, U. S. Department of Energy. USA.*
- Leroy, S. S. 1999. Optimal detection of global warming using temperature profiles: a methodology. *J. Clim.* 12:1185-1198.
- Luedeling, E.; Zhang, M and Girvetz, E. H. 2009. Climatic changes lead to declining winter chill for fruit and nut trees in California during 1950-2009. *PLoS ONE* 4(7): e1666. doi:10.1371/journal.pone.0006166.

- Magaña, V. and Caetano, E. 2007. Pronóstico climático estacional regionalizado para la república mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Informe final de proyecto de investigación. Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM-Instituto Nacional de Ecología (INE). D. F., México. 41 p.
- Medina, G. G.; Ruiz, C. J. A. y María, R. A. 2004. SICA: Sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas. Versión 2.5. Segunda edición. INIFAP-CIRNC. Campo Experimental Zacatecas, Calera de V. R, Zacatecas. Tema didáctico. Núm. 2. 74 p.
- Parra-Quezada, R. A.; Chávez-González, C.; Ramírez-Legarreta, M. R. y Jacobo-Cuéllar, J. L. 2008. Comportamiento preliminar de portainjertos y variedades de manzano en Chihuahua, México. P. 1-14. *In*: XXI Curso de actualización frutícola. Fundación Salvador Sánchez Colín. 1-3 de octubre de 2008. 190 p.
- Pezzuli, S.; Stephenson, D. B. and Hannachi, A. 2005. The variability of seasonality. *J. Clim.* 18:71-88.
- Ramírez-Legarreta, M. R.; Jacobo-Cuéllar, J. L.; Gardea-Béjar, A. A. y Parra-Quezada, R. A. 2008. Modelo de desarrollo floral en manzanos [*Malus sylvestris* (L.) Mill. var. *Domestica* (Borkh) Mansf.] Red Delicious y Golden Delicious como herramienta de toma de decisiones en el manejo integrado de enfermedades. *Rev. Mex. Fitopatol.* 26:153-163.
- Richardson, E. A.; Seeley, S. D. and Walker, D. R. 1974. A model for estimating the completions of rest for "Redhaven" and "Elberta" peach trees. *Hortscience.* 9:331-332.
- Ruiz, C. J. A.; González, A. I. J.; Regalado, R. J. R.; Anguiano, C. J.; Vizcaíno, V. I. y González, E. D. R. 2003. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el Estado de Jalisco. INIFAP-CIRPAC. Editorial Conexión Gráfica. Libro técnico. Núm. 2. 172 p.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Manríquez, O. J. D. y Ramírez, D. J. L. 2010. Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático. Informe Final de Proyecto INIFAP-INE. Guadalajara, Jalisco. 108 p.
- Salinger, M. J. 2005. Climate variability and change: past, present and future - an overview. *In*: increasing climate variability and change. Salinger, J.; Sivakumar, M. V. K. and Motha, R. P. (eds.). Springer. USA. 9-29 pp.
- Statistical Analysis System (SAS). Institute Inc. 2009. SAS Online Doc® 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) SAGARPA. 2009. D. F., México. URL: <http://www.siap.gob.mx>.
- Schwartz, M. D. and Hanes, J. M. 2010. Continental-scale phenology: warming and chilling. *Int. J. Clim.* 30:1595-1598.
- White, J. W.; Boote, K. J.; Hoogenboom, G. and Jones, P. G. 2007. Regression-based evaluation of ecophysiological models. *Agron. J.* 99:419-427.
- World Meteorological Organization (WMO). 1983. Guide to climatological practices. 2nd edition. Secretariat of the World Meteorological Organization. Switzerland.
- Yu, H.; Luedeling, E. and Xu, J. 2010. Winter and spring warming result in delayed spring phenology on the Tibetan Plateau. *PNAS.* 107:22151-22156.