

Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010*

Evidence of climate change in the state of Tabasco from 1961-2010

Benigno Rivera Hernández¹, Lorenzo Armando Aceves Navarro^{2§}, Agrícola Arrieta Rivera³, José Francisco Juárez López², Jesús Manuel Méndez Adorno² y Carlos Ramos Álvarez²

¹Universidad Popular de la Chontalpa-Ingeniería en Agronomía. Carretera Cárdenas-Huimanguillo, km 2.0, R/a Pazo y Playa, Cárdenas, Tabasco. C. P. 86500. Tel: 01 937 3727050. Ext. 7027. (brivera@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. Carretera Cárdenas-Huimanguillo km 3.5. Tel: 937 3722275. Ext. 5002. (juarezlo@colpos.mx; mendez.jesus@colpos.mx; ramos.carlos@colpos.mx). ³Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Prol. Ignacio Zaragoza S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México. (aarrieta@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: laceves@colpos.mx.

Resumen

Modelos ensamblados de Circulación General de la Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCM's) a nivel regional y para diferentes escenarios, indican que para finales del presente siglo, para Tabasco la temperatura puede incrementarse desde 1 a 3.8 °C y la precipitación total anual puede reducirse hasta 14.4%. Eso es lo que modelos a escala regional reportan. Poco se ha investigado con datos observados, a nivel regional para comparar esos escenarios con lo que ha ocurrido en la realidad. El objetivo fue determinar si los datos meteorológicos durante el periodo de 1961 a 2010 registran alguna tendencia de cambio en la temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media y la precipitación y con ello determinar el sentido y magnitud del cambio a nivel regional y estatal. Los resultados que se muestran en las gráficas y cuadros del presente estudio indican que durante el periodo de tiempo estudiado, sí existe evidencia de cambio respecto al tiempo para las variables analizadas. Se encontró que las tendencias de cambio no son uniformes, sino contradictorias para las diferentes variables y localidades estudiadas. En unas localidades el cambio de una misma variable es positivo y en otros negativos. A nivel estatal, la temperatura media anual se ha incrementado 0.9°C durante el periodo estudiado,

Abstract

Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM's) at regional level and for different scenarios, indicate that by the end of this century, in Tabasco the temperature can increase from 1 to 3.8 °C and annual precipitation can decrease to 14.4%. That is what regional scale models report. Little has been investigated with observed data at regional level to compare these scenarios with what has happened in reality. The objective was to determine whether the meteorological data for the period of 1961-2010 recorded any trend of change in maximum, minimum, average temperature and precipitation and thus determine the direction and magnitude of change at regional and state level. The results shown in the graphs and tables in this study indicate that during the time period under study, there is evidence of change over time for the variables analyzed. It was found that change trends are not uniform, but contradictory for different variables and studied localities. In some localities the change of a single variable is positive and in others negative. Statewide, the average temperature has increased 0.9°C over the period under study, with fluctuations -0.6 °C to 2.5 °C between state regions. Also, for the same period, there was an increase in the anomaly of the average annual total precipitation of 0.5% with fluctuations between regions of -12.1% to 10.2%.

* Recibido: noviembre de 2015
Aceptado: febrero de 2016

con fluctuaciones -0.6°C a 2.5°C entre regiones del estado. Asimismo, para el mismo periodo, se tuvo un incremento en la anomalía de la precipitación total promedio anual de 0.5% con fluctuaciones las regiones de -12.1% a 10.2% .

Palabras clave: cambio climático local, Tabasco.

Introducción

El panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) por sus siglas en inglés, estableció que el calentamiento global es un hecho (IPCC, 2013). Según éste panel, hoy hay una confianza de 90% de que el calentamiento global observado es debido al aumento de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico y que el incremento de la temperatura global ha sido de 0.74°C en los últimos 100 años (IPCC, 2007).

El cambio climático altera los patrones de temperatura, nubosidad y precipitación, y como consecuencia, también los patrones de evapotranspiración y de humedad disponible en el suelo (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2011). Éstos cambios en los patrones climáticos, tendrán profundos efectos en el crecimiento de las plantas terrestres y productividad en el futuro próximo (Attipalli *et al.*, 2010). El incremento en la temperatura global propicia en muchas regiones aumento de la evaporación (Woodhouse *et al.*, 2010) y evapotranspiración (Topete *et al.*, 2014) causando disminución de la estación de crecimiento (Ruiz *et al.*, 2000a; Zarazúa *et al.*, 2011) y por ende de los rendimientos (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011).

Por otra parte el aumento de la temperatura provocará una redistribución de la tierras cultivables (Orozco *et al.*, 2014). Algunos cultivos verán incrementada sus superficies (Ramírez-Ojeda *et al.*, 2014), otras tendrán una reducción en el área cultivable y reducción en sus rendimientos (Ruiz *et al.*, 2000b; Zarazúa *et al.*, 2011).

El Instituto Nacional de Ecología (INE) hoy Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), al analizar las consecuencias que el calentamiento global pudiera causar a nivel local y regional, se dio a la tarea de generar escenarios de cambio climático a nivel regional para diferentes escenarios y horizontes de tiempo, generando mapas de la república mexicana de las anomalías para temperatura y precipitación, para los horizontes 2020, 2050 y 2080 (Conde y Gay, 2008).

Keywords: local climate change, Tabasco.

Introduction

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) stated that global warming is happening (IPCC, 2013). According to this panel, today there is a 90% confidence that the observed global warming is due to rising greenhouse gas (GHG) emissions of anthropogenic origin and that the increase in global temperature has been 0.74°C in the past 100 years (IPCC, 2007).

Climate change alters temperature, cloudiness and precipitation patterns, and therefore, the evapotranspiration and available soil moisture patterns (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2011). These changes in weather patterns will have profound effects on plant growth and productivity in near future (Attipalli *et al.*, 2010). The increase in global temperature favors the rise of evaporation (Woodhouse *et al.*, 2010) and evapotranspiration (Topete *et al.*, 2014) in many regions, causing a decrease in growing season (Ruiz *et al.*, 2000a; Zarazúa *et al.*, 2011) and therefore yield (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011).

Moreover, the increase in temperature will cause a redistribution of arable land (Orozco *et al.*, 2014). Some cultures will see an increase in their surfaces (Ramírez-Ojeda *et al.*, 2014) others will have a reduction in cultivated area and reduced yields (Ruiz *et al.*, 2000b; Zarazúa *et al.*, 2011).

The National Institute of Ecology (INE) today National Institute of Ecology and Climate Change (INECC), by analyzing the impact that global warming could cause at local and regional level, was given the task to generate scenarios of climate change at regional level for different scenarios and time horizons, generating maps of Mexico for temperature and precipitation anomalies for the horizons 2020, 2050 and 2080 (Conde and Gay, 2008). To accomplish this, used 23 Atmosphere-Ocean General models assembled in General Circulation of the Atmosphere and Ocean trailers (AOGCM's) that take into account the forcing factors that determine the potential economic and environmental future scenarios. The forcing factors are: population, economy, technology, energy, land use and agriculture.

Para realizar lo anterior, utilizaron 23 modelos ensamblados de Circulación General de la Atmósfera y Océano Acoplados (AOGCM's) que toman en consideración los factores forzantes que determinan los posibles escenarios futuros económicos y medioambientales. Los factores forzantes son: población, economía, tecnología, energía, uso del suelo y agricultura.

Los mapas resultantes de la aplicación de los AOGCM's muestran que para finales del siglo XXI la temperatura puede incrementarse desde 1 a 3.8 °C en el estado de Tabasco para el escenario más favorable y el menos favorable respectivamente. De la misma manera, reportan que para la mayoría del estado la precipitación total anual no cambiaría, excepto en algunas pequeñas áreas costeras con reducciones de hasta el 14.4%.

Estudios sobre la dinámica de las zonas costeras del estado de Tabasco y reportadas en el PEACC del estado de Tabasco, muestran que en diversas secciones de la costa el nivel medio del mar se está incrementando en promedio en 7 mm año⁻¹. Con tasas de retroceso que varían entre 1.28 a 6 m año⁻¹. Es decir, el mar está invadiendo los terrenos a esa velocidad media (SERNAPAM, 2011).

En la actualidad poco se ha investigado sobre el cambio climático local con datos climatológicos observados que permitan determinar si existe evidencia de cambio en la temperatura y la precipitación a nivel regional y comparar los escenarios propuestos por el INECC con lo que ha ocurrido en la realidad. Este trabajo se enfocó en determinar si los datos meteorológicos durante el periodo de 1961 a 2010, registran alguna tendencia de cambio en la temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, la oscilación térmica y la precipitación. Así como, de existir cambio climático determinar el sentido y magnitud del mismo a nivel regional y estatal.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

Geográficamente el estado de Tabasco está ubicado en la región sureste de la República Mexicana entre las latitudes 18° 38' y 17° 15' latitud norte y las longitudes 90° 38' 94° 07' longitud oeste. Limita al norte con el Golfo de México, al sur con el estado de Chiapas, a oeste con el estado de Veracruz, al noreste con el estado de Campeche y al sureste

The maps resulting from the application of AOGCM's show that by the end of the century the temperature can increase from 1 to 3.8 °C in Tabasco for the most favorable and less favorable scenario respectively. Similarly, report that for most of the state's total annual precipitation won't change, except for some small coastal areas with reductions of up to 14.4%.

Studies on the dynamics of the coastal areas from Tabasco and reported in PEACC from the state of Tabasco, show that in various sections of the coast the mean sea level is increasing on average 7 mm year⁻¹; with retreat rates ranging from 1.28 to 6 m year⁻¹. That is, sea is invading land to that average speed (SERNAPAM, 2011).

Currently little has been investigated on local climate change with observed climate data which to determine whether there is evidence of change in temperature and precipitation regionally and compare proposed scenarios by INECC with what happened in reality. This work focused on determining if meteorological data from 1961-2010, recorded a trend of change in the maximum, minimum, average temperature, atmospheric temperature range and precipitation. And, if there is climate change determine the direction and magnitude of it at regional and state level.

Materials and methods

Location of the study area

Tabasco is located in the southeastern region of Mexico between 18° 38' and 17° 15' north latitude and 90° 38' and 94° 07' west longitude. Neighboring to the north with the Gulf of Mexico, south of the state of Chiapas, west with Veracruz, northeast with Campeche and southeast with Guatemala. It has an area of 24 751 km² integrated by 17 municipalities from five regions: the Chontalpa (which includes the municipalities of Huimanguillo, Cardenas, Comalcalco, Paraíso, Cunduacán), Sierra (which includes the municipalities of Teapa, Tacotalpa and Jalapa), los Pantanos (Macuspana, Jonuta and Centla), los rios (formed by the municipalities of Balancán, Tenosique and Emiliano Zapata) and el Centro (formed by the towns of Nacajuca, Jalpa de Mendez and Villahermosa) (INEGI, 2015).

con Guatemala. Consta de una superficie de 24 751 km² integrada por 17 municipios que conforman cinco regiones: la Chontalpa (que incluye a los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Comalcalco, Paraíso, Cunduacán), la Sierra (que incluye los municipios de Teapa, Tacotalpa y Jalapa), los Pantanos (Macuspana, Jonuta y Centla) los ríos (formada por los municipios de Balancán, Tenosique y Emiliano Zapata,) y el Centro (formado por los municipios de Nacajuca, Jalpa de Méndez y la Ciudad de Villahermosa) (INEGI, 2015).

Estaciones meteorológicas selectas

Se utilizaron datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para un periodo de 50 años (1961-2010) de cinco localidades representativas, una por cada región. Los datos diarios fueron extraídos de la base de datos contenida en el programa Eric III v.3.2 que cuenta con la información del banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (IMTA, 2013). En la Cuadro 1 se listan las 5 estaciones meteorológicas selectas del estado de Tabasco, que se utilizaron para el presente estudio. Asimismo, se detalla la clave de la estación, nombre, latitud, longitud y la elevación sobre el nivel del mar.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas representativas de cada una de las cinco regiones del estado de Tabasco.
Table 1. Representative weather stations of each of the five regions from the state of Tabasco.

Clave	Estación	Longitud oeste (grados)	Latitud norte (grados)	Altitud (m)
27008	Cárdenas, Cárdenas (DGE) (Región Chontalpa)	- 93.384	17.983	21
27040	San Pedro, Balancán(Región de los Ríos)	- 91.158	17.792	40
27044	Teapa, Teapa (DGE) (Región Sierra)	- 92.967	17.567	72
27050	Tres Brazos, Centla (DGE) (Región Pantanos)	- 92.635	18.403	30
27054	Villahermosa, Centro (DGE) (Región Centro)	- 92.928	17.997	10

Procedimiento en el análisis de los datos

Para el análisis del posible cambio de tendencia en la temperatura y precipitación en las cinco localidades selectas, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se obtuvieron los datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para el periodo de 1961 al 2010 extrayéndolos del banco de datos del programa Eric III v.3.2 (IMTA, 2013) para luego convertirlas a hojas de Excel para su manejo operativo.

Selected weather stations

Daily data of maximum and minimum temperature and precipitation for a period of 50 years (1961-2010) from five representative localities, one for each region were used. The daily data were extracted from the database contained in Eric III v.3.2 program which contains the information of the national historic data bank from the National Weather Service (IMTA, 2013). In Table 1 are listed the five selected weather stations from the state of Tabasco, which were used for this study. Also, describes information from the station like code, latitude, longitude and meters above sea level.

Procedure in data analysis

For the analysis of the possible change of trend in temperature and precipitation in the five selected localities, the following steps are performed:

1. The daily data of maximum and minimum temperature and precipitation for the period 1961 to 2010 by collected from the database Eric III v.3.2 program (IMTA, 2013) were obtained and then transferred to an Excel spreadsheet for calculations.

2. For each of the years from 1961-2010 the corresponding annual average was obtained for maximum temperature, minimum temperature, average temperature and total precipitation.

3. The results from the five selected locations were combined to obtain a state average value for the variables mentioned above.

4. The corresponding graphs were generated for those variables, regarding to their variation in time and underwent a regression analysis to determine their trend and obtain the direction and change rate over time.

2. Para cada año del periodo 1961 a 2010 se obtuvo el promedio anual correspondiente a la temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media y precipitación total.

3. Se combinaron los resultados de las cinco localidades selectas para obtener un valor promedio estatal para las mismas variables del punto 2 anterior.

4. Se generaron las gráficas correspondientes para esas variables, respecto a su variación en el tiempo y se les realizó un análisis de regresión para determinar su tendencia y obtener el sentido y la tasa de cambio respecto al tiempo.

5. Con los datos de esas tasas por cada región, se generaron las tablas que se muestran y discuten en el cuerpo del presente documento.

6. Por cuestiones de espacio, las gráficas resultantes que se presentan en el cuerpo del presente documento, solo se discuten los resultados promedio a nivel estatal.

Resultados y discusión

Los resultados a nivel estatal, se utilizaron como ejemplos gráficos de las tendencias para las variables bajo estudio (temperatura máxima, mínima, media y precipitación total anual); mismas que se muestran en las Figuras 1 a 4. Los datos resultantes para las estaciones representativas de cada una de las cinco regiones del estado y para las tendencias de las mismas variables, se muestran en los Cuadros 2 a 5. De acuerdo con los resultados, tanto a nivel estatal como regional, se muestra claramente la existencia de tendencias de cambio para cada una de las variables bajo estudio.

Tendencias de cambio en la temperatura máxima promedio anual

La Figura 1 muestra que durante el periodo de 1961 a 2010 en el estado de Tabasco, la temperatura máxima anual se incrementó en promedio 0.0222 °C por año, que equivale a un incremento promedio de 1.1 °C en ese periodo de 50 años. De seguir esa tendencia en el futuro, para el año 2050 y para el 2100, se esperarían incrementos en la temperatura máxima de 2 °C y 3.1 °C respectivamente. Asimismo, en la Figura 2 se puede apreciar que en las cinco regiones ocurrieron tendencias positivas durante el periodo 1961-2010 que van de 0.2 °C

5. With rate data for each region, were generated the tables shown and discussed in these document.

6. Due to space, only statewide average results are discussed from the resulting graphs in this document.

Results and discussion

Statewide results were used as graphic examples of the trends for the variables under study (maximum, minimum, average temperature and total annual precipitation); same shown in Figures 1 to 4. The resulting data from the representative stations for each of the five regions of the state and for the trends of these variables are shown in Tables 2 to 5. According to the results both the statewide and regionally, clearly shows the existence of changing trends for each of the variables under study.

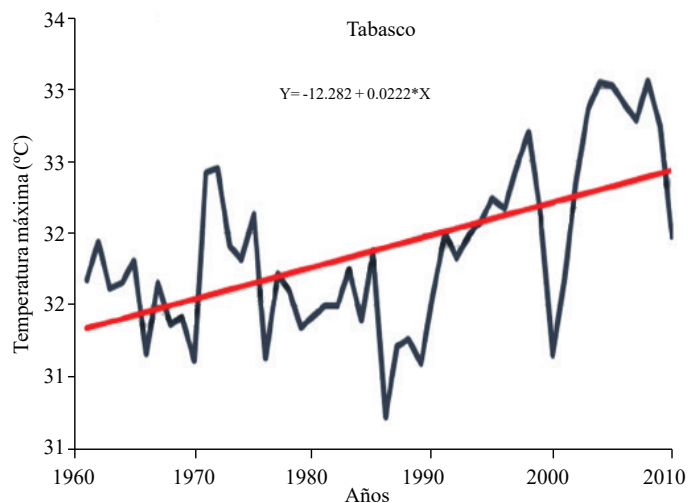


Figura 1. Tendencia de cambio de la temperatura máxima promedio anual en el estado de Tabasco, durante el periodo (1961-2010).

Figure 1. Trend change of annual average maximum temperature in the state of Tabasco, from (1961-2010).

Changing trends in the annual average maximum temperature

Figure 1 shows that during the period 1961-2010 in the state of Tabasco, the maximum annual temperature increased on average 0.0222 °C per year, which is equivalent to an average increase of 1.1 °C in that 50 year period. To continue this trend in the future, for 2050 and 2100, increases expected in maximum temperature of 2 °C and 3.1 °C respectively.

para Chontalpa, hasta 3.3 °C, para la de los Ríos. La regiones que menos incrementaron sus temperaturas máximas fueron Chontalpa y Centro con 0.2 °C y 0.3 °C respectivamente; mientras que los mayores incrementos ocurrieron en la región de los Pantanos con 1.3 °C y en de los Ríos con 3.3 °C.

Hay que remarcar que los incrementos en éstas dos últimas regiones son muy elevados y significativos, ya que equivalen a los incrementos que los modelos ensamblados han propuesto para la temperatura media para los horizontes de 2050 y 2100 (Conde y Gay, 2008). Es decir, que a nivel local se ha acelerado el proceso de calentamiento en esas dos regiones respecto a la temperatura máxima promedio. También hay que resaltar que los diferentes escenarios mundiales y regionales que se han desarrollado hacen sus estimaciones de incrementos en la temperatura media anual y nada señalan sobre las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas promedio anuales.

Tendencias de cambio en la temperatura mínima promedio anual

Referente a la Temperatura mínima promedio anual del estado de Tabasco, se muestra en la Figura 2, que durante el periodo 1961-2010 hubo una tendencia positiva con una tasa de 0.0114 °C por año, equivalente a un incremento de 0.57 °C durante ese periodo. De seguir la misma tendencia, se tendrían incrementos de 1.05 a 1.6 °C para los horizontes 2050 y 2100 respectivamente. Al comparar la Figura 1 y 2 se hace notorio que en promedio, la temperatura máxima a nivel estatal se ha incrementado casi dos veces más que la temperatura mínima.

En el Cuadro 2, se hace evidente que entre regiones, hubo diferencias positivas y negativas respecto a la tendencia de cambio en la temperatura mínima promedio anual. Así, mientras que la región Sierra tuvo una tendencia negativa con un decremento de 0.2 °C, el resto de las regiones tuvieron tendencias positivas cuyos incrementos variaron entre 0.5 °C para Pantanos y 1.1 °C para Centro. Lo anterior, significa que las noches se han venido calentando durante el periodo de estudio para esas cuatro regiones. Probablemente el albedo de la Ciudad de Villahermosa y la condición de inundación en la región Pantanos expliquen las diferencias en las tendencias positivas. De igual manera, es posible que la ubicación de la región Sierra explique el enfriamiento que ha ocurrido durante el periodo de estudio. La región de los Ríos tuvo un incremento significativo de casi un grado (0.8 °C), ocupando el segundo lugar en incrementos en la temperatura mínima anual en el estado de Tabasco.

Also in Figure 2 can be observed that in the five regions positive trends occurred during the period 1961 to 2010 ranging from 0.2 °C for Chontalpa, up to 3.3 °C for los Ríos. The regions that had less increase in their maximum temperatures were Chontalpa and Centro with 0.2 °C and 0.3 °C respectively; while the largest increases occurred in the region los Pantanos with 1.3 °C and Rios with 3.3 °C.

It is worth noting that increases in the latter two regions are very high and significant, as it is equivalent to the increases that assembled models have proposed for average temperature for the horizons 2050 and 2100 (Conde and Gay, 2008). That is, that locally the warming process in these two regions has accelerated regarding the average maximum temperature. Also note that the different global and regional scenarios that have been developed make their increase estimates in average temperature and nothing is said about trends of average annual maximum and minimum temperatures.

Trend change in average annual minimum temperature

Regarding the average annual minimum temperature from Tabasco are shown in Figure 2, during the period 1961 to 2010 there was a positive trend with a rate of 0.0114 °C per year, equivalent to an increase of 0.57 °C during this period. If the same trend continues, there would be increases of 1.05 to 1.6 °C for the horizons 2050 and 2100 respectively. Comparing Figure 1 and 2 can be seen that on average the maximum temperature at state level has increased almost twice than minimum temperature.

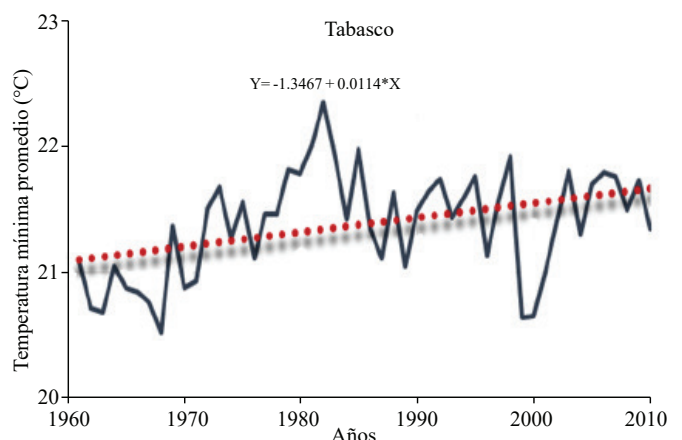


Figura 2. Tendencia de cambio de la temperatura mínima promedio anual en el estado de Tabasco, durante el periodo (1961-2010).

Figure 2. Trend change in annual average minimum temperature in the state of Tabasco, during the period (1961-2010).

Cuadro 2. Tendencia de cambio en la temperatura mínima promedio anual en el estado de Tabasco y sus regiones, durante el periodo de 1961 a 2010.

Table 2. Trend change in annual average minimum temperature in the state of Tabasco and its regions during the period 1961-2010.

Región	Tendencia (°C)
Chontalpa	+ 0.6
Centro	+ 1.1
Sierra	- 0.2
Pantanos	+ 0.5
De los Ríos	+ 0.8
Promedio estatal	+ 0.6

Tendencias de cambio en la temperatura media promedio anual

La Figura 3 muestra que la tendencia en la temperatura media en el estado de Tabasco fue positiva durante el periodo 1961-2010, con un incremento promedio de 0.86 °C. De continuar la misma tendencia, se esperaría que para el año 2050 y 2100 la temperatura promedio se incremente en 1.54 y 2.39 °C respectivamente. Es decir, que para finales de siglo en el estado de Tabasco se esperaría un incremento promedio en la temperatura media de 2.39 °C. El incremento observado en Tabasco, es ligeramente superior al promedio mundial observado de la temperatura promedio mundial según lo reporta el IPCC (2007).

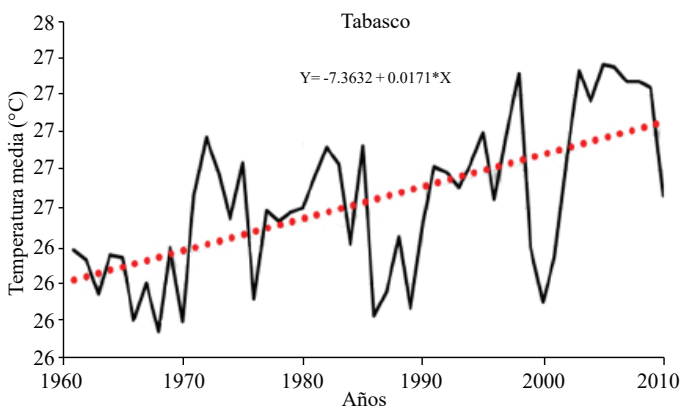


Figura 3. Tendencia de cambio de la temperatura media anual en el estado de Tabasco, durante el periodo (1961-2010).

Figure 3. Trend change of average annual temperature in the state of Tabasco, during the period (1961-2010).

In Table 2, it becomes clear that among regions, there were positive and negative differences regarding trend change in the average annual minimum temperature. So while the Sierra region had a negative trend with a decrease of 0.2 °C, the rest of the regions showed positive trends with increases ranging from 0.5 °C for Pantanos and 1.1 °C for Centro. This means that nights have been warming during the study period for those four regions. Probably the albedo of the City of Villahermosa and flooding condition in Pantanos region explain the differences in the positive trends. Similarly, it is possible that the location of the Sierra region explain the cooling that has occurred during the study period. The Rios region had a significant increase of almost one degree (0.8 °C), ranking second in increases in the minimum annual temperature in the state of Tabasco.

Trend change in annual average temperature

Figure 3 shows that the trend in average temperature in the state of Tabasco was positive during the period 1961-2010, with an average increase of 0.86 °C. If the same trend continues, it is expected for 2050 and 2100 that the average temperature will increase 1.54 and 2.39 °C respectively. That is, that by the end of the century it would be expected an average increase in average temperature of 2.39 °C. The observed increase in Tabasco is slightly above the world average observed in the average global temperature as reported by the IPCC (2007).

Also, expected increases are consistent with the resulting maps for Mexico from the simulation of 23 Atmosphere-Ocean General Circulation Model reported by Conde and Gay (2008). These results indicate that by year 2050 and for the state of Tabasco, an increase between 0.8 to 2.4 °C is expected for the best and worst case scenario (B1 and A2); and an increase between 1.0 and 3.8 °C by 2100 for B1 and A2 scenarios respectively. Table 3 shows that the five regions show a positive trend change in average temperature, with increases ranging between 0.3 °C for Sierra region and 2.1 °C for Rios.

In the last region, the increase is strongly influenced by the increases observed in the maximum temperature; as can be seen in Table 4. If the trend continues in the increase of average temperature observed in Tabasco allows confirming that some plant and animal species can adapt to new conditions, even some of restricted distribution could extend their habitat as reported by Arriaga and Gómez (2005).

Asimismo, los incrementos esperados concuerdan con los mapas resultantes para México de la simulación de 23 modelos ensamblados de Circulación General de la Atmósfera y Océano Acoplados que reportan Conde y Gay (2008). Esos resultados indican que para el año 2050 y para el estado de Tabasco, se esperaría un incremento entre 0.8 a 2.4 °C para el mejor y el peor escenario (B1 y A2); y un incremento entre 1.0 y 3.8 °C para el año 2100 para los escenarios B1 y A2 respectivamente. En el Cuadro 3, se observa que las cinco regiones muestran una tendencia de cambio positiva en la temperatura media, con incrementos que fluctuaron entre 0.3 °C para la región Sierra y 2.1 °C para la de los Ríos.

Cuadro 3. Tendencia de cambio en la temperatura media anual en el estado de Tabasco y sus regiones, durante el periodo de 1961 a 2010.

Table 3. Trend change in annual average temperature in the state of Tabasco and its regions during the period 1961-2010.

Región	Tendencia (°C)
Chontalpa	+ 0.4
Centro	+ 0.7
Sierra	+ 0.3
Pantanos	+ 0.9
De los Ríos	+ 2.1
Promedio estatal	+ 0.9

En ésta última región, el incremento está fuertemente influenciado por los incrementos observados en la temperatura máxima; tal y como se puede apreciar en el Cuadro 4. De continuar la tendencia en el incremento en la temperatura media observada en Tabasco permite afirmar, que algunas especies vegetales y animales podrán adaptarse a las nuevas condiciones, incluso algunas de distribución restringida podrán ampliar su hábitat tal y como lo reportan Arriaga y Gómez (2005).

Tendencias de cambio en la oscilación térmica promedio anual

La oscilación térmica (OSC) es la diferencia entre la temperatura máxima, menos la mínima.

El analizar las oscilaciones a lo largo de los 50 años permite discriminar si el cambio en la temperatura media promedio anual se debe principalmente a los aumentos de la temperatura máxima, o a la temperatura mínima. Es decir, si el calentamiento se debe a que se está calentando más el

Cuadro 4. Tendencia de cambio en la temperatura máxima promedio anual en el estado de Tabasco y sus regiones, durante el periodo de 1961 a 2010.

Table 4. Trend change in annual average maximum temperature in the state of Tabasco and its regions during the period 1961-2010.

Región	Tendencia (°C)
Chontalpa	+ 0.2
Centro	+ 0.3
Sierra	+ 0.8
Pantanos	+ 1.3
De los Ríos	+ 3.3
Promedio estatal	+ 1.1

Trend change in annual average atmospheric temperature range

The atmospheric temperature range (OSC) is the difference between the maximum minus the minimum temperature.

Analyzing the oscillations along 50 years allows discriminating whether the change in annual average temperature is primarily due to increases in maximum temperature or to minimum temperature. That is, if the warming is due to the day is being heated more than the night or that the night it being heated more than the day. Thus, a decrease in atmospheric temperature range may mean that the minimum temperature has been increasing more than the maximum temperature while an increase in the atmospheric temperature range can mean that the maximum temperature has been increasing more than the minimum temperature. Figure 4, shows that for the state of Tabasco, the annual average atmospheric temperature range has a periodic behavior with a negative trend period (1961-1984) and another with positive trend (1984-2010); and with an overall positive trend, with an average increase of 0.0114 °C per year, equivalent to an increase of 0.6 °C for a 50 year period.

This can be explained by observing the average values of the maximum and minimum temperature from the state of Tabasco in Figures 1 and 2. In these figures, it is shown that the maximum temperature has been increasing on average, almost twice than the minimum temperature. I.e., the increase of atmospheric temperature range over time is due to higher increase in the maximum temperature. These results at state and regional level contradict that mentioned by the IPCC globally; arguing that global warming is explain by a higher increase in night temperatures (IPCC, 2007 and 2012).

día que la noche, o a que es la noche la que está calentando más que el día. Así, un decremento en la oscilación térmica puede implicar que la temperatura mínima se ha venido incrementando más que la temperatura máxima; mientras que un incremento en la oscilación térmica puede implicar que la temperatura máxima se ha venido incrementando más que la temperatura mínima. En la Figura 4, se muestra que para el estado de Tabasco, la oscilación térmica promedio anual tiene un comportamiento periódico, con un periodo con tendencia negativa (1961-1984) y otro con tendencia positiva (1984-2010); y con una tendencia total positiva, con un incremento promedio de 0.0114 °C por año, equivalente a un incremento de 0.6 °C durante el periodo de 50 años.

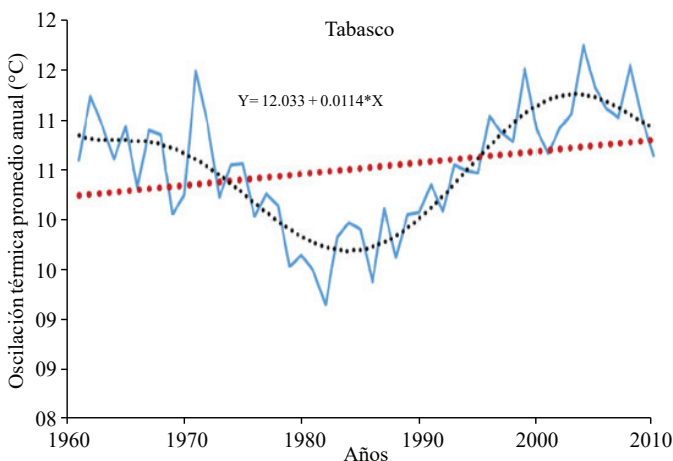


Figura 4. Tendencia de cambio de la oscilación térmica promedio anual en el estado de Tabasco, durante el periodo (1961 - 2010).

Figure 4. Trend change in annual average atmospheric temperature range in the state of Tabasco, during the period (1961-2010).

Esto se puede explicar al observar los valores promedios de la temperatura máxima y mínima del estado de Tabasco que se muestran en las Figuras 1 y 2. En esas figuras, se muestra que la temperatura máxima ha venido incrementándose en promedio, casi al doble que la temperatura mínima. Es decir, que el incremento de la oscilación térmica en el tiempo se debe al mayor incremento de la temperatura máxima. Estos resultados a nivel estatal y regional contradicen lo que se ha señalado el IPCC a nivel global; quienes sostienen que el calentamiento del planeta se explica por un mayor incremento en las temperaturas nocturnas (IPCC, 2007 y 2012).

En el Cuadro 5, se puede observar que a nivel regional, hubo tendencias contrarias. Mientras que en la región Chontalpa y Centro la tendencia fue negativa, en el resto de las regiones fue positiva. Así, en la Chontalpa y Centro la oscilación

In Table 5, it can be seen that at the regional level, there were opposite trends. While in the Chontalpa and Centro region the trend was negative, in the rest of the regions was positive. Thus, in Chontalpa and Centro region, the atmospheric temperature range decreased -0.6 °C and -0.9 °C respectively, because the average minimum temperature rose almost 3 and 4 times more than the maximum temperature, as seen in Figure 4. That is, in Chontalpa and Centro, the nights have been warming more than the day. This situation is consistent with that indicated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007, 2013). But for Sierra, Pantanos and Rios region the atmospheric temperature range show a positive trend of 0.8, 1.3 and 3.3 °C respectively. Tables 2 and 3, show that in these regions the maximum temperature during the study period has increased almost 5, 3 and 4 times more than the minimum temperature. That is, that the day has been warming more than the night.

Cuadro 5. Tendencia de cambio en la oscilación térmica promedio en el estado de Tabasco y sus regiones, durante el periodo de 1961 a 2010.

Table 5. Trend change in average atmospheric temperature range in the state of Tabasco and its regions during the period 1961-2010.

Región	Tendencia (°C)	
	Anual	50 años
Chontalpa	- 0.0113	- 0.6
Centro	- 0.0178	- 0.9
Sierra	+ 0.0216	+ 1.1
Pantanos	+ 0.0140	+ 0.7
De los Ríos	+ 0.0503	+ 2.5
Promedio estatal	+ 0.0568	+ 0.6

Trend change in average annual total precipitation

The scenarios indicate trend change for precipitation, anomalies reported in percentage of total annual precipitation in deviations regarding the mean (IPCC, 2007). Importantly, the results of the trend change in average annual total precipitation in the state of Tabasco had minimal anomaly of 0.5% during the study period (1961-2010). This means that the state average amount of precipitation did not vary during that time. This is shown in Figure 5, where the annual increase rate was 0.21 mm year⁻¹, with an accumulation in the 50-years study of 10.7 mm.

térmica disminuyó -0.6°C y -0.9°C respectivamente, debido a que la temperatura mínima promedio aumentó casi 3 y 4 veces más que la temperatura máxima, tal y como se puede apreciar en la Figuras 4. Es decir, en la Chontalpa y en el Centro, las noches se han venido calentando más que el día. Esta situación concuerda con lo señalado por el panel intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007; 2013). En Cambio, para las regiones Sierra, Pantanos y de los Ríos las oscilaciones térmicas muestran una tendencia positiva de 0.8, 1.3 y 3.3°C respectivamente. Los Cuadros 2 y 3 muestran que en esas regiones la temperatura máxima se ha incrementado en el periodo de estudio en casi 5, 3 y 4 veces más que la temperatura mínima. Es decir, que el día se ha venido calentando más que la noche.

Tendencias de cambio en la precipitación total promedio anual

Los escenarios que señalan las tendencias de cambio para la precipitación, reportan en porcentaje las anomalías en la precipitación total anual en desviaciones respecto a la media (IPPC, 2007). Es importante señalar que los resultados de la tendencia de cambio en la precipitación total promedio anual en el estado de Tabasco tuvo una anomalía mínima de 0.5% durante el periodo de estudio (1961-2010). Esto significa que la cantidad de precipitación promedio estatal prácticamente no varió durante ese tiempo. Lo anterior se muestra en la Figura 5, donde la tasa de incremento anual fue de 0.21 mm año^{-1} , con una acumulación en los 50 años de estudio de 10.7 mm.

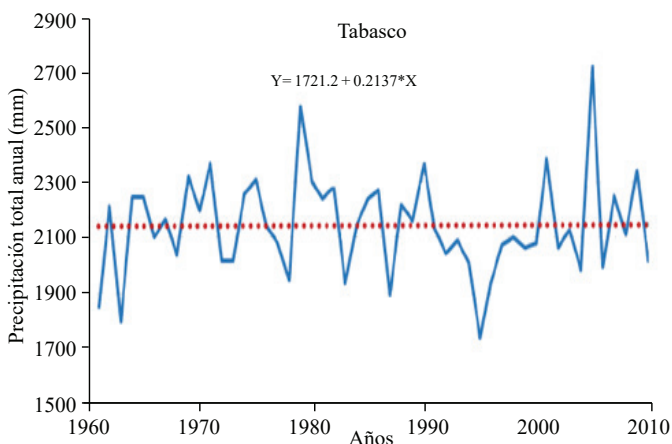


Figura 5. Tendencia de cambio de la precipitación total promedio anual en el estado de Tabasco, durante el periodo (1961-2010).

Figure 5. Trend change in annual average total precipitation in the state of Tabasco, during the period (1961-2010).

If the same trend continues, it would be expected by 2050 and 2100 an average increase in annual total precipitation of 19.2 and 29.9 mm respectively; negligible values compared to annual total. However, at regional level there were differences in trend change, as the Sierra region showed a negative trend, while the rest of the regions it was positive, as shown in Table 6. In the same table note that the decrease in total annual precipitation in the Sierra region was 416.4 mm, while the increases in the other regions ranged from 17.9 mm for Pantanos to 201.8 mm for Centro: with anomalies that fluctuated between $+10.2\%$ for Centro, $+1.1\%$ for Pantanos and -12.1% for Sierra region. It is important to note that abnormalities in total annual precipitation observed in the study period, and those expected in the different scenarios for 2050 and 2100 horizons are consistent with the scenarios reported for Tabasco by Conde and Gay (2008).

Cuadro 6. Tendencia de cambio en la precipitación total promedio anual en el estado de Tabasco y sus regiones, durante el periodo de 1961 a 2010.

Table 6. Trend change in average annual total precipitation in the state of Tabasco and its regions during the period (1961-2010).

Región	Tendencia (mm)	Cambio (%)
Chontalpa	+ 198.9	+ 9.8
Centro	+ 201.8	+ 10.2
Sierra	- 416.4	- 12.1
Pantanos	+ 17.9	+ 1.1
De los Ríos	+ 69.0	+ 4.4
Promedio estatal	+ 10.7	+ 0.5

Conclusions

Regional level, the precipitation had significant decreases in the Sierra region and significant increases in the Centro region; highlighting the Rios region has significantly increased the average temperature in 2.1°C . In Chontalpa and Centro regions the nights have been warming more than the days, with decreases in atmospheric temperature range of 0.6 and 1.1°C respectively. However, in the Sierra, Pantanos and Rios regions, the days have been warming more than the nights, with increases in atmospheric temperature range of 0.8 , 1.3 and 3.3°C respectively.

Statewide, there was an increase in average annual total precipitation of 0.5% with fluctuations between state regions of -12.1% to $+10.2\%$, and the average annual atmospheric

De seguir esa misma tendencia se esperaría que para el año 2050 y 2100 se incremente en promedio la precipitación total anual en 19.2 y 29.9 mm respectivamente; valores insignificantes respecto al total anual. Sin embargo, a nivel regional hubo diferencias en las tendencias de cambio, ya que mientras que la región Sierra mostró una tendencia negativa, en el resto de las regiones fue positiva, tal y como se aprecia en el Cuadro 6. En esa misma tabla se observa que la disminución en la precipitación total anual en la región Sierra fue de 416.4 mm, mientras que los incrementos en el resto de las regiones fluctuó entre 17.9 mm para Pantanos a 201.8 mm para Centro. Con anomalías que fluctuaron entre +10.2% para Centro, +1.1% para Pantanos y -12.1% para la región Sierra. Es importante señalar que las anomalías en la precipitación total anual observadas en el periodo de estudio, y las esperadas en los diferentes escenarios para los horizontes 2050 y 2100 concuerdan totalmente con los escenarios reportados para Tabasco por Conde y Gay (2008).

Conclusiones

A nivel regional, la precipitación tuvo decrementos significativos en la región Sierra e incrementos significativos en la región Centro; destacando la región de los Ríos que se ha incrementado significativamente la temperatura promedio en 2.1 °C. En la región Chontalpa y Centro las noches son más calientes que los días, con decrementos en la oscilación térmica de 0.6 y 1.1 °C respectivamente. En cambio, en la región Sierra, Pantanos y de los Ríos, los días son más calientes que las noches, con incrementos en la oscilación térmica de 0.8, 1.3 y 3.3 °C respectivamente.

A nivel estatal, hubo un incremento en la precipitación total promedio anual de 0.5% con fluctuaciones entre regiones del estado de -12.1% a +10.2%, y la oscilación térmica promedio anual tiene un comportamiento periódico, con una tendencia neta total positiva. Mostrando que en el estado de Tabasco, en promedio, los días se han venido calentando más que las noches en 0.6 °C. Estos resultados con datos observados a nivel local, contradicen lo esperado por los modelos utilizados por el IPCC, que afirman que el calentamiento global es ocasionado principalmente por incrementos en las temperaturas nocturnas.

temperature range has a periodic behavior with a positive total net trend. Showing that in the state of Tabasco, on average, the days have been warming more than nights in 0.6 °C. These results at local level, with observed data contradict the expected by the models used by the IPCC, who claim that global warming is caused mainly by increases in night temperatures.

End of the English version



Literatura citada

- Arriaga, L. y Gómez, L. 2005. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. (En línea). Disponible en: www.inec.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/arriaga.html.
- Attipalli, R. R.; Girish, K. R. and Agepati, S. R. 2010. The impact of global elevated CO₂ concentration on photosynthesis and plant productivity. *Current Sci.* 99(1):46-57.
- Conde, A. A. C. y Gay, G. C. 2008. Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. 104 p.
- Hatfield, J. L.; Boote, K. J.; Kimball, B. A.; Ziska, L. H.; Izaurralde, R. C.; Ort, D.; Thomson, A. M. and Wolfe, D. 2011. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agron. J.* 103:351-370.
- IMTA. 2013. ERIC III. Extractor Rápido de Información Climatológica v.3.2.
- INEGI. 2015. Síntesis Geográfica del Estado de Tabasco. (En línea). Disponible en: www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers. Stocker, F. T.; Qin, D.; Plattner, K. G.; Tignor, M. B. M.; Allen, K. S.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V. and Midgley, M. P. (Eds.). Switzerland. 27 p.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Panel on Climate Change. Solomon, M., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA. 23 p.
- Ojeda, B. W.; Sifuentes, I. E.; Íñiguez, C. M. y Montero, M. M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia.* 45:1-11.
- Orozco, R. G.; Durán, P.N.; González, E. D. R.; Zarazúa, V. P.; Ramírez O. G. y Mena, M. S. 2014. Proyecciones de cambio climático y potencial productivo para *Salvia hispanica* L. en las zonas agrícolas de México. *Rev. Mex. de Cienc. Agríc.* (10):1831-1842.
- Ramírez-Ojeda, G.; Ruiz-Corral, J. A.; Pérez-Mendoza, C.; Villavicencio-García, R.; Munguía, S. M. y Durán-Puga, N. 2014. Impactos del cambio climático en la distribución geográfica de *Gossypium hirsutum* L. en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* (10):1885-1895.

- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Ramírez, D. J. L.; Flores, L. H. E.; Ramírez, O. G.; Manríquez, O. J. D.; Zarazúa, V. P.; González, E. D. R.; Díaz, P. G. y de la Mora, O. C. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(2):309-323.
- Ruiz, C. J. A.; Ramírez, D. J. L.; Flores, M. F. J. y Sánchez, G. J. J. 2000a. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Fitotecnia.* 23(2):169-181.
- SERNAPAM. 2011. Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco. 213 pp. (En línea). Disponible en: www.colpos.mx/tabasco/vinculacion/portal%20libros%20cambio%20climatico.pdf.
- Topete, A. J. P.; Ruiz C. J. A.; Ron P. J.; González E. D. R.; Ramírez O. G. y Durán P. N. 2014. Utilizando el modelo Newhall para representar el impacto real del cambio climático en la humedad de suelo en Jalisco, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* (10):1859-1870.
- Zarazúa, V. P.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R.; Flores, L. H. E. y Ron, P. J. 2011. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(2):351-363.
- Woodhouse, C. A.; Meko, D. M.; MacDonald, G. M.; Stahle, D. W. and Cook, E. R. A. 2010. 1,200-year perspective of 21st century drought in southwestern North America. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 107:21283-21288.