

CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA AGUACATERA DE MICHOACÁN: ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA A LARGO PLAZO*

CLIMATIC CHANGE IN THE AVOCADO-PRODUCING AREA OF MICHOACÁN: LONG-TERM PRECIPITATION AND TEMPERATURE ANALYSIS

Luis Mario Tapia Vargas^{1§}, Antonio Larios Guzmán¹, Ignacio Vidales Fernández¹, Martha Elena Pedraza Santos² y Víctor Luis Barradas³

¹INIFAP. Av. Latinoamericana 1101, Col. Revolución, Uruapan, Michoacán, México. C. P. 60080. ²Facultad de Agrobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Paseo Lázaro Cárdenas esq. Berlin. Uruapan, Michoacán. C. P. 60170. (marelpesa@yahoo.com.mx). ³Instituto de Ecología, UNAM. Circuito exterior, Ciudad Universitaria, D. F., México. C. P. 04510. (vbarrada@ecologia.unam.mx). [§]Autor para correspondencia: tapia.luismario@inifap.gob.mx.

RESUMEN

Actualmente en la zona aguacatera de Michoacán, se percibe un incremento de temperatura y temporales de lluvia erráticos. El objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones de precipitación y temperatura, a partir de una línea base de 1963 a 1972 y compararlas con la situación actual de 2001-2010. Se utilizaron datos de temperatura (mínima y máxima) y precipitación, de la serie 01-01-1963 al 31-12-2010, de la estación climática Barranca del Cupatitzio del Campo Experimental Uruapan del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La línea base 01-01-1963--31-12-1972 se comparó con el periodo 01-01-2001--31-12-2010. Los cambios de temperatura se evaluaron mediante modelos de regresión y sus respectivos análisis de covarianza. La precipitación de mayo-noviembre se evaluó mediante χ^2 para los promedios de la sumatoria mensual de: 1) máximo número de días consecutivos con precipitación y su lámina (R_{MAX}); 2) máximo número de días secos sucesivos y total de días sin lluvia (M_{SEC}); 3) número y lámina de días con precipitación (R_{MED}); y 4) días y lámina con intervalos de precipitación 0-10, 20-30 y >30 mm (R_{INT}). Los resultados indicaron no hubo significancia para temperaturas máximas y mínimas

ABSTRACT

Currently, in Michoacán's avocado-producing area, an increase in temperature and erratic rainstorms are perceived. The aim of this paper was to evaluate the precipitation and temperature conditions from a baseline of 1963 to 1972 and to compare them with the current situation of 2001-2010. Temperature's (minimum and maximum) and precipitation's data were used from the 01-01-1963 to 31-12-2010 series, of the Barranca del Cupatitzio's weather station of the Uruapan Experimental Field of the National Research Institute for Agriculture, Forestry and Livestock (INIFAP). The 01-01-1963--31-12-1972 baseline was compared with the period 01-01-2001--31-12-2010. Temperature changes were evaluated using regression models and their analysis of covariance. The precipitation of May-November was assessed by χ^2 for averages of monthly sum of: 1) maximum number of consecutive days with precipitation and water quantity (R_{MAX}); 2) maximum number of consecutive dry days and total days without rain (M_{SEC}); 3) number and quantity of days with precipitation (R_{MED}); and 4) days and water quantity with precipitation intervals 0-10, 20-30 and >30 mm (R_{INT}). These results indicated no significance for maximum and

* Recibido: febrero de 2011
Aceptado: julio de 2011

con 24.1 y 9.3 °C (1963-1972) *versus* 24.4 y 9.8 °C (2001-2010) ($t_{(18,05)} < 2.9$). R_{MAX} no fue significativa ($X_{ic}^2 = 0.04 < X_{it}^2_{(1,05)} = 3.85$), al igual que M_{SEC} . R_{MED} fue significativo ($X_{ic}^2_{(1,05)} = 4.2^*$) con 105 días efectivos y 1 513 mm para 1963-1972 contra 96 y 1858 mm de 2001-2010. R_{INT} fue altamente significativo ($X_{ic}^2_{(2,01)} = 95.4^{**}$) con 1 003.2 mm de lluvia >30 mm en 2001-2010 contra 573 mm en 1963-1972. Se concluye que la presencia del cambio climático es evidente en la región de estudio, aun cuando no se manifieste en todos los parámetros climáticos.

Palabras clave: cambio climático, deforestación, escurrimiento, lluvia torrencial.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno del cambio climático global, es un problema de orden mundial que afecta el equilibrio ambiental y que es generado por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). De acuerdo con Ordoñez *et al.* (2001), este fenómeno tendría repercusiones particularmente graves para los ecosistemas naturales, coadyuvando a la pérdida y degradación de la riqueza biótica del planeta, la erosión de suelos, cambios en los patrones de evapotranspiración, contaminación de mantos acuíferos y otros fenómenos.

El cambio climático afectará todas las actividades humanas, tendrá un efecto importante en la productividad de la agricultura principalmente en áreas marginales (Conde *et al.*, 2004). Thompson (1975), menciona que cambios drásticos del clima afectan la producción agrícola a la baja, mientras que cambios ligeros del clima incrementan el rendimiento de los cultivos. En este sentido Olmstead y Rhode (2011), predicen que las grandes planicies norteamericanas tendrán un incremento de las temperaturas normales de 3 a 4 °C y una mayor humedad, lo que contrarresta las tendencias de los siglos XIX y XX de clima más frío y seco, que propició la expansión del cinturón triguero de norteamérica. Shlenkler y Roberts (2009), mencionan que los umbrales de máximo rendimiento del maíz, soya y algodón en la franja productora de los Estados Unidos de América son de 29, 30 y 32 °C; sin embargo, ante el inminente incremento de temperatura las reducciones promedio de la producción serán de 30 a 82% en este siglo.

minimum temperatures with 24.1 and 9.3 °C (1963-1972) *versus* 24.4 and 9.8 °C (2001-2010) ($t_{(18,05)} < 2.9$). R_{MAX} was not significant ($X_{ic}^2 = 0.04 < X_{it}^2_{(1,05)} = 3.85$), just as M_{SEC} . R_{MED} was significant ($X_{ic}^2_{(1,05)} = 4.2^*$) with 105 actual days and 1 513 mm for 1963-1972 against 96 and 1858 mm in 2001-2010. R_{INT} was highly significant ($X_{ic}^2_{(2,01)} = 95.4^{**}$) with 1 003.2 mm of rainfall > 30 mm in 2001-2010 against 573 mm in 1963-1972. It's concluded that, the presence of climate change is evident in the studied region even if it is not manifested in all the climatic parameters.

Key words: climate change, rain, deforestation, runoff.

INTRODUCTION

The phenomenon of global climate change is a world order problem that affects the environmental balance and is generated by the increased emissions of greenhouse gases (GHGs). According to Ordoñez *et al.* (2001), this phenomenon would have particularly serious consequences for natural ecosystems contributing to the loss and degradation of the planet's biotic wealth, soil erosion, and changes in evapotranspiration patterns, groundwater pollution and other phenomena.

The climate change will affect all human activities; it will have a significant impact on agricultural productivity, especially in marginal areas (Conde *et al.*, 2004). Thompson (1975) mentions that drastic climate changes affect agricultural production to decline; while slight changes in climate, increase the crop yields. In this regard, Olmstead and Rhode (2011) predict that, the U.S. Great Plains will have a regular temperature increase of 3 to 4 °C and higher humidity, which counteracts the tendencies of the XIX and XX centuries of colder and drier weather, which led to the expansion of the wheat belt of North America. Shlenkler and Roberts (2009) mention that, the thresholds of maximum yield of maize, soybean and cotton in the production belt of the United States are 29, 30 and 32 °C; however, with the imminent increase in temperature, the average production reductions will be from 30 to 82% during this century.

Global climate change may also affect the avocado-producing area of Michoacán, because the production depends on cool temperatures and regular rainfall

El cambio climático global también puede afectar al área aguacatera de Michoacán, ya que la producción depende de temperaturas frescas y regularidad de las precipitaciones (Tapia *et al.*, 2007). Este fenómeno mundial provoca que el estado de Michoacán pierda anualmente el 1.8% de su superficie forestal (Bocco *et al.*, 2000), que totaliza 1 421 307 ha que han sido convertidas al uso agrícola y pecuario (Sáenz *et al.*, 2010). El cambio del uso de suelo se ha relacionado como factor principal de cambio climático por alteración de los flujos de energía (Barradas y Fanjul, 1986; Dale, 1997).

En la sierra purépecha, que incluye 20 municipios del estado, con una superficie de 1.1×10^6 ha, hay 3.6×10^5 ha totalmente deforestadas dedicadas a cultivos básicos y pastizales y 1.1×10^5 ha con plantaciones de aguacate; sin embargo, aún permanecen en esta región montañosa, 5×10^5 ha con bosques de coníferas y latifoliadas, sujetas a una alta presión por parte de la tala ilegal, vandalismo, robo de madera, incendios y fruticultores (Tapia *et al.*, 2008). La reducción de esta superficie de vocación forestal, puede afectar la captación de agua y cambios en la fenología y la hidrología en el cultivo del aguacate de Michoacán, principal actividad agrícola del estado, ya que significa 27.8% del PIB primario estatal (INEGI, 2008).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones de precipitación y temperatura a partir de una línea base tomada de 1963 a 1972 y compararlas con las condiciones actuales presentes en el siglo XXI (2001-2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se desarrolló en el Campo Experimental Uruapan, en el estado de Michoacán, dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El clima predominante en la región de acuerdo a la clasificación de Köppen, es semicálido de tipo (A)Cb(w₂)(w)(i'), con abundantes lluvias en verano (García y Reyna, 1969).

Los datos de temperatura y precipitación se tomaron de la estación climática "Barranca del Cupatitzio", perteneciente al INIFAP ubicada al poniente de la ciudad de Uruapan en las coordenadas 19° 25' 43.19" latitud norte y 102° 05' 35.44" longitud oeste. La serie histórica es del 01 de enero de 1963 al 31 de diciembre de 2010, cuyo promedio general de las variables del clima, son los que se presentan

(Tapia *et al.*, 2007). This global phenomenon causes an annual 1.8% losses in Michoacán State in the forest area (Bocco *et al.*, 2000), with a total of 1 421 307 ha that have been converted to agricultural and livestock use (Sáenz *et al.*, 2010). Changing land-use has been linked as a major factor in climate change due to the altering of energy flows (Barradas and Fanjul, 1986; Dale, 1997).

In the Sierra Purépecha, which includes 20 municipalities of the State, with an area of 1.1×10^6 ha, there are 3.6×10^5 ha completely deforested, designated to staple crops and pastures and 1.1×10^5 ha planted with avocado; but in this mountainous region, there are still 5×10^5 ha of conifers and hardwoods forests, subject to high pressure from illegal logging, vandalism, timber theft, fire and fruit producers (Tapia *et al.*, 2008). The reduction of this area suitable for forestry may affect water uptake and lead to changes in phenology and hydrology in avocado crops of Michoacán, which is the State's main agricultural activity, since it contributes 27.8% of the State's GDP (INEGI, 2008).

The aim of this paper was to evaluate the precipitation and temperature conditions using a baseline from 1963 to 1972 and comparing them with the current conditions of the XXI century (2001-2010).

MATERIALS AND METHODS

This work was developed in the Uruapan Experimental Field, in Michoacán, of the National Research Institute for Agriculture, Forestry and Livestock (INIFAP). The predominant climate in the region, according to the Köppen classification, is semi-warm, type (A)Cb(w₂)(w)(i'), with abundant summer rains (García and Reyna, 1969).

The temperature and precipitation data were taken from the weather station "Barranca del Cupatitzio", belonging to INIFAP, located west of the Uruapan City in the coordinates 19° 25' 43.19" north latitude and 102° 05' 35.44" west longitude. The historical series is from January 1st, 1963 to December 31st, 2010, the overall averages of climatic variables are presented in Table 1; in which stands out the best climatic conditions for growing avocados. The analyzed period could represent the present and future trend, since according to De Luis *et al.* (2001), with at least 30 years of data, reliable results in issues related to climate change can be obtained.

en el Cuadro 1, en los que destaca la condición climática óptima para el cultivo de aguacate. El periodo de análisis podría representar la tendencia presente y futura pues de acuerdo con De Luis *et al.* (2001), con al menos 30 años de datos pueden obtenerse resultados confiables en aspectos relacionados con el cambio climático.

Cuadro 1. Valores climáticos promedio en la estación INIFAP-Uruapan (1963-2010).

Table 1. Average climatic values in the INIFAP-Uruapan station (1963-2010).

Tmáxima media (°C)	Tmínima media (°C)	Tmedia (°C)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
25.5	11	18.2	1562.3	1202.8

La línea base de análisis correspondió al periodo 01 de enero de 1963 a 31 de diciembre de 1972. El efecto del posible cambio climático se analizó en dos variables: temperatura y precipitación; es decir, si realmente ha habido cambios en las temperaturas registradas y si realmente ha existido también, cambios significativos en la distribución y cantidad de lluvias, en la zona aguacatera de Michoacán. Los datos registrados del 01 de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2010, fueron utilizados para determinar diferencias estadísticas de las temperaturas máximas medias (T_{MAX}) y mínimas medias (T_{MIN}), para la época seca (enero-mayo).

Los datos de precipitación para los mismos periodos de 10 años, pero para el ciclo húmedo (mayo-noviembre) se utilizaron para evaluar las diferencias de la precipitación anual, en cuanto al promedio de la sumatoria del máximo número mensual de: días consecutivos con lluvia y su lámina (R_{MAX}), número y lámina de días con registro de lluvia (R_{MED}), días secos consecutivos y número de días secos (M_{SEC}), y por último, número de días y cantidad en los intervalos de precipitación 0-10, 20-30 y >30 mm (R_{INT}).

Se utilizó el programa estadístico y sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas (SICA) versión 2.5 (Medina y Ruiz, 2003), para obtener las normales climáticas y las variables mencionadas a excepción R_{MED} , R_{INT} , que se obtuvieron directamente en una hoja de cálculo con operadores lógicos y macros. Las variables relacionadas con la temperatura, se compararon en ambos periodos para determinar diferencias en las pendientes de las curvas de temperaturas T_{MAX} y T_{MIN} (Ott, 1988) de los modelos de cada periodo, de acuerdo con la expresión:

$$t = \frac{b_1 - b_2}{\sqrt{Sp \left[\frac{1}{SS_1} \right] + \left[\frac{1}{SS_2} \right]}} \quad (1)$$

The baseline analysis corresponds to the period from January 1st, 1963 to December 31st, 1972. The effect of possible climate change was analyzed in two variables: temperature and precipitation; that is, if there has been indeed any changes in recorded temperatures and if there were any significant changes at all in the distribution

and amount of rainfall in the avocado-producing area of Michoacán. The data recorded from January 1st, 2001 to December 31st, 2010, were used to determine statistical differences of the mean maximum temperature (T_{MAX}) and mean minimum (T_{MIN}) for the dry season (January to May).

The precipitation data for the same periods of 10 years, but for the wet cycle (May-November) were used to assess differences in annual rainfall, regarding to the summed average of the maximum monthly number: consecutive days of rain and its quantity (R_{MAX}), number and water quantity of days with rain registration (R_{MED}), consecutive dry days and number of dry days (M_{SEC}) and finally, number of days and amount of precipitation intervals 0-10, 20 -30 and >30 mm (R_{INT}).

The statistical program and information system for agroclimatic characterization (SICA) version 2.5 was used (Medina and Ruiz, 2003) in order to obtain the climatic normals and, the aforementioned variables except R_{MED} , R_{INT} , which were obtained directly in a spreadsheet with logical operators and macros. The temperature-related variables were compared in both periods, to determine differences in the slopes of the temperatures curves T_{MAX} and T_{MIN} (Ott, 1988) of each period model, according to the expression:

$$t = \frac{b_1 - b_2}{\sqrt{Sp \left[\frac{1}{SS_1} \right] + \left[\frac{1}{SS_2} \right]}} \quad (1)$$

$$Sp = \frac{MSE_1 - MSE_2}{2} \quad (2)$$

Where: Sp = pooled estimate of error of two equations with $n-2 + n-2$ degrees of freedom; b_1 , b_2 = regression slopes for the equations of periods 1 and 2, respectively; SS_1 ,

$$Sp = \frac{MSE_1 - MSE_2}{2} \quad (2)$$

Donde: Sp= estimación combinada del error de las dos ecuaciones con $n-2 + n-2$ grados de libertad; b_1, b_2 =pendientes de regresión para las ecuaciones de los periodos 1 y 2, respectivamente; SS_1, SS_2 =suma de cuadrados del modelo de regresión de las ecuaciones 1 y 2, respectivamente. Se efectuó la prueba de homogeneidad de varianza de los errores de los modelos de regresión en cada tratamiento, para respaldar las comparaciones entre los coeficientes del modelo.

Las comparaciones de la precipitación pluvial entre ambos periodos se realizaron mediante una prueba estadística de X^2 de acuerdo al modelo:

$$X_2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (3)$$

Donde: f_o =frecuencia observada; f_e =frecuencia esperada. Las variables de precipitación en ambos periodos de estudio, se evaluaron mediante la construcción de tablas de contingencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestran los promedios climáticos de ambos periodos de registro. Se puede apreciar un ligero incremento en las temperaturas medias mensuales, así como en la precipitación mensual. Sin embargo, desde este análisis simple, no hay una base sólida para argumentar un cambio en las condiciones del clima.

SS_2 = sum of squares of regression model of equations 1 and 2, respectively. The homogeneity of variance test of the errors of regression models for each treatment was applied, in order to support comparisons between the model coefficients.

Comparisons of rainfall between the two periods were performed using a statistical test X^2 according to the model:

$$X_2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (3)$$

Where: f_o =observed frequency, f_e =expected frequency. The precipitation variables in both study periods were evaluated by constructing contingency tables.

RESULTS AND DISCUSSION

The Table 2 shows the average climate of both registration periods. A slight increase in the average monthly temperatures and in monthly precipitation is shown. However, from this simple analysis, there is no sound basis to argue a change in weather conditions.

The Figure 1 shows the maximum and minimum temperatures recorded in both studied periods, during the dry season. The trend lines are quite similar so, the models could have similar slopes and intercepts. However, there is a minimum difference between the lines with higher records for the 2001-2010 periods, which could indicate that, in the last decade there have been slightl higher temperatures than in the 1963-1972 period.

Cuadro 2. Normales climáticas de la estación INIFAP en Uruapan, para los dos periodos de estudio.

Table 2. Climatic normals of the INIFAP's weather station in Uruapan for the two studied periods.

Mes	T _{MED} (°C)		Precipitación (mm)		Evaporación (mm)	
	1963-1972	2001-2010	1963-1972	2001-2010	1963-1972	2001-2010
E	13.5	14.2	43.6	50.9	76.9	80.3
F	14.4	15	8.6	18	92.7	93.5
M	15.6	16	5.7	14.4	129.9	144.6
A	17.7	17.8	9.4	3.2	149.9	154
M	18.9	18.8	74.1	30.6	124	156
J	18.9	18.9	258.2	264.4	84.7	95.8
J	18.1	18.2	324.9	360.6	77.1	87.9
A	18	18.1	306.2	352.3	79.5	89
S	17.9	17.9	266.9	316.9	71.9	81.4
O	17.2	17.3	117.1	151.5	81.4	83.9
N	15.6	16	44	32.1	64.2	72.7
D	14.7	15.1	7.8	17.2	60.1	63.5
$\bar{X}$	16.7	17.1	1612.1	1730.4	1032.2	1206.2

En el Figura 1 se muestran las temperaturas máximas y mínimas registradas en ambos periodos de estudio en la estación seca. Se aprecia que las líneas de tendencia son muy similares, por lo que los modelos podrían tener semejantes pendientes y ordenadas. No obstante, se alcanza a notar una diferencia mínima entre las líneas con registros más altos para el periodo 2001-2010, lo cual podría indicar que en la última década se han registrado temperaturas ligeramente más altas que en el periodo 1963-1972.

Las pruebas estadísticas efectuadas a los coeficientes de regresión de los modelos de tendencia de ambos periodos, se muestran en el Cuadro 3. No existen diferencias significativas y los coeficientes son iguales; por tanto, las ecuaciones de cada periodo estudiado son similares y no existen diferencias en las temperaturas registradas, ambos periodos son iguales estadísticamente ($p > 0.99$), entonces no hay base para argumentar cambios en la temperatura, las máximas y la mínimas actuales son iguales a las registradas hace 50 años. Barradas y Fanjul (1986) y Sinha y Swaminatha (1991) mencionan que el primer efecto de la deforestación y el cambio de uso de suelo, es el incremento significativo de la temperatura, pero en este estudio el incremento es marginal de sólo 0.4 grados a una tasa aproximada de 0.1 grados por década, menor al pronóstico de 0.3 grados por década señalado como perjudicial por el IPCC (1990).

Cuadro 3. Valores del estadístico t para demostrar diferencia entre las pendientes y las ordenadas de temperatura en diferentes años estudiados.

Table 3. T-statistic values to show difference between slopes and ordinates of temperature in different studied years.

Variables	Pendientes	Ordenadas
Temperatura máxima 1963-72	0.26 NS	
Temperatura mínima 1963-72	0.3 NS	
Temperatura máxima 2001-10		0.63 NS
Temperatura mínima 2001-10		0.5 NS
Grados de libertad= 18		
$t_{(18,05)} = 2.9$		

NS= diferencia no significativa.

El análisis estadístico de la precipitación pluvial, indica que los promedios de las sumatorias del máximo número de días consecutivos con precipitación durante el ciclo, así como la lámina registrada en esos días (R_{MAX}), no son significativos ($X_{ic}^2 = 0.04 < X_{it(1,1,05)}^2 = 3.85$), a pesar que se incrementó el número de días sucesivos con lluvia en el período 2001-

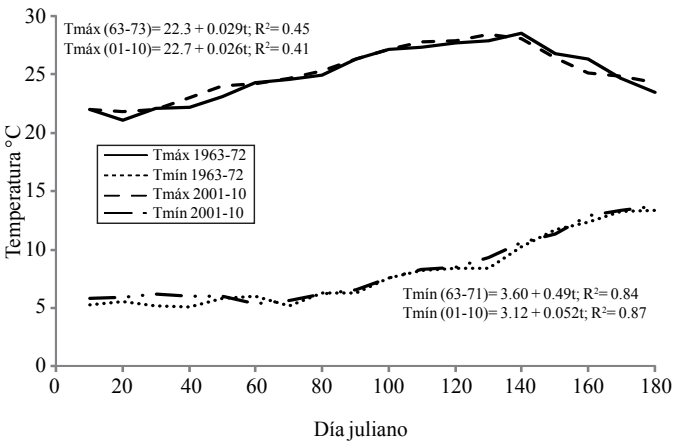


Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas promedio registradas en la estación INIFAP.
Figure 1. Average maximum and minimum temperatures recorded at the INIFAP's station.

Statistical tests performed on the coefficients of regression of trend models in both periods are shown in Table 3. There are not significant differences and the ratios are equal; so the equations for each period are quite similar and without differences in the recorded temperatures, both periods are statistically equal ($p > 0.99$) then, there is no basis to argue for temperature changes, both current maximum and minimum are the same for those recorded 50 years ago. Barradas and Fanjul (1986); Sinha and Swaminatha (1991) mention that, the first effect of deforestation and land-use change is the significant increase in temperature, but in this study, the increase is marginal, only 0.4 degrees at a rate of about 0.1 degrees per decade, which is lower than the forecasted 0.3 degrees per decade identified as damaging by the IPCC (1990).

The statistical analysis of rainfall indicates that, the averages of the sum of the maximum number of consecutive days with precipitation during the cycle, as well as the water quantity recorded in those days (R_{MAX}), are not significant ($X_{ic}^2 = 0.04 < X_{it(1,1,05)}^2 = 3.85$), although, the number of consecutive days with rain increased in the 2001-2010 period to 49.5, with respect to the 1963-1972 period of 43 days; while the amount was also greater with 756.9 against 686.1 mm, respectively. This clearly indicates that, the claim that it used to rain for most consecutive days does not have any foundation whatsoever; even, so far in this century, there is a greater number of consecutive days with rain, but it's not significant.

A similar result was found with the average of the sum of the maximum number of consecutive dry days and the number of days without rain (M_{SEC}). The difference between the

2010 a 49.5, con respecto al periodo 1963-1972 de 43 días; mientras que la cantidad también fue mayor con 756.9 contra 686.1 mm, respectivamente. Esto indica claramente que la afirmación que antes llovía durante más días consecutivos carece de fundamento, incluso en lo que va del siglo, se tiene una mayor cantidad de días consecutivos con lluvia, aunque no es significativa.

Un resultado similar se encontró con el promedio de la sumatoria del máximo número consecutivo de días secos y el número de días sin lluvia (M_{SEC}). La diferencia de los valores respectivos para 1963-1972 de 61.8 y 109 contra 44.4 y 118.6 para 2001-2010, no es significativa ($X_{ic}^2 = 3 < X_{it}^2(1,05) = 3.85$); por tanto, la percepción que actualmente se tienen más días consecutivos sin lluvia en la época húmeda, o más días sin lluvia no es real y es similar a la registrada hace 40 años; no obstante, un promedio de 9.6 días más sin lluvia en la actualidad, puede ser un motivo de preocupación sobre el entorno ambiental de deforestación que se está promoviendo. Grandes áreas sin cubierta vegetal por encima de 2 400 msnm, dedicadas a cultivos básicos o pastizales, pueden significar la diferencia de una mayor perturbación climática (Tapia *et al.*, 2008).

La suma promedio de los días efectivos de lluvia, así como la lluvia fue de 105.2 días y 1 513.8 mm en el periodo 1963-1972, presenta una diferencia significativa ($X_{ic}^2 = 4.2 > X_{it}^2(1,05) = 3.85^*$), con respecto a lo registrado para el periodo 2001-2010 con 96 días y 1 858.7 mm (Cuadro 4). Estos valores indican de manera clara que actualmente los días de lluvia efectiva han disminuido en casi 10, con relación a los que se tenían hace 40 años; sin embargo, la cantidad de precipitación para el ciclo de lluvias ha aumentado. No obstante, esto que podría interpretarse como benéfico, en realidad puede ser desventajoso por el daño que puede causar un incremento de la precipitación con ocurrencia en menos tiempo.

respective values for 1963-1972 of 61.8 and 109 against 44.4 and 118.6 for 2001-2010 is not significant ($X_{ic}^2 = 3 < X_{it}^2(1,05) = 3.85$); so the perception that currently exist more consecutive days without rain in the wet season, or more days without rain is not real at all and is similar to that recorded 40 years ago; however, an average of 9.6 more days without rain, may be a concern on the surrounding environment of deforestation that is being promoted. Large areas without vegetation above 2 400 meters, devoted to staple crops or pasture, may be the difference of greater climatic disturbance (Tapia *et al.*, 2008).

The average sum of the actual days of rain, and rain, was 105.2 days and 1 513.8 mm in the period 1963-1972, showing a significant difference ($X_{ic}^2 = 4.2 > X_{it}^2(1,05) = 3.85^*$) with respect to the records for the 2001-2010 period with 96 days and 1 858.7 mm (Table 4). These values clearly indicate that, currently effective rainy days have fallen by almost 10 with respect to those of 40 years ago but, the amount of precipitation for the rainy season has increased. However, this could be interpreted as beneficial but, it may actually be disadvantageous due to the damage that may cause an increased precipitation in less time.

This problem has been documented by different authors as Marques *et al.* (2007), who indicate that, the rainfall intensity is directly correlated with the soil's erosion; however, the vegetation can act as a protective factor against rainfall intensity, unfortunately, growing and uncontrolled deforestation in the Purépecha Region is a factor that contributes to an increased rate of erosion.

The intensity of precipitation in 24 h was also analyzed; while in 1963-1972 there were on average 55.6, 36.7 and 12.3 days, with averages of 268.4, 667.2 and 573.0 mm for

Cuadro 4. Evaluación estadística de promedios de 10 años de las variables de lluvia del ciclo mayo-noviembre para los eventos registrados en la estación INIFAP.

Table 4. Statistical evaluation of 10-year averages of rain variables of May-November cycle for the events recorded in the INIFAP's station.

Variable	1963-1972	2001-2010	Total	X_{ic}^2
Sumatoria del máximo número de días sucesivos con lluvia (R_{MAX})	43	49.5	92.5	0.04 NS
Precipitación (mm)	686.1	756.9	1 443	
Total	729.1	806.4	1 535.5	
Sumatoria de días con lluvia en el ciclo (R_{MED})	105.2	96	201.2	
Precipitación (mm)	1 513.8	1 858.7	3 372.5	4.2*
Total	1 618.9	1 954.7	3 573.7	
Sumatoria del máximo número de días secos consecutivos (M_{SEC})	61.8	44.4	106.2	3 NS
Días sin lluvia en el ciclo	109.5	118.6	228.1	
Total	171.3	163	334.3	

NS= diferencia no significativa; *= diferencia significativa ($p < 0.05$).

Esta problemática ha sido documentada por diferentes autores como Marques *et al.* (2007), que indican que la intensidad de lluvia se correlaciona directamente con la erosión del suelo, empero, la cobertura vegetal puede actuar como un factor de protección contra una mayor intensidad de lluvia, desafortunadamente, la deforestación creciente y sin control en la Región Purépecha es un factor que contribuye a una mayor tasa de erosión.

También se analizó la intensidad de la precipitación en 24 h; mientras que en 1963-1972 se tuvieron en promedio 55.6, 36.7 y 12.3 días, con promedios de 268.4, 667.2 y 573.0 mm para las intensidades <10, 10 a 30 y >30 mm (Cuadro 5), respectivamente. En el periodo 2001-2010, se presentaron 41.6, 36.2 y 18.2 días, los cuales no fueron significativos ($Xi_c^2(2,05) = 2.844 < Xi_t^2(1,01) = 9.21$), con respecto a los de 1963-1972. Aunque esta información carece de efecto, se aprecia un incremento en más días con lluvias superiores a 30 mm y menos días con lluvias inferiores a <10 mm. No obstante, las cantidades de precipitación en el periodo 2001-2010 de 193.9, 654.9 y 1 003.2 mm, fueron altamente significativas ($Xi_c^2(2,05) = 95.4 > Xi_t^2(1,01) = 9.21$), indicando que actualmente la intensidad de la precipitación en 24 horas es mayor. La precipitación con más de 30 mm día⁻¹, ha aumentado casi 100%, mientras que las de baja intensidad se han reducido en 30%.

intensities <10, 10 to 30 and >30 mm (Table 5), respectively. In the period 2001-2010, there were 41.6, 36.2 and 18.2 days, which were not significant ($Xi_c^2(2,05) = 2.844 < Xi_t^2(1,01) = 9.21$), with respect to those of 1963-1972. Although this information has no effect, there is an increase on days with rainfall exceeding 30 mm and fewer days with rainfall less than <10 mm. However, the precipitation amounts in the 2001-2010 period of 193.9, 654.9 and 1 003.2 mm, were highly significant ($Xi_c^2(2,05) = 95.4 > Xi_t^2(1,01) = 9.21$), indicating that the current intensity of rainfall in 24 hours is greater. Rainfall over 30 mm day⁻¹, has increased almost 100%, while those of low intensity have been reduced by 30%.

This phenomenon, for the current deforestation conditions with forest losses of more than 10 000 ha year⁻¹ in the Sierra Purépecha of Michoacán (COFOM, 2003), is disastrous because it accentuates the harmful hydrological effects of erosion, runoff and expense of aquifers that border the neovolcanic axis of Michoacán. Currently, only in the Sierra Purépecha there are about 350 000 ha deforested of rainfed agricultural and pastures use (Tapia *et al.*, 2009), and they could increase due to the significant increase in rainfall intensity, the effects of erosion and runoff (Tapia *et al.*, 2001).

Cuadro 5. Valores promedio de los eventos de lluvia por rango para el ciclo mayo-noviembre de la estación climática INIFAP.
Table 5. Average values of rainfall events per range for the May-November cycle from the INIFAP's weather station.

Variabes	1963-1972	2001-2010	Total	Xi_c^2
Magnitud de la lluvia (días)				
<10 mm	55.6	41.4	97	2.84NS
>10 <30 mm	36.7	36.2	72.9	
> 30 mm	12.3	18.2	30.5	
Total	104.6	95.8	200.4	
Lámina de lluvia (mm)				
<10 mm	268.4	193.962	462.362	95.4 **
>10 <30 mm	667.2	654.96	1322.16	
> 30 mm	573	1003.24	1576.24	
Total	1508.6	1852.162	3360.762	

NS= diferencia no significativa; **= diferencia altamente significativa ($p > 0.99$).

Este fenómeno, para las condiciones actuales de deforestación con pérdidas de bosque de más de 10 000 ha año⁻¹ en la Sierra Purépecha de Michoacán (COFOM, 2003), es desastroso pues se acentúan los efectos hidrológicos dañinos de erosión, escurrimiento y detrimento de los acuíferos que bordean al eje neovolcánico de Michoacán. Actualmente solo en la

The increase of precipitation found in this region of 14.4 mm day⁻¹ (1963-71) to 15.4 mm day⁻¹ (2001-2010), concurs with that reported by other authors, such as Costa and Foley (2000), who mentioned that, the climate change causes a rain increase of 0.28 mm day⁻¹. It is clear that deforestation of the Sierra Purépecha has begun to cause a significant change

Sierra Purépecha, hay cerca de 350 000 ha deforestadas de uso agrícola de temporal y pastizales (Tapia *et al.*, 2009), que ante un incremento significativo de la intensidad de lluvia, los efectos de erosión y escurrimiento podrían incrementarse significativamente (Tapia *et al.*, 2001).

El incremento de la precipitación encontrada en esta región de 14.4 mm día⁻¹ (1963-71) a 15.4 mm día⁻¹ (2001-2010), concuerda con lo reportado por otros autores como Costa y Foley (2000), quienes mencionan que el cambio climático produce incremento de la lluvia de 0.28 mm día⁻¹. Es claro que la deforestación sostenida de la Sierra Purépecha, ha empezado a propiciar un cambio significativo en las características de la precipitación, actualmente llueve menos días pero con mayor cantidad en 24 h (Cuadro 5). El incremento en la intensidad de la precipitación se ha asociado a un incremento de la temperatura, la atmósfera al calentarse es capaz de albergar mayor cantidad de agua, por lo que al llover, llueve con mayor intensidad.

En este estudio se demuestra que la temperatura no se ha incrementado significativamente, pero el calentamiento está sucediendo en áreas urbanas y deforestadas de la cuenca atmosférica a la que pertenece la Barranca de Cupatitzio. La deforestación *per se* no genera un incremento en la intensidad de la lluvia, pero el calentamiento producto de la deforestación o el calentamiento global si pueden producir un aumento en la intensidad de la lluvia (Frei *et al.*, 1998; Labat *et al.*, 2004).

El cambio de la cobertura forestal de la Sierra Purépecha ha sido hacia uso frutícola en 120 000 ha, a cultivos básicos en 350 000 ha y a pastizales en 30 000 ha; sin embargo, el deterioro ambiental producido por los cultivos básicos y los pastizales es 10 veces mayor en la capacidad erosiva de la precipitación y con escurrimientos de más de 100 mm contra sólo 10 mm en frutales como el aguacate (Tapia *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

El cambio climático en la Sierra Purépecha es un hecho ya demostrable, los datos climáticos permiten afirmar que no existe un aumento de las temperaturas máximas y mínimas, ya que el incremento registrado es marginal y no es significativo.

in rainfall patterns, currently, it rain during less days but, with a higher amount in 24 h (Table 5). The increase in the precipitation's intensity has been associated with an increase in temperature, when the atmosphere heats up; it cannot hold any more water so, when it rains, it does happened way harder.

This study shows that, the temperature has not increased significantly but, the warming is happening in urban and deforested areas of the air basin, to which Barranca de Cupatitzio Canyon belongs. Deforestation *per se* does not generate an increase in the rain's intensity, but heat from deforestation and global warming itself may cause an increase of rainfall intensity (Frei *et al.*, 1998; Labat *et al.*, 2004).

The change in forest cover in the Sierra Purépecha has been oriented to fruit use in 120 000 ha, to staple crop at 350 000 ha and 30 000 ha to pasture; however, environmental degradation caused by staple crops and pasture is 10 times higher in the erosive capacity of rainfall and with runoffs of more than 100 mm compared to only 10 mm in fruits, such as avocado (Tapia *et al.*, 2009).

CONCLUSIONS

The climate change in the Sierra Purépecha is already demonstrable; climate data support the conclusion that there is not an increase in maximum and minimum temperatures, because the increase recorded is marginal and not significant.

Today, the total number of days with rain (2001-2010) is statistically lower in 8.8 days to those from the 1963 to 1972 period, the rain quantity in this century has increased significantly from 1 513.8 mm (1963-1972) to 1 858.7 mm ($p < 0.05$). Regarding to the rain on successive days, both periods are statistically equal; there is no variation in the following days of rain or rain quantity of those days.

The clearest climate change indicator detected is that, the rain intensity during 24 h has increased significantly, and now there are 18.2 days with rainfall > 30 mm, against 12.3 in 1963-1972 and the water quantity has increased significantly from 573 to 1 003.2 mm ($p < 0.01$).

El total de días con lluvia en la actualidad (2001-2010), es estadísticamente menor en 8.8 días al del periodo de 1963 a 1972, más aún la lámina de lluvia en este siglo ha aumentado significativamente de 1 513.8 mm (1963-1972) a 1 858.7 mm ($p < 0.05$). En relación con la lluvia en días sucesivos, son estadísticamente iguales en ambos periodos, no se ha presentado variación ni en los días sucesivos de lluvia ni en la lámina de lluvia de esos días.

El indicador de cambio climático más claro detectado es que la intensidad de lluvia en 24 h, se ha incrementado de manera significativa ya que ahora se tienen 18.2 días con lluvia > 30 mm contra 12.3 que había en 1963-1972, y la lámina se ha incrementado significativamente de 573 a 1 003.2 mm ($p < 0.01$).

La combinación de menor cubierta vegetal y mayor intensidad de lluvia propiciada por el cambio climático, hace deducir que se pueden esperar mayores daños ambientales, económicos y sociales, en la Sierra Purépecha de Michoacán.

AGRADECIMIENTOS

Los autores (as) expresan su agradecimiento a todos aquellos que con su paciencia y constancia tomaron los datos diarios de la estación Uruapan del INIFAP desde 1963 hasta el año 2010, en especial al Ing. Juan José Alcántar R. y al Sr. Herminio, gracias a ellos este trabajo fue hecho posible.

LITERATURA CITADA

- Barradas, V. L.; and Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agric. Forest. Meteorol.* 38:101-112.
- Bocco, G.; Mendoza, M. y Masera, O. M. 2000. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas.* 44:18-38.
- Comisión Forestal de Michoacán (COFOM). 2003. Inventario forestal del estado de Michoacán. SEDRU. Morelia, Michoacán, México. Memoria General. 74 p.

The combination of the reduced plant coverage and, the increased rainfall intensity due to climate change, support the conclusion that, further environmental economic and social damage can be expected in the Sierra Purépecha of Michoacán.

End of the English version



- Conde, C.; Ferrer, R. M.; Gay, C. y Araujo, R. 2004. Impactos del cambio climático en la agricultura de México. *In: cambio climático una visión desde México. SEMARNAT-INE.* 225-236 pp.
- Costa, H. M. and Foley, A. J. 2000. Combined effects of deforestation and double concentration of CO₂ on the climate of Amazonia. *J. Climate.* 13:18-34.
- Dale, H. V. 1997. The relationship between land use change and climatic change. *Ecological Applications.* 7(3):753-769.
- De Luis, M.; García, C. M. F.; Cortina, J.; Raventós, J.; González, H. J. C. and Sánchez, J. R. 2001. Climatic trends, disturbances and short term vegetation dynamics in a Mediterranean shrubland. *Forest Ecol. Manage.* 147(1):25-37.
- Frei, C.; Shär, C.; Lüthi, D. and Davies, H. C. 1998. Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophysical Research Letters.* 25(9):1431-1434.
- García, E. y Reyna, T. 1969. Relaciones entre el clima y la precipitación en el suroeste de Michoacán. Instituto de Geografía, UNAM. D. F., México. 75 p.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). 2008. Producto interno bruto por entidad federativa 2003-2008. INEGI. Comunicado 091/10. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 9 p.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. Climatic change. The IPCC response strategies. WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climatic Change. 270 p.
- Labat, D.; Godderis, Y.; Probst, J. L. and Guvot, J. L. 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources.* 27(6):631-642
- Marques, M. J.; Bienes, R.; Pérez, R. R. and Jiménez, L. 2007. Soil degradation in Central Spain due to sheet water erosion by low intensity rainfall events. *Earth Surface Processes and Landforms.* 33(3):414-423.

- Medina, G. G. y Ruiz, C. J. A. 2003. SICA 2.5. Sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas. Manual de documentación y guía del usuario. INIFAP-Campo Experimental Zacatecas. Calera de V. R., Zacatecas, México. Tema didáctico. Núm. 3. 126 p.
- Olmstead, A. L. and Rhode, P. W. 2011. Adapting North American wheat production to climatic changes 1839-2009. *Proceedings of the National Academic of Sciences*. 108(2):480-485.
- Ordóñez, B.; De Jong, H. J.; y Masera, O. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*, Michoacán. *Madera y Bosques*. 7(2):27-47.
- Ott, L. 1988. An introduction to statistical methods and data analysis. PWS-Kent Pub. Boston MA, USA. 321 p.
- Sáenz, R. J. T.; González, T. J. A.; Jiménez, O. J.; Larios, G. A.; Gallardo, V. M.; Villaseñor, R. F. e Ibáñez, R. C. 2010. Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales. INIFAP. Uruapan, Michoacán, México. Folleto técnico. Núm. 18. 52 p.
- Sinha, S. K, and Swaminathan, M. S. 1991. Deforestation, climatic change and sustainable nutrition security: a case study of India. *Climatic Change*. 19:201-209.
- Shlenkler, W. and Roberts M. J. 2009. Non linear temperature effects indicates severe damages to U. S. crop yields under climatic change. *Proceedings of the National Academic Sciences*. 106(37):15594-15598.
- Tapia, V. L. M.; Tiscareño, L. M.; Stone, J. J.; Oropeza, J. L. and Velázquez, V. M. 2001. Tillage system effects on runoff and sediment yield in hillslope agriculture. *Field Crops Research*. 69:173-182.
- Tapia, V. L. M.; Larios, G. A. y Anguiano, C. J. 2007. Ambiente y fenología del aguacate. *In: tecnología para la producción de aguacate en México*. 2^{da} edición. INIFAP. Uruapan, Michoacán, México. 36-53 pp.
- Tapia, V. L. M.; Larios, G. A.; Anguiano, C. J. y Alcántar, R. J. J. 2008. Avances en la caracterización hidrológica en el sistema aguacate en Michoacán. *El Aguacatero*. 54:15-19.
- Tapia, V. L. M.; Vidales, F. I. y Larios, G. A. 2009. El agua como recurso natural renovable y la cubierta vegetal en la zona aguacatera de Michoacán. *El Aguacatero*. 12(58):15-19.
- Thompson, M. L. 1975. Weather variability, climatic change and grain production. *Science*. 188:535-54.