

## **Variación y cambio climático en la vertiente del Golfo de México. Impactos en la cafecultura\***

### **Change and climate change in the slope of the Gulf of Mexico. Impacts on coffee production**

**Rebeca Granados Ramírez<sup>1§</sup>, Ma. de la Paz Medina Barrios<sup>2</sup> y Vicente Peña Manjarrez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México- Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía. Cd. Universitaria. C. P. 04510, Coyoacán, México, D. F. Tel. 01 (55) 56224335. Ext. 45477. Fax 01 (55) 56162145. (rebeca@igg.unam.mx). <sup>2</sup>UNAM- Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. Cd. Universitaria. Coyoacán, México, D. F. (pazmedba@hotmail.com). <sup>3</sup>Perito Ambiental en ECO Environmental Consulting. Tel. 01 (722) 2788797. (vpenam62@hotmail.com). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: rebeca@igg.unam.mx.

#### **Resumen**

Las evidencias que confirman las repercusiones negativas que provocan las variaciones del clima sobre la producción agrícola, son cada vez más recurrentes. Para explicar, desde una perspectiva ambiental, la reducción en las superficies cosechadas, asociada a los cambios fisiológicos, además de la mayor incidencia de plagas y enfermedades en las plantaciones de cafetos; se han formulado diversas hipótesis, las cuales se enfocan principalmente en: retrasos y adelantos del período húmedo; en prolongados períodos de lluvias torrenciales o de sequía; o bien, en las alteraciones en la insolación efectiva. Dichos cambios, que en forma particular afectan a la cafecultura nacional, son motivo de preocupación, debido a que ponen en riesgo los mercados y, por ende, a la economía local, regional e internacional. Con base en lo anterior, en este trabajo se identifican y analizan los efectos del cambio climático sobre la producción cafetalera, en la vertiente del Golfo de México, en el estado de Veracruz; se extrajeron las anomalías en las variables temperatura y precipitación de los modelos de circulación general conocidos como Hadley, Echam y GFDL; mismos que fueron analizados mediante los climogramas de Thornthwaite. Los resultados obtenidos permiten constatar que existirán cambios; los

#### **Abstract**

Evidence confirming the negative effects that cause climate variability on agricultural production are increasingly recurrent. To explain, from an environmental perspective, the reduction in harvested areas, associated with physiological changes in addition to the increased incidence of pests and diseases in coffee plantations, several hypotheses have been formulated, which focus primarily on: delays and advances of the wet period, in prolonged periods of drought or torrential rains, or in changes in the effective stroke. Such changes, in particular affecting national coffee production, are of concern, because they threaten markets and hence the local, regional and international economy. Based on the above, this paper identifies and analyzes the impacts of climate change on coffee production, on the slope of the Gulf of Mexico, in the state of Veracruz were extracted anomalies in temperature and precipitation variables models general circulation known as Hadley, Echam and GFDL; same were analyzed using the Thornthwaite climate graphs. The results obtained confirm that there will be changes, climates according to Thornthwaite semiwarm migrate to warm in 2080, because the models staged +4.6 °C increase and precipitation decrease -5.5%; fluctuations will impact on the phenological development, presence of pests and diseases and therefore in production.

\* Recibido: junio de 2013  
Aceptado: febrero de 2014

climas según Thornthwaite migraran de semicálidos a cálidos en 2080, debido a que los modelos escenificaron aumento de +4.6 °C y disminución de precipitación de -5.5%; fluctuaciones que tendrán repercusiones en el desarrollo fenológico, presencia de enfermedades y plagas y, por ende en la producción.

**Palabras clave:** cambios fisiológicos, climogramas, producción cafetalera, rendimientos.

## Introducción

Son diversas las evidencias, de que algunos fenómenos meteorológicos, son cada vez más extremos y dañan la producción agrícola, pecuaria y forestal. Como explicación de las constantes reducciones en las superficies cosechadas, producción y rendimientos en los últimos años, se han formulado varias hipótesis, donde se involucra principalmente las variaciones en los elementos del clima, tales como: retrasos y/o adelantos del período húmedo, períodos de prolongada sequía, lluvias torrenciales, presencia de heladas y ondas de calor excepcionales, entre otros.

Las variaciones climáticas han existido siempre, en diversas regiones de la tierra; actualmente dichos cambios causan preocupación ya que sus efectos, se traducen en pérdidas de cultivos y su respectivo impacto en el mercado local, regional, nacional e internacional (Kumar y Parikh, 2006).

Los productores de café en Centroamérica y México, en su gran mayoría son pequeños agricultores con menos de 5 ha de tierra en producción, este sector productivo se ha visto sacudido en los últimos años por eventos climáticos extremos, que han evidenciado una alta vulnerabilidad del sector, entre otros, en México en 1997 el huracán Paulina causó pérdidas de 8% en la producción cafetera mexicana; Colombia bajó su producción de 11.1 a 7.9 millones de sacos en el 2009 debido a un aumento de lluvia de 40% por el fenómeno de La Niña (Castellanos, 2011).

El comportamiento del clima incide de modo directo sobre el medio natural y prácticamente en todas las parcelas cultivadas por el hombre. De tal manera, que hoy en día los estudios sobre clima no sólo lo consideran como parte del sistema natural, sino también como parte de un sistema

**Keywords:** physiological changes, climate graphs, coffee production yields.

## Introduction

Are various evidences that some weather events are becoming extreme and damaging agricultural, livestock and forestry. As an explanation of the constant reductions in harvested areas, production and yields in recent years, there have been several hypotheses, which mainly involve variations in weather elements, such as delays and / or progress of the wet period, period's prolonged drought, floods, frosts and exceptional heat waves, among others.

Climatic variations have always existed, in various regions of the earth, now these changes are of concern because their effects, resulting in loss of crops and their respective impact on the local, regional, national and international markets (Kumar and Parikh, 2006).

Coffee producers in Central America and Mexico, the vast majority are small farmers with less than 5 ha of land in production, the productive sector has been shaken in recent years by extreme weather events, which have shown a high vulnerability of the sector, among others in Mexico in 1997 Hurricane Pauline caused losses of 8% in coffee production Mexican; Colombia lowered its production of 11.1 to 7.9 million bags in 2009 due to increased rain 40% by the phenomenon of the Girl (Castellanos, 2011).

The impacts of climate behavior directly on the natural environment and almost all plots cultivated by man. Thus, today climate studies not only consider it as part of the natural system, but also as part of a system that includes economic and social (Sánchez *et al.*, 2011).

Coffee is the most important in international trade, where price fluctuations in the past decade, had a substantial effect on production, today the weather also contributes to these alterations (Pérez and Echánove, 2006) agricultural product.

Specifically, Latin America has a high vulnerability to extreme; they will sharpen weather events to climate change. The Framework Convention on Climate Change United Nations, 1992 (UNFCCC) defines it as a change attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in

que incluye lo económico y lo social (Sánchez *et al.*, 2011). El café es el producto agrícola más relevante en el comercio internacional, donde las fluctuaciones de precios en la década pasada, tuvieron un efecto sustancial en la producción, hoy el clima también contribuye a dichas alteraciones (Pérez y Echánove, 2006).

Concretamente, América Latina posee una elevada vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, mismos que se agudizarán ante el cambio climático. La Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, 1992 (UNFCCC) lo define como un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima. Los escenarios son una descripción coherente, de un posible estado futuro del mundo; no es un pronóstico ya que cada escenario es una alternativa de cómo se puede comportar el clima.

Investigaciones realizadas por Gay *et al.* (2006); Palma *et al.* (2008) sugieren que el calentamiento global y los efectos relacionados con los eventos extremos en el clima traerán consigo cambios en el comportamiento de los fenómenos atmosféricos e impactos en las actividades productivas, igualmente podrían traer grandes consecuencias en la producción de café.

De tal manera, se tiene como hipótesis que la producción de café se verá afectada negativamente por el cambio climático; se presentarán aumentos considerables en la precipitación y temperatura; los cuales no serán tolerados por el café, ya que sobrepasan los requerimientos agroclimáticos permisibles.

## Materiales y métodos

### Producción de café en la Vertiente del Golfo

La introducción del café en la Región de Córdoba, Veracruz, data del año 1808, hoy en día su cultivo se ha extendido a toda la república. En 2011, la superficie sembrada ocupó 760.974.05 hectáreas; los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla concentran 88% de la producción, 84% del área sembrada y 83% de los productores nacionales (SIAP. 2013) (Figura 1).

addition to natural climate variability. The scenarios are consistent description of a possible future state of the world is not a forecast because each scenario is an alternative of how to behave climate.

Research by Gay *et al.* (2006), Palma *et al.* (2008) suggested that global warming and the effects related to extreme weather events will bring about changes in the behavior of atmospheric phenomena and impacts on production activities could also bring great consequences coffee production.

Thus, it is hypothesized that coffee production will be negatively affected by climate change; significant increases were present in precipitation and temperature, which will not be tolerated by the coffee because it exceeded the permissible agro-climatic requirements.

## Materials and methods

### Coffee production in the Gulf Slope

The introduction of coffee in the region of Córdoba, Veracruz, dating from 1808, today its cultivation has spread throughout the republic. In 2011, the sown area occupied 760 974 05 hectares states of Chiapas, Veracruz, Oaxaca and Puebla concentrating 88% of production, 84% of the planted area and 83% of domestic producers (SIAP. 2013) (Figure 1).

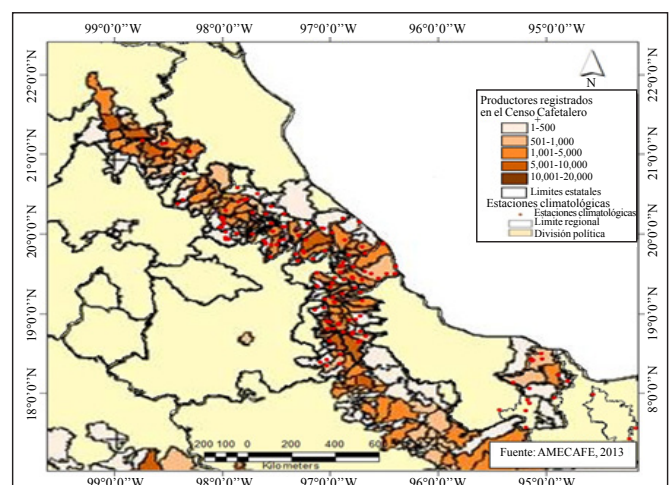


Figura 1. Zonas productoras de café y estaciones climáticas en la Vertiente del Golfo de México, México.

Figure 1. Coffee growing areas and seasons in the Gulf of Mexico slope, Mexico.

La Vertiente del Golfo está conformada por diversos municipios, que poseen actividades agrícolas ampliamente representadas, siendo el café el producto que presenta una importante extensión. En 2011 el DDR "Coatepec"; ocupó 36 166 ha. con significativa producción y valor de la producción: 69 041 toneladas y 451 283 miles de pesos respectivamente (SIAP, 2013).

A partir de información bibliográfica se integraron los requerimientos agroclimáticos del café, igualmente se actualizaron y ordenaron las bases termo-pluviométricas normales (escenario base) correspondientes al periodo histórico (1960-2010) información climática proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2012).

Se obtuvieron las anomalías de temperaturas y precipitación de los escenarios futuros con los modelo de circulación general (MCG): Hadley elaborado en el Hadley Centre, Inglaterra, Echam desarrollado en el Instituto de Max Planck, Alemania y GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory; mediante consultas en la Web: canadian institute for climate studies (CICS, 2009); de todos ellos en forma mensual, y bajo escenarios con énfasis regional: A2 horizonte 2050 y 2080 que según Nakicenovic *et al.* (2000) consideran incrementos en (Gases de Efecto Invernadero) GEI de 850 partes por millón (ppm), resultado de escasas o nulas políticas ambientales.

Para ambos horizontes fueron calculados el índice de efectividad de la precipitación e índice de eficiencia de la temperatura y ordenados para su análisis por medio de climogramas de Thornthwaite, los cuales caracterizan los tipos de climas y esquematizan las condiciones del balance de agua; representan la síntesis gráfica del clima y facilitan su comparación (Elias y Castellvi, 2001).

Los climogramas de Thornthwaite son una herramienta de análisis que permite cuantificar y observar los cambios mensuales y sus tendencias hacia condiciones más cálidas o húmedas; junto con los climas escenificados son variables a considera dentro de la planeación agrícola.

### Variación climática en la Vertiente del Golfo

Las primeras anotaciones del clima en las plantaciones de café, mostraban que no existían estaciones secas y no se especificaba de eventos extremos. En la actualidad las condiciones pluviométricas han presentado cambios, Barradas *et al.* (2011) realizaron análisis de los datos de precipitación pluvial y niebla en diversas estaciones

The slope of the Gulf consists of several municipalities, which have largely agricultural activities represented, with coffee product having a major expansion. In 2011 the DDR "Coatepec", occupied 36 166 ha with significant production and value of production: 69 041 tonnes and 451 283 thousand, respectively (SIAP, 2013).

From bibliographic information agroclimatic requirements were integrated coffee, also were updated and ordered corresponding to the historical period thermo-normal rainfall foundation (base scenario) (1960-2010) climate information provided by the (SMN, 2012) National Weather Service.

Temperature anomalies and precipitation of future scenarios with general circulation model (GCM) were obtained: Hadley developed at the Hadley Centre, England, Echam developed at Max Planck Institute, Germany and GFDL Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, through consultation Web: canadian institute for climate studies (CICS, 2009), all of them monthly, and emphasis on regional scenarios: A2 2050 and 2080 according Nakicenovic *et al.* (2000) consider increases (Greenhouse Gas) GHG 850 parts per million (ppm), resulting from low or zero environmental policies.

For both horizons were calculated index effectiveness of precipitation and efficiency index temperature and sorted for analysis by climograms Thornthwaite, which characterize the types of climates and schematized conditions water balance; represent the synthesis climate and facilitate graphical comparison (Elias and Castellvi, 2001).

The Thornthwaite climate graphs are an analysis tool to quantify and observe monthly changes and trends toward warmer or humid conditions, along with staged climates are variables to be considered in agricultural planning.

### Climate change in the gulf slope

The first notes of climate on coffee plantations showed that there were no dry seasons and not specified extreme events. At present rainfall conditions have been changes, Barradas *et al.* (2011) conducted data analysis of rainfall and fog in various weather stations, located in the coffee producing area, records showed decreased precipitation in the winter and about fog conclude that is often located at lower levels. Furthermore, the stations located in the regions around

climáticas, localizadas en la zona productora de café, los registros mostraron disminución de precipitación en la época invernal y respecto a la niebla concluyen que frecuentemente es localizada a niveles más bajos. Por otro lado, las estaciones ubicadas en las regiones aledañas a las plantaciones cafetaleras tienden al aumento de las temperaturas máximas y mínimas y a una disminución de la precipitación (Juárez *et al.*, 2005).

### Escenarios de cambio climático

La evaluación de los efectos que tendría el clima global, se lleva a cabo mediante los Modelos de Circulación General (MCG); los escenarios se construyen a partir de los registros de emisión reportados por el "reporte especial de escenarios de emisiones" (SRES); las emisiones de gases de efecto invernadero dependerán del desarrollo socioeconómico. Se reconocen dos grandes familias de escenarios: los A que describen un mundo futuro con alto crecimiento económico mientras que los B el crecimiento es más moderado. En cuanto al carácter del crecimiento económico se tiene: con tendencia a la globalización (escenario 1) o si el desarrollo será más a nivel regional (escenario 2). En conjunto se tienen las combinaciones: A1, A2, B1 y B2.

El Programa Veracruzano ante el Cambio Climático (PVCC, 2013) contiene proyecciones para las décadas 2020, 2050 y 2080, a partir de los Modelos de Circulación General Hadley, Echam y GFDL y del regional Precip se consideraron los escenarios socioeconómicos A2 y B2 (Gobierno del estado de Veracruz, 2009). Específicamente para el centro de Veracruz, Palma *et al.* (2008) analizaron los escenarios futuros con los modelos CCC y GFDL-R30, donde las temperaturas medias anuales pronosticadas por ambos modelos mostraron, que debido a la duplicación del dióxido de carbono, el aumento será mayor o igual a 2 °C en las temperaturas medias anuales; en cuanto a precipitación el modelo CCC proyecta disminución y el GFDLR30 incrementos anuales.

Es un hecho contundente que la Tierra se está calentando; situación que causa gran preocupación, por los impactos en los procesos bióticos que puede afectar el potencial productivo, al modificarse las condiciones de clima favorables para el desarrollo de un cultivo. Gay *et al.* (2006); Villers *et al.* (2009) Universidad de Veracruz, (2009) han extraído escenarios con diversas modelos, para analizar la situación del cultivo de café; mediante gráficas ombrotérmicas y un modelo econométrico, mismos que sugieren aumentos en la temperatura y alteraciones en la precipitación; con sus consecuentes impactos en la producción.

the coffee plantations tend to increase the maximum and minimum temperatures and decreased precipitation (Juárez *et al.*, 2005).

### Climate change scenarios

The evaluation of the effects it would have on global climate, is carried out by General Circulation Models (GCMs), scenarios are built from logs emission reported by the "special report on emissions scenarios" (SRES), emissions of greenhouse gases will depend on the socio-economic development. In describing the future world with high economic growth while B is growth that is more moderate: two major families of scenarios are recognized. As for the nature of economic growth has: with globalization trend (scenario 1) or whether the development will be at the regional level (scenario 2). Combinations are taken together: A1, A2, B1 and B2.

The Veracruz Program on Climate Change (PVCC, 2013) contains projections for the decades 2020, 2050 and 2080, from General Circulation Models Hadley, and GFDL Echam Precip and regional socio-economic scenarios A2 and B2 were considered (Government the state of Veracruz, 2009). Specifically for the central Veracruz, Palma *et al.* (2008) analyzed future scenarios with CCC and GFDL-R30 models, where average annual temperatures predicted by both models showed that due to the doubling of carbon dioxide, increased be greater or equal to 2 °C in the annual mean temperatures about the CCC model precipitation decrease and GFDLR30 projected annual increases.

It is a striking fact that the Earth is warming, a situation that causes great concern for the impacts on biotic processes that can affect the productive potential, the modified conditions favorable climate for the development of a crop. Gay *et al.* (2006). Villers *et al.* (2009) University of Veracruz, (2009) have derived models with different scenarios to analyze the situation of coffee cultivation, using graphical ombrothermics and an econometric model, they suggest that increases in temperature and changes in precipitation, with consequent impacts on production.

### Thermopluviometric favorable conditions for coffee

The temperature and rainfall distribution plays an important role in growth, flowering and ripening of coffee. All cultures have natural climatic limits beyond which do not grow

## Condiciones Termopluviométricas favorables para el café

La temperatura y la distribución de la lluvia juegan un papel importante en el crecimiento, floración y la maduración del café. Todos los cultivos tienen límites naturales climáticos fuera de los cuales no crecen eficientemente. La temperatura umbral inferior es aquella que señala la temperatura vital mínima, por debajo de la cual se detiene el crecimiento o desarrollo y por encima los procesos son incrementados o incentivados se sugiere para el café 8 °C, ya que el desarrollo de la planta se ve seriamente afectado y su rendimiento disminuye a temperaturas medias diarias inferiores a este valor.

La mejor temperatura media anual para que el café se desarrolle y produzca bien se encuentra entre 16° y 22 °C, con poca oscilación térmica; la fructificación requiere de temperaturas de 26 °C durante el día y 20 °C en la noche. La maduración exige temperaturas de 22 °C en el día y 17 °C en la noche. Según Hernández (1989) el fruto del café madura más lentamente cuando la temperatura es más baja. Temperaturas medias inferiores a 14° C así como superiores a 30°C causan daños permanentes, perjudicando notablemente la cosecha. De acuerdo con Díaz *et al.* (2001) la temperatura y las condiciones de temporal son los dos elementos del clima que interactuando condicionan la adaptación y producción de los cultivos. Bajo este criterio es posible determinar la aptitud del cultivo del café en la región centro de Veracruz (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Requerimientos agroclimáticos del café.**  
**Table 1. Agro-climatic requirements for coffee.**

Variable	Alto	Potencial Medio	Bajo
Altitud	1 200-1 700 m	1 000-1 200 y 1 700-2 800 m	<1 000 y >2 800 m
Temperatura	14-28 °C	10-14 y 28-34 °C	<10 >34 °C
Precipitación	1 400-2 300 mm	750-1 400 y 2 300-4 200 mm	<750 y > 4 200 mm
PH	5.5-7	4.3-5.5 y 7-8.4	<4.3 y >8.4

Fuente: Díaz *et al.*, 2001.

efficiently. The lower threshold temperature is one that denotes the minimum critical temperature, below which the growth or development stops and above processes are increased or incentive suggested coffee 8 °C, since the development of the plant seriously affected and its performance decreases average temperatures below this value daily.

The best annual average temperature for the coffee develops and produces well is between 16° and 22 °C, with little temperature variation; fruiting requires temperatures of 26 °C during the day and 20 °C at night. Maturation requires temperatures of 22 °C, at day and 17 °C at night. According to Hernández (1989) the fruit of the coffee plant matures more slowly when the temperature is lower. Temperatures below 14 °C and above 30 °C cause permanent damage average, significantly damaging the crop. According to Díaz *et al.* (2001) the temperatures and rainfall conditions are the two interacting elements that determine climate adaptation and crop production. Under this criterion is possible to determine the suitability of coffee cultivation in the central region of Veracruz (Table 1).

## Results

The state of Veracruz by latitude lies within the tropics and is under the influence of tropical and extratropical systems and the north-south orientation of the mountain, makes this

## Resultados

El estado de Veracruz por latitud se ubica dentro de la región tropical y se encuentra bajo la influencia de sistemas tropicales y extratropicales y por la orientación norte-sur de los sistemas montañosos, hace que este se exponga a la penetración de las masas de aire húmedo provenientes del Golfo de México. Durante el verano existe influencia de las masas de aire tropical, las ondas del este, las depresiones, tormentas tropicales y huracanes; en el invierno se encuentra bajo el dominio de masas de aire polar procedentes del norte del continente.

### Climograma de Thornthwaite

La climatología de Thornthwaite, caracteriza los tipos de climas y permite entender mejor la compleja interacción entre factores físicos y biológicos (cultivos). Thornthwaite empleo cifras directas de temperatura y precipitación para definir las fronteras entre tipos de clima, además consideró necesario emplear variables más complejas, que permitieran resumir la acción recíproca entre la vegetación y la atmósfera; por medio de estudios de correlación, obtuvo el índice de efectividad de la precipitación (I) y el índice de la eficiencia de la temperatura (I') con las siguientes formulas:

$$i = 1.64 \frac{p}{t + 12.2} 10/9$$

$$i' = \frac{9t}{20}$$

Donde: i = Índice mensual de efectividad de la precipitación  
 i' = Índice mensual de la eficiencia de la temperatura  
 p = Precipitación mensual en mm  
 t = Temperatura media mensual

Los índices obtenidos y ajustados para nuestro país marcan las fronteras entre los diferentes tipos de clima. Se toma en cuenta la humedad, su distribución, la temperatura y la variación de ésta a través del año Cuadro 2 y 3.

**Cuadro 2. Categorías climatológicas en relación con la humedad.**  
**Table 2. Weather categories relating to moisture.**

Valor del índice I	Carácter del clima	Vegetación característica	Símbolo
128 o mayor	Muy húmedo	Selva	A
64 a 127	Húmedo	Bosque	B
32 a 63	Semi-seco	Pastizal	C
16 a 31	seco	Estepa	D
Menos de 16	Muy seco	Desierto	E

is exposed to the penetration of humid air masses from the Gulf of Mexico. During the summer there is influence of tropical air masses, easterly waves, depressions, tropical storms and hurricanes in the winter is under the domain of polar air masses from the north of the continent.

### Thornthwaite climograma

The weather Thornthwaite, characterizes the types of climates and can better understand the complex interaction between physical and biological factors (crops). Thornthwaite use direct figures of temperature and precipitation to define the boundaries between types of weather, plus I found it necessary to use more complex variables that allow summarizing the interaction between vegetation and the atmosphere through correlation studies, won the effectiveness index precipitation of (I) and the rate of temperature efficiency (I') with the following formulas:

$$i = 1.64 \frac{p}{t + 12.2} 10/9$$

$$i' = \frac{9t}{20}$$

Where: i= monthly index of effectiveness of precipitation  
 i'= monthly index temperature efficiency  
 p= monthly precipitation in mm  
 t= mean monthly temperature

The indices obtained and adjusted for our country mark the boundaries between different types of weather. Taking into account moisture distribution, the temperature and the variation thereof throughout the year Table 2 and 3.

In the Thornthwaite climograma when weather elements vary, graphics differ, cold climates are located on the left, the right warm, wet and dry top down, with great horizontal extent is a sign of continental and a large vertical extension indicates great seasonal variation in water conditions (Campos, 2005).

**Cuadro 3. Categorías climatológicas en relación con la temperatura.**  
**Table 3. Weather categories in relation to temperature.**

Valor del índice I'	Carácter del clima	Símbolo
128 ó mayor	Cálido	A'
101 a 127	Semi-cálido	B'1
80 a 100	Templado	B'2
64 a 79	Semi-frío	B'3
32 a 63	Frío	C'
16 a 31	De taiga	D'
1 a 15	De tundra	E'
0	Polar	F'

Fuente: Villalpando, 1985.

En el climograma de Thornthwaite, cuando los elementos del clima varían, los gráficos difieren, los climas fríos se ubican a la izquierda, los cálidos a la derecha, los húmedos arriba y los secos abajo; con gran extensión horizontal es un signo de continentalidad y una gran extensión vertical indica gran variación estacional en las condiciones hídricas (Campos, 2005).

La clasificación del clima del estado actual y escenarios de los modelos Hadley y GFDL horizonte 2050 de las estaciones Jalcomulco y Las Vigas estaciones ubicadas en la vertiente del Golfo se resumen en el (Cuadro 4).

The climate classification of the current state and scenarios 2050 Hadley and GFDL models of Jalcomulco and Las Vigas, stations in the Gulf slope are summarized in (Table 4).

Monthly data obtained by different models showed significant changes from normal weather conditions. All scenarios and temperature increases indicate changes in precipitation. In normal weather was Jalcomulco classified as C (r) A '(b) warm semi-dry, with mild winter, the GFDL model staged contrasting conditions leading to a climate

**Cuadro 4. Variables climáticas normales y con cambio climático.**  
**Table 4. Normal weather and climate variables.**

Estación ubicación	Modelo		Anual	Clima	
Jalcomulco 19° 20' LN 96° 45' LW 325 msnm.	Normal	Temperatura (°C)	24.3	C(r)A'(b')	
		Precipitación (mn)	1 115.9		
	Hadley	Temperatura (°C)	26.5		C(r)A'(a')
		Precipitación (mn)	924		
	GFDL	Temperatura (°C)	28.3		B(r)A'(c')
		Precipitación (mn)	1 442.7		
Las Vigas 18° 46' LN 96° 13' Long W 35 mmsm.	Normal	Temperatura (°C)	11.7	B(r)C(a')	
		Precipitación (mn)	1 036		
	Hadley	Temperatura (°C)	14		C(i)B'3(a')
		Precipitación (mn)	788.4		
	GFDL	Temperatura (°C)	15.8		B(r)B'2(a')
		Precipitación (mn)	1 385.8		

Los datos mensuales obtenidos por los diferentes modelos presentaron importantes cambios con respecto a las condiciones climáticas normales. En todos los escenarios se indican aumentos de temperatura y cambios en la precipitación. En Jalcomulco el clima normal fue clasificado como C(r)A'(b') semiseco cálido, con invierno benigno; el modelo GFDL escenificó condiciones contrastantes dando

B (r) A (c') moist, not dry, warm and very extremes station; in this model increased +4 °C is expected, from an average annual temperature of 24.3 to 28.3 °C.

In Beams current climate of a B (r) C (a') with no dry season and wet cold expected in 2050 according to the Hadley model semi-dry conditions, winter is characterized completely



lugar a un clima B(r)A(c') húmedo, sin estación seca, cálido y muy extremo; en este modelo se espera aumento de +4 °C, al pasar de temperatura media anual de 24.3 a 28.3 °C.

En Las Vigas de un clima actual B(r)C(a') húmedo sin estación seca y frío; se espera para 2050 según el modelo Hadley condiciones semi-secas, el invierno se caracterizará totalmente seco, semi-frío C(i)B'3(a'), debido a que la temperatura aumentará en 4.1 °C y la precipitación se reducirá en 247.6 mm.

Particularmente Bella Esperanza y Teocelo (19° 26' latitud norte -96° 52' latitud norte y 19° 23' longitud oeste -96° 58' longitud oeste, respectivamente) en el municipio de Coatepec y Teocelo son estaciones localizadas en la zona cafetalera. La estación Teocelo según la clasificación climática de Thornthwaite presenta clima B(r)B'1'(a') con temperatura media anual de 19.8 °C y precipitación de 2 094.6 mm.

La temperatura y precipitación mensual escenificados presentaron cambios. Para 2050 modelo Hadley, escenario A2 la temperatura aumentará en 2.6 °C, de marzo hasta octubre serán superiores a 22 °C. Respecto a la precipitación esta disminuye en los primeros meses del año, para presentar un aumento en los meses calientes (superiores a 300 mm) de junio a septiembre (Figura 2). En el climograma se observa el desplazamiento de los elementos climáticos hacia la derecha, no siendo suficiente el aumento para clasificarse como totalmente cálido.

dry, semi-cold C (i) B'3 (a'), because the temperature increase by 4.1 °C and precipitation is reduced by 247.6 mm.

Particularly Bella Esperanza and Teocelo (19 °26 'north latitude - 96 ° 52' latitude north and 19 ° 23' west longitude - 96 ° 58' west longitude, respectively) in the town of Coatepec and Teocelo are stations located in the coffee zone. The Teocelo station according to the Thornthwaite climate classification presents climate B (r) B1 '(a') with a mean annual temperature of 19.8 °C and precipitation 094.6 mm 2.

The monthly temperature and precipitation changes staged presented. 2050 Hadley model, scenario A2 temperature increase by 2.6 °C from March to October will be above 22 °C. Regarding the precipitation decreases in the first months of the year to show an increase in the warm months (over 300 mm) from June to September (Figure 2). In climograma displacement from the elements to the right shows, the increase is not sufficient to qualify as fully warm.

The same station A2 horizon model 2080 Hadley reported increased +4.6 °C and decreasing precipitation -5.5% from 2094 a 1983 mm of rain, which resulted climograma will migrate from the wet semicalid B (r) B'1 (a') to hot humid climates B (r) A (a'). The reduction of the precipitation will be in the hot season (August) also known as intraestival drought (Figure 3) phenomenon.

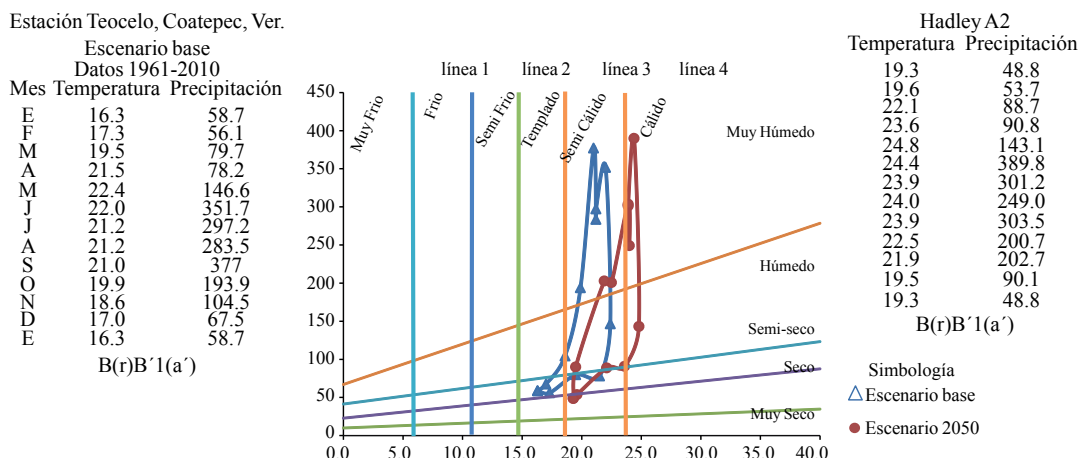


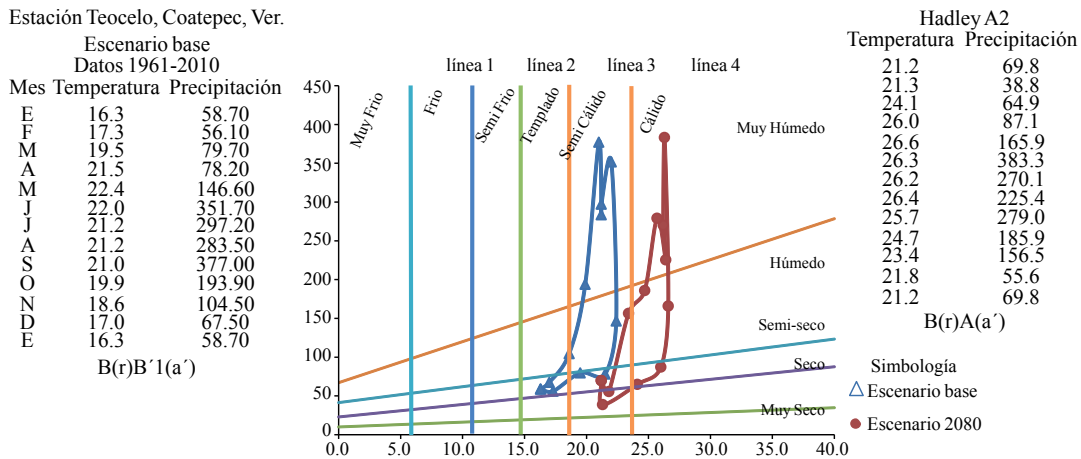
Figura 2. Climograma de thornthwaite, para la estación Teocelo, Coatepec, Veracruz. Escenario base y Hadley 2050. Figure 2. Climograma thornthwaite, for Teocelo season, Coatepec, Veracruz. Baseline scenario and Hadley 2050.

Esta misma estación con el modelo Hadley A2 horizonte 2080 reportó aumento de +4.6 °C y disminución de precipitación de -5.5% pasando de 2 094 a 1 983 mm de

The behavior of the temperature and precipitation in the Bella Esperanza station before the A2 scenario ECHAM model has light to moderate changes in 2050 and 2080 respectively. In

lluvia; lo que dio lugar a que el climograma migrara de los húmedos semicálidos B(r)B'1(a') a climas húmedos cálidos B(r)A(a'). La reducción de la precipitación será en la temporada caliente (agosto) fenómeno conocido también como sequía intraestival (Figura 3).

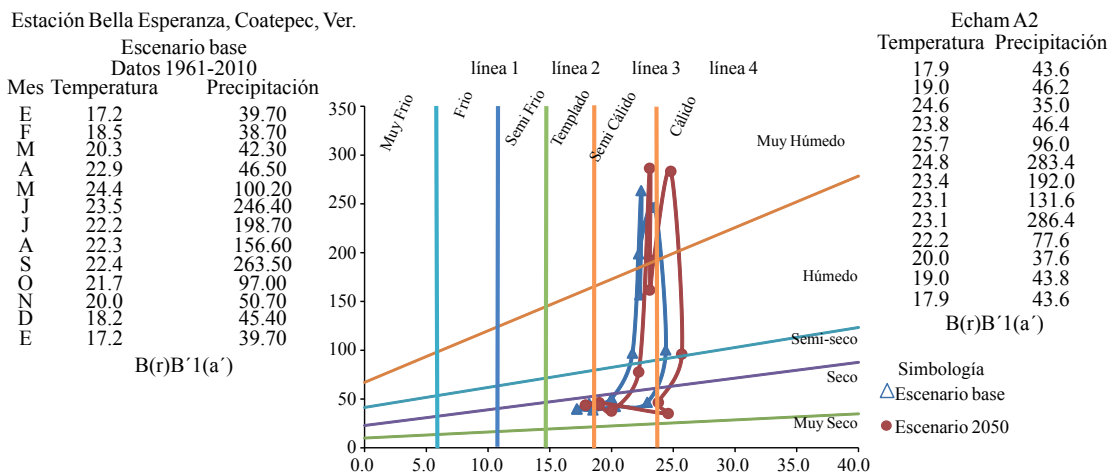
the 50's the increase staged temperature relative to the normal will be +1.1 °C, and as for the precipitation will be +5% as well as the classification of Thornthwaite there will be significant changes will remain semi hot humid climate without winter temperature changes well defined B(r)B'1(a'). (Figure 4).



**Figura 3. Climograma de thornthwaite, para la estación Teocelo, Coatepec, Veracruz. Escenario base y Hadley 2080.**  
**Figure 3. Climograma thornthwaite, for Teocelo season, Coatepec, Veracruz. Hadley 2080 base scenario.**

El comportamiento de la temperatura y precipitación en la estación Bella Esperanza ante el escenario A2 modelo ECHAM posee cambios ligeros y moderados para 2050 y 2080 respectivamente. En los 50's el aumento escenificado de temperatura con respecto a las normales será de +1.1 °C; en cuanto a la precipitación será de +5%, así según la clasificación de Thornthwaite no habrá cambios significativos permanecerá como clima húmedos semicálido sin cambios térmicos invernales bien definidos B(r)B'1(a'). (Figura 4).

Bella Hope reported in 2080 on the model Hadley A2 temperature increase of +3.6 °C, which resulted in the climograph migrate to warmer climates and as for the precipitation increase is +15%. Thus we have climates B(r)B'1(a') semi-warm humid climate without winter temperature changes well defined. 2080 is staged as B(r)A'(a') humid, warm, well-defined winter without heat exchange, it was classified as warm when going from 21.1 to 24.7 °C (Figure 5).



**Figura 4. Climograma de thornthwaite, para la estación Bella Esperanza, Coatepec, Veracruz. Escenario base y Hadley 2050.**  
**Figure 4. Climograma thornthwaite, for Bella Esperanza Station, Coatepec, Veracruz. Baseline scenario and Hadley 2050.**

Bella Esperanza en 2080 reportó según el modelo Hadley A2 aumento de temperatura de +3.6 °C, lo que dio lugar a que el climograma migrara hacia los climas cálidos y en cuanto a precipitación el aumento será de +15%. Así tenemos que de climas B(r)B'1(a') clima húmedo semicálido sin cambios térmicos invernales bien definidos. Se escenifica para 2080 como B(r)A'(a') clima húmedo, cálido, sin cambio térmico invernales bien definidos; se clasificó como cálido al pasar de 21.1 a 24.7 °C (Figura 5).

Los cambios fenológicos en los cultivos están determinados por las condiciones imperantes de temperatura y precipitación. Los rangos climáticos de potencial alto del café son temperaturas 14-28 °C y precipitación 1 400-2 300 mm; las temperaturas y precipitaciones mayores o menores a las señaladas, dan lugar a cambios en la capacidad bioquímica, en biomasa y en la tasa de pérdida de tejido; en términos generales a una regular y deficiente producción de café.

Phenological crop changes are determined by the conditions of temperature and precipitation. The climate ranges high potential of coffee temperatures are 14-28 °C and 1 400-2 300 mm rainfall, temperatures and increased rainfall or less than those noted above, result in changes in biochemical capacity, biomass and rate tissue loss, generally a fair and poor coffee production.

The current weather conditions and Bella Esperanza Teocelo are favorable for the production of coffee. But climate change models analyzed showed that there will be changes that will produce decreased production and quality.

Temperature increases cause physiological disorders that impact on growth and fruiting (in the Hadley scenario projected 2080 increase was 4.6 and 3.6 °C in Teocelo stations and Bella Esperanza), the temperature rises increase perspiration causing dehydration of the tissues, the foliage will wither, and if this value is too long, the fruit turns black and falls.

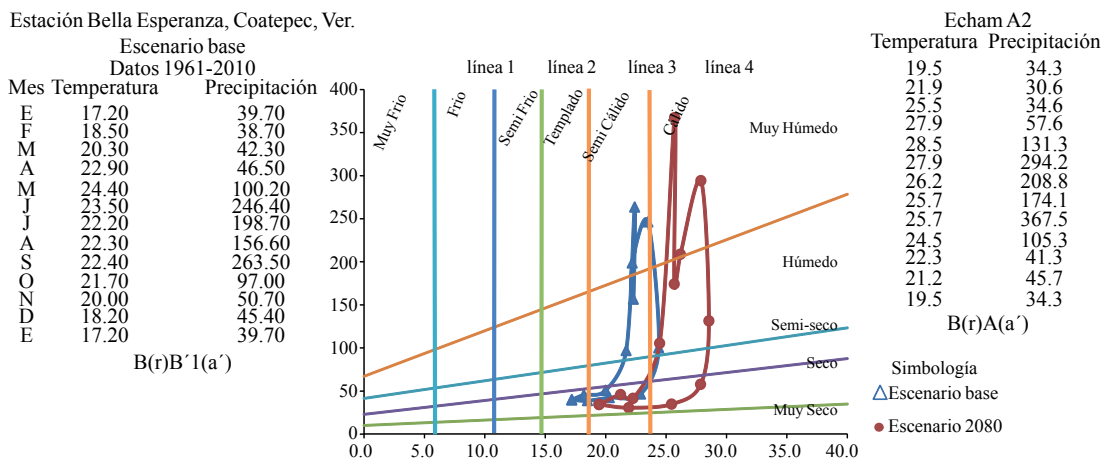


Figura 5. Climograma de thornthwaite, para la estación Bella Esperanza Coatepec, Veracruz. Escenario base y Hadley 2080. Figure 5. Thornthwaite climograma to Bella Esperanza Station Coatepec, Veracruz. Stage base and hadley 2080.

Las condiciones climáticas actuales de Teocelo y Bella Esperanza son favorables para la producción de café. Sin embargo los modelos de cambio climático analizados mostraron que existirán alteraciones, que producirán disminución en la producción y calidad.

Los aumentos de temperatura ocasionan trastornos fisiológicos que repercutirán en el crecimiento y la fructificación, (en el escenario Hadley 2080 el aumento proyectado fue de 4.6 y 3.6 °C en las estaciones de Teocelo y Bella Esperanza); los ascensos de temperatura aumentan

## Conclusions

The most sensitive to changes in agro climatic elements are those temporary conditions and changes in temperature and precipitation can affect the productive potential of the modified crop species favorable conditions for their development climate. The increase in temperature of 1 °C can be considered small, however, in terms of biological processes leading to changes in seasonal cycles (duration of the growth period and the beginning of the growth

la transpiración, lo que ocasiona la deshidratación de los tejidos, el follaje se marchitará, y si este valor se prolonga demasiado, se ennegrece el fruto y cae.

## Conclusiones

Los agrosistemas más sensibles a la variación de los elementos del clima son aquellos en condiciones de temporal, así los cambios en la temperatura y precipitación, puede afectar el potencial productivo de las especies cultivadas al modificarse las condiciones del clima favorables para su desarrollo. El aumento en temperatura de 1 °C puede considerarse reducido, sin embargo, en términos de procesos biológicos da lugar a cambios en los ciclos estacionales (duración del periodo de crecimiento e inicio del periodo de crecimiento) y de la vida (etapas fenológicas) que incluyen retención o caída prematura de las hojas, cambios en las fechas de floración y maduración o cosecha, mismos que tienen incidencia en la calidad, peso y volumen del café.

El análisis realizado mediante climogramas de Thornthwaite evidenció que las condiciones climáticas base son diferentes a los tipos climáticos escenificados a 2050 y 2080. Ahora bien, si estas variaciones se tornan permanentes, como lo proyectan en general los modelos de cambio climático aplicados en la región cafetalera, mismos que sugieren que existirán anomalías en la temperatura y precipitación; se presentaran alteraciones en las superficies aptas para la cafecultura.

El cambio climático más probable y extremo, según el análisis realizado con los climogramas de Thornthwaite es el ascenso de la temperatura del aire de 4.6 °C en cuanto a la precipitación pluvial la alteración es menor, en algunos casos se escenifica una disminución del -5.5%; estos cambios afectarán ciertos periodos de vida de las plantas cultivadas y aparición de plagas, situación que repercutirá en la productividad de la región cafetalera de la Vertiente del Golfo.

Las condiciones húmedas escenificadas propiciarán la aparición de plagas, hongos y enfermedades, para lo cual se deben promover campañas de control y el manejo del cultivo mediante el combate de maleza para evitar la propagación e infestación masiva.

period) and life (phenological stages) to include retention or premature leaf drop, changes in flowering dates and maturity or harvest themselves that impact the quality, weight and volume of coffee.

The analysis by Thornthwaite climate graphs showed that climatic conditions are different from basic climate types 2050 and 2080 staged. Now if these changes become permanent, as generally projected climate change models applied in the coffee, same region suggest that there will be anomalies in temperature and precipitation changes are present in the areas suitable for coffee cultivation.

The most likely and extreme climate change, according to the analysis of the Thornthwaite climate graphs is the rise in air temperature 4.6 °C about the alteration rainfall is lower, in some cases a decrease of -5.5 is staged %, these changes will affect certain lifetimes of the cultivated plants and pest outbreaks, a situation that will affect the productivity of the coffee region of the Gulf slope.

Wet conditions staged propitiate the emergence of pests, fungi and disease, for which campaigns should promote control and crop management by fighting to prevent weed spread and massive infestation.

Due to increases in temperature in the shed staged Gulf should choose coffee varieties that require less water and are tolerant to temperature increases.

The excess rainfall in some months, giving rise to abnormal development of flowers and fruit appearance of pests, diseases and mechanical damage to the latter shade coffee trees whose function as a protection, among others is promoted.

Alternatively adaptation the Veracruz state government promotes the introduction of tree layer and give way to shade coffee, it offers a large range of environmental services including: water harvesting, soil conservation, carbon sequestration and the conservation and protection of various biological groups such as plants (trees, epiphytes, etc.), birds, insects and amphibians, mainly.

*End of the English version*



Debido a los incrementos de la temperatura escenificados en la Vertiente del Golfo, se deben elegir variedades de café que demanden menos agua y sean tolerantes a los aumentos de temperatura.

Los excedentes de precipitación, en algunos meses, dan lugar al anómalo desarrollo de las flores y frutos, aparición de plagas, enfermedades y daños mecánicos, para este último se promueve el café de sombra cuyos árboles funcionan como una protección, entre otros.

Como alternativa de adaptación el gobierno del estado de Veracruz promueve la introducción del estrato arbóreo y dar paso al café de sombra, mismo que ofrece una gama importante de servicios ambientales como son: la captura de agua, la conservación del suelo, la captura de carbono, así como la conservación y protección de diversos grupos biológicos como son plantas (árboles, epífitas, etc.), aves, insectos y anfibios, principalmente.

## Literatura citada

- Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A. C. (AMECAFE) 2013. Padrón Nacional Cafetalero. <http://atlascafetalero.mx/>. (consultado mayo, 2013).
- Barradas, V.; Cervantes, J.; Ramos, P.; Puchet, C. y Granados, R. 2011. Meso-scale climate change in central mountain region of Veracruz State, México *In*: tropical montane cloud forests: science for conservation and management.
- Bruijnzeel, L. A.; Scatena, F. N. and Hamilton, L.S. (Eds.). Cambridge University Press. 549-556 pp.
- Campos, D. 2005. Agroclimatología cuantitativa de cultivos. (Ed.). Trillas, México. 320 p.
- Canadian Institute for Climate Studies 2009. (CICS) <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/> (consultado septiembre, 2009).
- Castellanos, E. 2011. Estrategias efectivas de adaptación y reducción de riesgos por fluctuaciones de precios, plagas y cambios climáticos. Lecciones de la crisis del café en Mesoamérica. Guatemala. 20:10-39.
- Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. (UNFCCC) 1992. Naciones Unidas. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>. (consultado mayo, 2013). 3 p.
- Díaz, G.; Cortina, M. y Rodríguez, L. 2001. Potencial agroproductivo de cada hectárea de la superficie territorial del estado de Veracruz. INIFAP, México.
- Elías, F.; Castelli, F. y Bosch, A. 2001. Clasificaciones climáticas. Agrometeorología. Mundi-Prensa. Madrid. España. 517 p.
- Gay, C.; Estrada, F.; Conde, C.; Eakin, H. and Villers, L. 2006. Potencial impacts of climate change on agricultura: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change* 79:259-288.
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2009. Programa veracruzano ante el cambio climático. Tejeda, A. (coord.). 230 p.
- Hernández, Ma. E. 1989. Influencia de la temperatura en las etapas fonológicas del café. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. México.* 20:53-69).
- Juárez, S.; Jiménez, R.; Velasco, Ma. De L.; Luna, A.; Ochoa, C.; Jiménez, A. y Jiménez, L. 2005. Análisis estadístico histórico de variabilidad climática. *In*: estudio para un programa veracruzano ante el cambio climático. Universidad Veracruzana. Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. 37-66 pp.
- Kumar, K. and Parikh, J. 2006. Indian agriculture and climate sensitivity. *Global Environmental Change.* 16:340-348.
- Nakicenovic, N.; Alcamo, J.; Davis, G.; De Vries, B.; Fenhann, J.; Gaffin, S.; Gregory, K.; Grubler, A.; Jung, T. Y.; Kram, T.; La Rivere, E. L.; Michaelis, L.; Mori, S.; Morita, T.; Pepper, W.; Pitcher, H.; Price, L.; Riahi, K.; Rogner, H.-H.; Sankovski, A.; Schlesinger, M.; Shukla, P.; Smith, S.; Swart, R.; Van Rooijen, S.; Victor, N. and Dadi, Z. 2000. Special report on emissions scenarios: a special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge. University Press, Cambridge. U. K. 599 p.
- Palma-Grayeb, B.; Conde, C.; Morales-Cortez, R. E. y Colorado-Ruiz, G. 2008. Escenarios climáticos. *In*: estudio para un programa veracruzano ante el cambio climático. Universidad Veracruzana. Instituto Nacional de Ecología y Embajada Británica en México. Disponible [http://www.peccuv.mx/descargas/pdf/reportes\\_investigacion/Cap%C3%ADtulo%203%203%20Escenarios%20Clim%C3%A1ticos.pdf](http://www.peccuv.mx/descargas/pdf/reportes_investigacion/Cap%C3%ADtulo%203%203%20Escenarios%20Clim%C3%A1ticos.pdf). (consultado marzo 2013). 1-27 pp.
- Pérez, P. y Echánove, F. 2006. Cadenas globales y café en México. *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada.* 38(1):69-86.
- Sánchez, I.; Díaz, G.; Cavazos, M. T.; Granados, R. y Gómez, E. 2011. Elementos para entender el cambio climático y sus impactos. Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa. 167 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2013. <http://www.siap.gob.mx> (consultado mayo, 2013).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN) 2012. Climatología. Temperaturas y lluvias. [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42&Itemid=28](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=28) (consultado mayo 2013).
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant physiology.* Sinauer associates. Sunderland, Massachusetts. 764 p.
- Universidad de Veracruz (UV). 2009. Programa veracruzano ante el cambio climático 2009. Gobierno del Estado. Veracruz. 194 p. [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008a\\_pvccv2](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008a_pvccv2). (consultado marzo 2013).
- Villalpando, J. F. 1985. Metodología de la investigación en agroclimatología. Curso de orientación para aspirantes a investigadores del INIFAP, SARH, México. 127-136 p.
- Villers, L.; Arizpe, N. Orellana, R.; Conde, C. y Hernández, J. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia.* México. 34(5): 322-329.