

## Efecto del cambio climático en la acumulación de horas frío en la región nogalera de Hermosillo, Sonora\*

### Effect of climate change on the accumulation of cold hours in the pecan region from Hermosillo, Sonora

José Grageda Grageda<sup>1§</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2</sup>, Giovanni Emmanuel García Romero<sup>2</sup>, Jesús Humberto Núñez Moreno<sup>1</sup>, Javier Valenzuela Lagarda<sup>3</sup>, Osías Ruiz Álvarez<sup>4</sup> y Alejandro Jiménez Lagunes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Costa de Hermosillo-INIFAP. Pascual Encinas Félix No. 21. Colonia La Manga. Hermosillo, Sonora. C. P. 83220. (nunez.humberto@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. INIFAP-CIRPAC. Tepatitlán, Jalisco. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx; geog.vanni@gmail.com). <sup>3</sup>Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Sonora. (javier.valenzuela@cesaveson.com; alejandro.lagunes@cesaveson.com). <sup>4</sup>Campo Experimental Pabellón. INIFAP-CIRNOC. Pabellón, Aguascalientes. (ruiz.osias@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor de correspondencia: grageda.jose@inifap.gob.mx.

#### Resumen

El calentamiento del sistema climático es evidente, como lo muestran los aumentos del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano. Los cultivos pueden verse favorecidos por los aumentos de bióxido de carbono atmosférico, pero el incremento de la temperatura afectará el desarrollo de frutales caducifolios como el nogal pecanero (*Carya illinoensis* K. Koch), que requieren una acumulación de frío para romper el período de dormancia. Se obtuvieron para el área nogalera de la región de Hermosillo, Sonora, mapas de la climatología actual, así como escenarios futuros (2030, 2050 y 2070), para las trayectorias representativas de concentración de gases efecto invernadero (RCP) 4.5 y 8.5. Se observa un fuerte incremento de la temperatura media entre diciembre y enero (+2 °C) incluso desde el escenario del año 2030 con el RCP4.5 (estable), a la par de un decremento de las horas frío acumuladas en ese período de 100 HF, por lo que en un futuro se deberán generar cultivares de nogal de menor requerimiento de frío y/o desplazar las huertas de nogal a regiones con mayor acumulación, para poder mantener sustentable la productividad de este cultivo.

**Palabras clave:** horas frío, nogal pecanero, temperatura.

#### Abstract

Global warming is evident, as shown by the increases in global average air temperature and from the ocean. Crops can be favored by increases in atmospheric carbon dioxide, but the increase in temperature will affect the development of deciduous fruit trees such as pecan (*Carya illinoensis* K. Koch), which require an accumulation of cold to break the dormancy period. For the pecan area from Hermosillo, Sonora, current weather maps and future scenarios (2030, 2050 and 2070) for representative concentration pathways of greenhouse gases (RCP) 4.5 and 8.5 were obtained. There is a strong increase in average temperature between December and January (+2 °C) even from the scenario in 2030 with RCP 4.5 (stable), along with a decrease in cold hours accumulated during this period 100 HF, so that in the future should generate pecan cultivars with low cold requirement or to displace pecan orchards to regions with more accumulation, in order to maintain sustainable productivity of this crop.

**Keywords:** cold hours, pecan, temperature.

\* Recibido: noviembre de 2015  
Aceptado: febrero de 2016

## Introducción

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). La existencia de un requisito de frío de los brotes de las plantas de nogal para romper el reposo y crecer normalmente, fue sugerida por primera vez por Waite (1925). La falta de frío aparentemente retrasa la brotación, aumenta la caída de frutos y reduce el rendimiento cuando el nogal se cultiva en climas sin suficientes horas de frío (Van Horn, 1941; Nasr y Hassan, 1975). La falta de conocimiento para predecir la suficiencia del período de dormancia, impide el desarrollo de modelos de crecimiento de nogal que podrían ser útiles en aplicaciones tales como el manejo de plagas, propagación de plantas, y la evaluación de la adaptación climática de cultivares (Smith *et al.*, 1992).

La demanda de frío en nogal ha sido confirmada, y en un estudio se reportaron las horas que se requieren para romper la dormancia, estableciéndose 500 para los cultivares 'Desirable' y 'Mahan' y 600 para 'Stuart' (Mc-Eachern *et al.*, 1978). En otro estudio se reportan de 300 a 400 para 'Mahan', 'Success', 'Desirable', y 'Schley', y de 700 a más de 1 000 para 'Stuart' (Amling y Amling, 1980). En ambos estudios, 'Stuart' tuvo una mayor demanda de enfriamiento que los otros cultivares evaluados. Van Horn (1941) reporta que los árboles de 'Burkett' al plantarse en bajas altitudes del estado de Arizona, EE. UU., se vieron seriamente afectados por retraso de la brotación, mientras que 'Humble' brotaba normalmente durante la primavera. Las diferencias entre los dos cultivares se atribuyeron a una mayor necesidad de frío de "Burkett" que "Humble".

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. En el período de 1995 a 2006, once años figuran entre los más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). La tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en 0.74°C (entre 0.56 °C y 0.92 °C) es superior a la tendencia 1901-2000 correspondiente de 0.6 °C (entre 0.4 °C y 0.8 °C). Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más a prisa que los océanos (IPCC, 2007).

## Introduction

The process of rest in temperate fruit is a characteristic that inhibits growth, which can only be terminated if the bud is exposed to low temperatures for a certain time (Díaz-Montenegro, 1987). The existence of cold requirement from pecan outbreaks to break dormancy and grow normally was first suggested by Waite (1925). The lack of cold apparently delays sprouting, increases fruit drop and yield decreases when the pecan is grown in climates without enough cold hours (Van Horn, 1941; Nasr and Hassan, 1975). Lack of knowledge to predict the adequacy the dormancy period, prevents the development of pecan growth models that could be useful in applications such as pest management, plant propagation, and assessment of climate adaptation of cultivars (Smith *et al.*, 1992).

Demand for cold by pecan has been confirmed, and one study reported the hours required to break dormancy, establishing 500 for cultivars 'Desirable' and 'Mahan' and 600 for 'Stuart' (Mc-Eachern *et al.*, 1978). Another study reported 300 to 400 for 'Mahan', 'Success', 'Desirable' and 'Schley' and 700 to more than 1 000 for 'Stuart' (Amling and Amling, 1980). In both studies, 'Stuart' had a higher cooling demand than other cultivars evaluated. Van Horn (1941) reported that when planting 'Burkett' trees at low altitudes in Arizona, USA, these were seriously affected by delay in sprouting, while 'Humble' sprouted normally in the spring. The differences between the two cultivars were attributed to an increased need for cold of "Burkett" than "Humble".

Warming of the climate system is unequivocal, as proven by the increases in global average air temperature and from ocean, widespread melting and rising global average sea level. In the period 1995-2006, eleven years are among the warmest in the instrumental record of global surface temperature (since 1850). The linear trend to 100 years (1906-2005), estimated at 0.74 °C (between 0.56 °C to 0.92 °C) is higher than the trend 1901 to 2000 corresponding to 0.6 °C (between 0.4 and 0.8 °C). This increase in temperature is over the globe and is greater at higher northern latitudes. Land regions have warmed more quickly than the oceans (IPCC, 2007).

Globally, the 1990s and 2000s have been the warmest. Is noteworthy the period between 1910 and 1945 with an increase of global temperature of 0.14 °C and the period 1976 to 1999 with an increase in temperature of 0.17 °C (Salinger, 2005; Jones *et al.*, 2009). Studies have been

A nivel global, las décadas de 1990 y 2000 han sido las más cálidas. Es notable el periodo entre 1910 y 1945 con un incremento de temperatura global de 0.14 °C y el periodo de 1976-1999 con un incremento de la 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 (anomalías) en temperaturas (Leroy, 1999).

Debido al incremento de la temperatura que se ha dado de manera general en todas las estaciones del año, la de invierno también se ha visto afectada al disminuir la cantidad de frío o unidades frío que se acumulan durante la temporada y que son necesarias para romper el letargo invernal de los frutales caducifolios (Jindal and Mankotia, 2004; Luedeling *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010).

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. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del cambio climático del S. XXI en la acumulación de frío en la región nogalera de Hermosillo, Sonora.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se desarrolló para las condiciones agroclimáticas de la región agrícola del municipio de Hermosillo, Sonora, México. El municipio de Hermosillo está ubicado al oeste del Estado de Sonora, su cabecera municipal es la ciudad de Hermosillo localizada entre los paralelos 29° 10' y 28° 59' de latitud norte y entre los meridianos 111° 4' y 110° 55' de longitud oeste a una altura de 282 msnm. Colinda al noreste con Carbó y San Miguel de Horcasitas; al este con Ures y Mazatán; al sureste con La Colorada y Guaymas; al noroeste con Pitiquito y al suroeste con el Golfo de California (Figura 1).

conducted in different regions of the world to know the trends in temperature and determine their differences regarding the current climate, using sets of 30 years to reduce systematic errors and to allow detecting small variations (anomalies) in temperatures (Leroy, 1999).

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

In order to ensure proper planning of agricultural development in the short and medium term in a region, it is necessary to estimate future climate scenarios, the availability of agro-climatic resources, including the accumulation of cold, in order to count with enough information to design and implement adaptation measures to avoid or minimize as far as possible the negative impacts of climate change. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of climate change in the XXI century in the accumulation of cold in the pecan region of Hermosillo, Sonora.

## Materials and methods

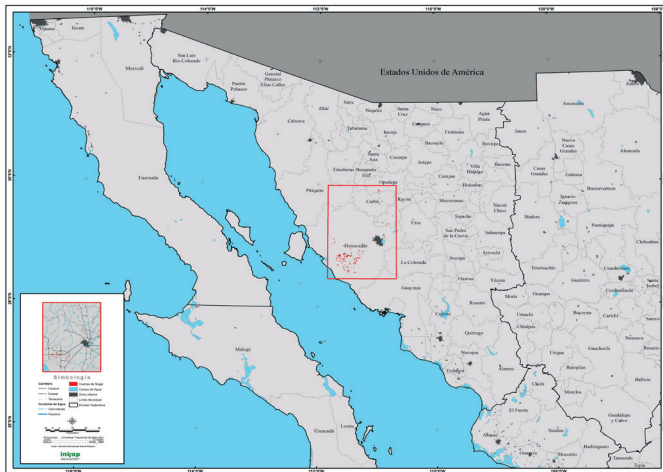
### Study area

The study was developed for the growing conditions of the agricultural region of Hermosillo, Sonora, Mexico. The city of Hermosillo is located west of the State of Sonora, Hermosillo is the capital located between parallels 29° 10' and 28° 59' north latitude and between the meridians 111° 4' and 110° 55' west longitude at an altitude of 282 masl; bordered on the northeast by Carbo and San Miguel de Horcasitas; to the east Ures and Mazatlan; southeast La Colorada and Guaymas; northwest Pitiquito and southwest with the Gulf of California (Figure 1).

### Calculation method for cold hours

Two methods accuracy regarding the estimation of cold hours in winter were evaluated:

a) Da Mota method (Diaz, 1987), which calculates the monthly accumulated cold hours as follows:



**Figura 1. Ubicación del área de estudio en el municipio de Hermosillo, Sonora.**

**Figure 1. Location of the study area in the city of Hermosillo, Sonora.**

### Métodos de cálculo de horas frío

Se evaluó la precisión de dos métodos en cuanto a la estimación de la acumulación de horas frío en la temporada de invierno:

a) Método Da Mota (Díaz, 1987), el cual calcula las horas frío acumuladas mensualmente de la siguiente manera:

$$HF = 485.1 - 28.52 X_i$$

Donde:  $X_i$  es la temperatura media de los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

b) Método Weinberger (Ortiz, 1987), el cual relaciona el número de horas frío acumuladas con el promedio de las temperaturas medias de diciembre y enero, mediante la siguiente ecuación:

$$HF = 2124.85 - 125.23 X_i$$

Donde:  $X_i$  es el promedio de las temperaturas medias de diciembre y enero ( $^{\circ}\text{C}$ ).

La evaluación de la precisión de estos métodos se realizó comparando los valores de horas frío acumulada con esta metodología contra los totales de horas frío contabilizada directamente a través de datos diezminutales provenientes de la estación agrometeorológica automatizada CECH-INIFAP de la Red Agroson ([www.agroson.org.mx](http://www.agroson.org.mx)). Los cálculos y la evaluación de los dos métodos indirectos se hicieron

$$HF = 485.1 - 28.52 X_i$$

Where:  $X_i$  is the average temperature for the months of November, December, January and February.

b) Weinberger method (Ortiz, 1987), which relates the number of cold hours accumulated with the average of mean temperatures from December and January, with the following equation:

$$HF = 2124.85 - 125.23 X_i$$

Where:  $X_i$  is the average of the mean temperatures from December and January ( $^{\circ}\text{C}$ ).

The assessment of the accuracy of these methods was made comparing the values of accumulated cold hours with this methodology against total cold hours total accounted directly through ten-minute data from automated agrometeorological station CECH-INIFAP from the Agroson Network ([www.agroson.org.mx](http://www.agroson.org.mx)). Calculations and assessment of the two indirect methods were made taking into account a series of ten winter cycles (2004-2005 to 2013-2014). The direct calculation of cold hours was performed by counting effective cold hours (HFE), using the following expression, which will be called the INIFAP method:

$$HFE = HF - HC$$

Where: HF are the hours with temperatures  $> 0$  and  $\leq 10$   $^{\circ}\text{C}$ ; while HC are the hours with temperature  $> 25$   $^{\circ}\text{C}$ .

The adjustment of indirect methods to calculate cold hours were assessed through Pearson's correlation coefficient, establishing the correlations Da Mota vs INIFAP and Weinberger vs INIFAP. The indirect method that best correlated with INIFAP method was selected.

### Climate change scenarios

Once selected the indirect method of best accuracy, it proceeded to estimate the accumulation of cold hours for climates 1961-2010 (reference), 2030, 2050 and 2070 under the representative concentration pathways of greenhouse gases (RCP) 4.5 and 8.5. For future climate scenarios the information climate change system was used (Ruiz *et al.*, 2015), derived from the assembly of 11 general circulation models: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-

tomando en cuenta una serie de diez ciclos de invierno (2004-2005 a 2013-2014). El cálculo directo de horas frío se realizó mediante la contabilización de horas frío efectivas (HFE), utilizando la siguiente expresión, a la cual denominaremos método INIFAP:

$$HFE = HF - HC$$

Donde: HF son las horas con temperaturas  $> 0$  y  $\leq 10$  °C; mientras que HC son las horas con temperatura  $> 25$  °C.

El ajuste de los métodos indirectos de cálculo de horas frío se evaluó a través del coeficiente de correlación de Pearson, estableciéndose las correlaciones Da Mota vs INIFAP y Weinberger vs INIFAP. Se seleccionó el método indirecto que mejor correlacionó con el método INIFAP.

### Escenarios de cambio climático

Una vez seleccionado el método indirecto de mejor precisión, se procedió a estimar la acumulación de horas frío para las climatologías 1961-2010 (referencia), año 2030, año 2050 y año 2070 bajo las rutas representativas de concentración de gases efecto invernadero (Rcp) 4.5 y 8.5. Para los escenarios climáticos futuros se utilizó el sistema de información de cambio climático (Ruiz *et al.*, 2015), 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. La implementación de estos cálculos se ejecutó con rutinas de álgebra de mapas mediante el sistema Idrisi Selva. Como climatología de referencia se utilizó el período 1961-2010, para lo cual se utilizó el sistema de información climática interpolado por el INIFAP originalmente a una resolución de 90 m. Toda esta información fue utilizada y manejada en imágenes raster con resolución de 30" de arco.

Se compararon las imágenes obtenidas de temperatura media diciembre-enero y horas frío acumuladas en todos los escenarios climáticos considerados. Finalmente la edición de las imágenes para convertirlas en mapas se realizó a través del sistema ArcGis, donde se consideraron procedimientos de reclasificación de imágenes en función de intervalos determinados de acuerdo con los valores mínimos y máximos de las imágenes temáticas.

ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M. The implementation of these calculations was performed with map algebra routines through Idrisi Selva system. As reference climatology the period 1961-2010 was used, for which the interpolated climate information system by the INIFAP originally at a resolution of 90 m was used. All this information was used and managed in raster images with a resolution of 30 "arc.

The images obtained from cold average temperature from December to January and accumulated cold hours in all climate scenarios considered were compared. Finally image edition to convert them into maps was made through ArcGis system, where image reclassification procedures were considered according to intervals determined in accordance with the minimum and maximum values of thematic images.

## Results and discussion

Table 1 shows total HF calculated with the two indirect methods and INIFAP method. The correlation analysis showed that Weinberger correlates better with the direct method (INIFAP) as its correlation coefficient was 0.87, while the analysis between INIFAP and Da Mota gave a correlation coefficient of 0.77; either way both were statistically significant ( $p \leq 0.05$ ).

### Cuadro 1. Valores de horas frío acumuladas en 10 temporadas de invierno en la región de Hermosillo, Sonora, de acuerdo con tres metodologías.

**Table 1. Values of cold hours accumulated in 10 winter seasons in the region from Hermosillo, Sonora, according to three methodologies.**

Ciclo	Métodos de cálculo		
	Da Mota	Weinberger	INIFAP
2004- 2005	143	221	453
2005- 2006	73	296	431
2006- 2007	218	522	634
2007- 2008	97	459	617
2008- 2009	69	246	392
2009- 2010	120	346	470
2010- 2011	229	309	560
2011- 2012	210	397	528
2012- 2013	193	409	614
2013- 2014	-24	234	346
Media	133	344	505



## Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se pueden ver los totales de HF calculadas con los dos métodos indirectos y el método INIFAP. Los análisis de correlación mostraron que Weinberger correlaciona mejor con el método directo (INIFAP) ya que su coeficiente de correlación fue de 0.87, en tanto el análisis entre INIFAP y Da Mota arrojó un coeficiente de correlación de 0.77. De cualquier forma ambas resultaron con significancia estadística ( $p \leq 0.05$ ).

De acuerdo con estos resultados, la estimación de acumulación de horas frío en las climatologías estudiadas se realizó haciendo uso de la ecuación de Weinberger.

### Evolución de la temperatura media en el período diciembre-enero

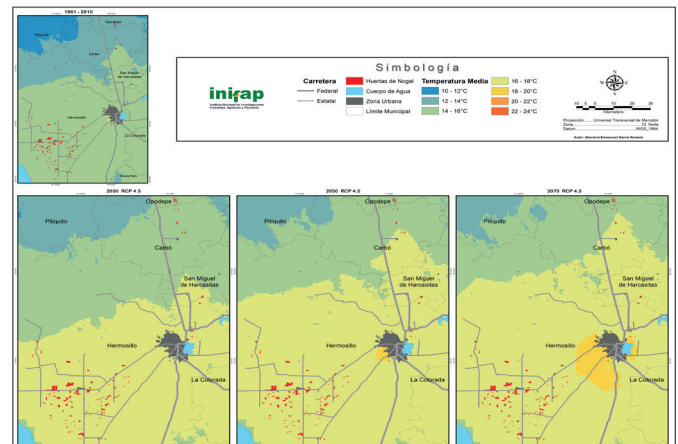
En la Figura 2 se observa la dinámica de la temperatura media con el Rcp 4.5, en el cual se observa que actualmente se tiene un promedio que oscila entre 14 y 16 °C, pero inmediatamente en el escenario 2030 la temperatura se incrementa a 16-18 °C (+2 °C) en casi toda el área agrícola de la Costa de Hermosillo, quedando solo pequeños remanentes en la parte extrema del norte (calle 36 norte), pero conforme se avanza hacia el futuro en los escenarios, ya no se registra ningún área de la región de Hermosillo, en un rango térmico inferior a 16-18 °C, lo cual denota un incremento sustancial de la temperatura, que definitivamente afectará la acumulación de frío invernal para los frutales caducifolios como el nogal. Lo anterior afectará incluso a municipios adyacentes como San Miguel de Horcasitas y Pitiquito, que pudieran ser áreas alternativas de crecimiento de plantaciones de nogal en el futuro.

Por otra parte, en la Figura 3 se muestran los escenarios obtenidos para el Rcp 8.5, donde se observa que ya desde el escenario 2030 se incrementará la temperatura al rango 18-20 °C (+4 °C), e incluso en el escenario 2050 ya una buena parte de la región nogalera de Hermosillo, especialmente la parte oriente del área agrícola tendrá una temperatura media en el rango de 20-22 °C, pero para el climatología 2070, ya se observará que el total de la región nogalera presentaría medias de temperatura del rango 20-22 °C e incluso algunas áreas del poniente de la ciudad llegarán al rango de 22-24 °C (+8 °C).

According to these results, the estimation of cold hours accumulation in climatology studied was performed using Weinberger's equation.

### Evolution of average temperature in the period from December to January

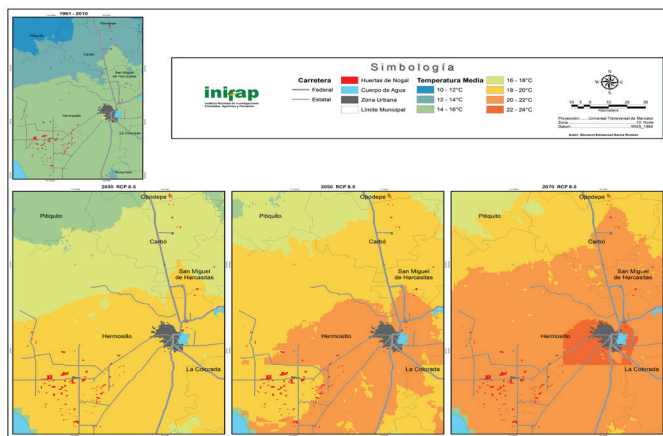
Figure 2 shows the dynamics of the average temperature with Rcp 4.5, note that currently there is an average between 14 and 16 °C, but immediately in the scenario from 2030 the temperature leaving only small remnants in the end portion of the north (36th Street North), but as scenarios move forward, no longer records an area in Hermosillo region, in a thermal range below 16-18 °C, showing a substantial increase in temperature, which will definitely affect the accumulation of winter cold for deciduous fruit trees such as pecan. The latter will affect adjacent municipalities such as San Miguel de Horcasitas and Pitiquito that could be alternative areas to grow pecan in the future.



**Figura 2. Mapa de los escenarios para la temperatura media actual y futura a 2030, 2050 y 2070 en el Rcp 4.5 para la región nogalera de Hermosillo, Sonora.**

**Figure 2. Scenarios maps for current and future average temperature 2030, 2050 and 2070 in the Rcp 4.5 for the pecan region in Hermosillo, Sonora.**

Moreover, Figure 3 shows the scenarios obtained for Rcp 8.5, which shows that since scenario 2030 the temperature will increase to the range 18-20 °C (+4 °C) and even on scenario 2050 much of the pecan region from Hermosillo, especially the eastern part of the agricultural area will have an average temperature in the range of 20-22 °C, but for climatología 2070, will be seen that all the pecan region will have a mean temperature range of 20-22 °C and even some areas of the west of the city will reach the range of 22-24 °C (+8 °C).



**Figura 3. Mapa de los escenarios para la temperatura media actual y futura a 2030, 2050 y 2070 en el Rcp 8.5 para la región nogalera de Hermosillo, Sonora.**

**Figure 3. Scenarios maps for current and future average temperature 2030, 2050 and 2070 in the Rcp 8.5 for the pecan region in Hermosillo, Sonora.**

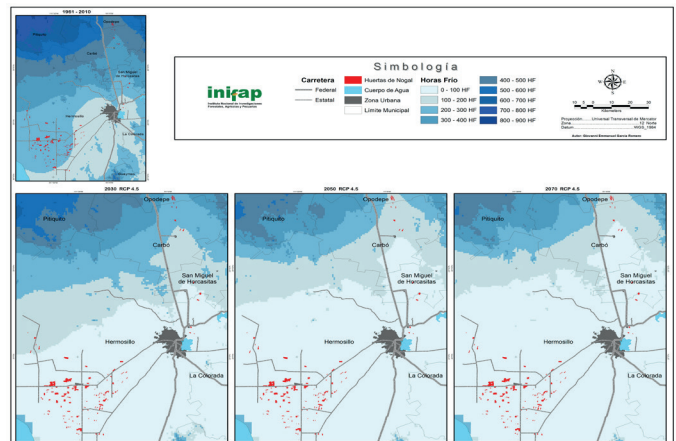
**Evolución de las horas frío en el período diciembre-enero**

En la Figura 4 se observa la dinámica de las horas frío para el Rcp 4.5. Para la climatología actual (1961-2010) se observa que la acumulación oscila en el rango de 200-300 horas frío (HF), para la mayor parte de la región nogalera de Hermosillo, Sonora, y otra parte (sección oriente) en el rango de 100-200 HF, que llena un mínimo del requerimiento de los cultivares de uso actual (Western y Wichita) y que conlleva el uso de promotores de la brotación en plantas de nogal, pero en el escenario siguiente (2030) se reduce drásticamente la acumulación de frío a 0-100 HF en la mayor parte de la región, quedando un pequeño remanente de 100-200 HF en el extremo norte de la Costa de Hermosillo, lo cual no cubre los requerimientos de esos cultivares, ya que como lo señalan Smith *et al.* (1992), algunos cultivares similares a los anteriores como Mahan requieren entre 300 y 400 HF. Incluso regiones que actualmente se consideran como áreas alternativas para futuros crecimientos de plantaciones de nogal, como San Miguel de Horcasitas y Carbó, presentarán una baja capacidad de acumulación de frío en 2050 y 2070, ya que sólo se estima acumularían entre 0 y 100 HF en la temporada de invierno. De acuerdo con estos resultados se podría considerar que el uso de los cultivares actuales de nogal ya no sería viable en el futuro.

En lo que se refiere al Rcp 8.5, la acumulación de HF en los escenarios 2030 en adelante (Figura 5) sería en el rango de 0-100 HF, lo cual es muy poco para las variedades de uso actual. Este sería el peor escenario climático para la región,

**Evolution of cold hours in the period from December to January**

Figure 4, shows the dynamics of cold hours for Rcp 4.5 hours. Current climatology (1961-2010) shows that the accumulation oscillates in the range of 200-300 cold hours (HF), for most of the pecan region in Hermosillo, Sonora, and elsewhere (Eastern Section) in the 1 range 100-200 HF, which fills a minimum requirement of cultivars currently used (Western and Wichita) which involves the use of sprouting promoters in pecan plants, but in the next scenario (2030) cold accumulation drastically decreases to 0-100 HF in most of the region, leaving a small remnant of 100-200 HF in the north end of the Costa de Hermosillo, which does not cover the requirements of these cultivars, because as mentioned by Smith *et al.* (1992), some similar cultivars to the latter like Mahan require between 300 and 400 HF. Even regions that are currently considered as alternative areas for future establishment of pecan plantations, like San Miguel de Horcasitas and Carbo, will present a low capacity for cold accumulation in 2050 and 2070, as it is estimated an accumulation between 0 and 100 HF in the winter season. According to these results it could be consider that the use of current pecan cultivars would no longer be viable in the future.



**Figura 4. Mapa de los escenarios de horas frío actual y futura a 2030, 2050 y 2070 en el RCP 4.5 para la región nogalera de Hermosillo, Sonora.**

**Figure 4. Scenarios maps for current and future cold hours in 2030, 2050 and 2070 in RCP 4.5 for the pecan region of Hermosillo, Sonora.**

As for Rcp 8.5, HF accumulation on scenario 2030 onwards (Figure 5) would be in the range of 0-100 HF, which is too low for varieties of current use. This would be the worst climate scenario for the region, as it would be virtually eliminating pecan and overall deciduous fruit from the regional pattern of cultures, from 2030.

ya que prácticamente estaría eliminando al nogal y en general a los frutales caducifolios del patrón de cultivos regional, incluso a partir del año 2030.

## Conclusiones

Debido a que los escenarios futuros estudiados, prevén una pobre acumulación en la cantidad de frío invernal en la mayor parte de la superficie, es muy probable que incluso la aplicación de promotores de brotación sea insuficiente para un adecuado rendimiento, en las variedades Western y Wichita que son de bajo requerimiento de frío (300-400 HFE).

Por lo anterior, si se quiere mantener a la región de estudio como zona productora de nogal, deben irse proyectando medidas de adaptación a mediano plazo que contemplen entre otros aspectos, la obtención de cultivares de muy bajo requerimiento de frío.

En forma alternativa, se debe analizar la posibilidad de mudar las plantaciones de la región Costera de Hermosillo, hacia áreas con mayor acumulación de frío (zona serrana), pero que cuenten con facilidades para el establecimiento de las huertas y sobre todo con disponibilidad de agua.

## Agradecimientos

Este artículo es producto del Proyecto INIFAP 1228033017: Cambio climático y su impacto sobre el rendimiento, producción y viabilidad del cultivo de maíz en las áreas agrícolas de México.

## Literatura citada

Amling, H. J. and Amling, K. A. 1980. Onset, intensity, and dissipation of rest in several pecan cultivars. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:536-540.

Díaz, M. D. H. 1987. Requerimiento de frío en frutales caducifolios. SARH-INIFAP. México, D. F., Tema didáctico Núm. 2. 21 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. P.2. Ginebra, Suiza. 2 p.

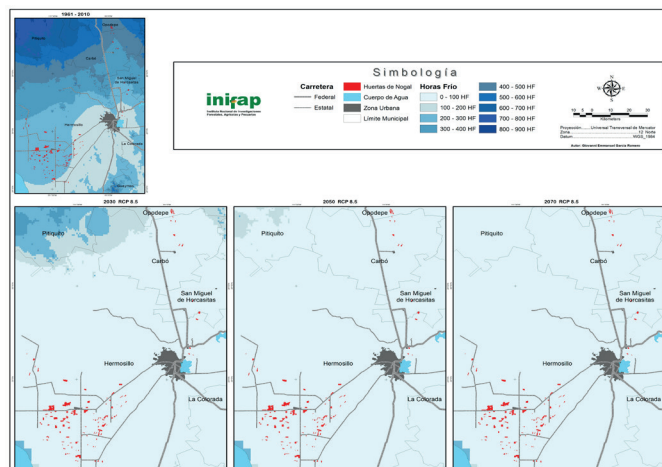


Figura 5. Mapa de los escenarios para las horas frío actual y futura a 2030, 2050 y 2070 en el RCP 8.5 para la región nogalera de Hermosillo, Sonora.

Figure 5. Scenarios maps for current and future cold hours in 2030, 2050 and 2070 in RCP 8.5 for the pecan region of Hermosillo, Sonora.

## Conclusions

Due to future scenarios studied, foresee a poor accumulation in the amount of winter cold in most of the surface, it is likely that even the application of sprouting promoters will be insufficient for a proper yield, in Western and Wichita varieties which are of low cold requirement (300-400 HFE).

Therefore, if the study area wants to remain as pecan producing area, should project adaptation measures to medium term which contemplate among other things, obtaining cultivars of very low cold requirement.

Alternatively, should explore the possibility of moving the plantations from the coastal region of Hermosillo, to areas with greater accumulation of cold (mountain zone), with facilities to establish orchards and especially with water availability.

*End of the English version*



IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Cambio climático. Base de ciencia física. Documento mimeografiado. WGI Technical Support Unit c/o University of Bern. Zähringerstrasse, 25 3012 Bern, Suiza. 2 p.



- 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.
- 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. <http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/jonescru/jones.html>.
- Leroy, S. S. 1999. Optimal detection of global warming using temperature profiles: a methodology. *J. Clim.* 12:1185-1198.
- McEachern, G. R.; Wolstenholme, B. N. and Storey, J. B. 1978. Chilling requirements of three pecan cultivars. *HortScience* 13:694.
- Nasr, T. A. and Hassan, E. M. 1975. The rest period of pecan in Egypt. *Scientia Hort.* 3:367-372.
- Ortiz, S. C. A. 1987. Elementos de Agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. Libro. 3ª. edición. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 83-84 pp.
- Osorio, A. G.; Díaz, M. D. y Siller, C. J. 1997. Regulación de la brotación en vid bajo condiciones del desierto de Sonora. INIFAP-CIRNO-CECH. Hermosillo, Sonora. Folleto técnico Núm. 14. 72 p.
- Ruiz, C. J. R.; Medina, G. G.; Grageda, G. J.; Silva, S. M. M. y Díaz, P. G. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Sonora. INIFAP-CIRNO. Hermosillo, Sonora. Diciembre de 2005. Libro técnico Núm. 1. 171 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.
- Smith, M. W.; Carroll, B. L. and Cheary B. S. 1992. Chilling requirement of pecan. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(5):745-748.
- Van Horn, C. W. 1941. Delayed foliation of pecan trees in Arizona. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 39:87-94.
- Waite, M. D. 1925. Factors influencing the setting of nuts and fruits. *Proc. Natl. Pecan Growers' Assn.* 24:122-144.