

Índices de cambio climático en el estado de Chiapas, México, en el periodo 1960-2009*

Climate change indices in the state of Chiapas, Mexico, for the period 1960-2009

Celia de la Mora Orozco^{1§}, José Ariel Ruíz Corral¹, Hugo Ernesto Flores López¹, Patricia Zarazúa Villaseñor², Gabriela Ramírez Ojeda¹, Guillermo Medina García, Víctor Manuel Rodríguez Moreno y Álvaro Agustín Chávez Durán¹

¹Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco- INIFAP. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Col. Rancho Las Cruces. Tepatitlán de Morelos, C. P. 47600. Tel: 01 800 0882222. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx; flores.hugo@inifap.gob.mx; ramirez.gabriela@inifap.gob.mx; chavez.alvaro@inifap.gob.mx). ²Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias- Universidad de Guadalajara, Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez 2100, poblado La Venta del Astillero, Zapopan, Jalisco. Tel: (33) 37 77 11 50 Ext. 33016. (pzarazua@cucba.udg.mx). ³Campo Experimental Zacatecas- INIFAP. Carretera Fresnillo-Zacatecas, km 24.5 Calera de Víctor Rosales. C. P. 98500. Tel: (478) 985 01 98. (medina.guillermo@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental Pabellón- INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5. Pabellón de Arteaga, C. P. 20660. Tel: (465) 958 01 67. (rodriguez.victor@inifap.gob.mx). [§]Autora para correspondencia: delamora.celia@inifap.gob.mx.

Resumen

En las últimas tres décadas los periodos cálidos han sido superiores a los valores promedio. Se determinó la tendencia de los índices climáticos basados en las temperaturas máximas mínimas y precipitación registradas en las estaciones meteorológicas en el estado de Chiapas, México, en el periodo de 1960 a 2009. Se utilizó la serie histórica de datos de 16 estaciones climatológicas distribuidas en el estado de Chiapas. Para la obtención de los índices climáticos, se utilizó el módulo RCLimDex. Los resultados mostraron que el número de estaciones con tendencia positiva significativa es mayor que el número de estaciones con tendencia negativa significativa, de las 16 estaciones climáticas analizadas y 8 índices, 42 combinaciones presentaron tendencia positiva significativa, mientras que sólo 18 presentaron tendencia negativa significativa. Se observó que 63% de las estaciones analizadas resultaron positivas significativas para temperatura máxima extrema (TXx), el 50% para rango diario de temperatura (DTR), el 44% para temperatura máxima más baja (TXn), el 38% para número de días con temperatura mínima menor que 20°C (TR20), 31% para temperatura mínima más alta (TNx), 25% para temperatura

Abstract

In the last three decades warm periods have been higher than the average values. The trend of climate indices based on the minimum and maximum temperature and precipitation recorded at meteorological stations in the state of Chiapas, Mexico, in the period from 1960 to 2009 were determined. The time series data from 16 weather stations distributed through Chiapas were used. To obtain climatic indices, the RCLimDex module was used. The results showed that the number of stations with significant positive trend is higher than the number of stations with significant negative trend, from the 16 weather stations analyzed and 8 indices, 42 combinations had significant positive trend, while 18 had significant negative trend. It was observed that 63% of the stations analyzed were significant positive for extreme maximum temperature (TXx), 50% for diurnal temperature range (DTR), 44% for lower maximum temperature (TXn), 38% for number of days with minimum temperature below 20 °C (TR20), 31% for higher minimum temperature (TNx), 25% for extreme minimum temperature (TNn) and only 6% for number of days with maximum temperature above 25 ° C (SU25) and number of consecutive days without rain

* Recibido: noviembre de 2015
Aceptado: febrero de 2016

mínima extrema (TNn) y sólo el 6% para número de días con temperatura máxima mayor que 25 °C (SU25) y número de días consecutivos sin lluvia (CDD) respectivamente. En el mapeo de los resultados no se observaron tendencias en alguna zona específica del estado. Todos los índices basados en la temperatura mostraron patrones de comportamiento similar y consistente con tendencia general al calentamiento: Estos hallazgos son consistentes con estudios previos en la región y en otras partes del mundo.

Palabras clave: cambio climático, Chiapas, tendencia, temperatura.

Introducción

El cambio climático es uno de los problemas de mayor actualidad en todo el mundo. Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), en los últimos 100 años la temperatura global se ha incrementado 0.74 °C aproximadamente. Yu *et al.* (2015) mencionan que en los últimos 30 años los periodos de calor fueron superiores a los promedio, como resultado se espera que la frecuencia y la intensidad de las temperaturas extremas aumente. El impacto de los climas extremos se manifiesta en gran medida en los desastres naturales como las inundaciones, las ondas de calor y el fuego.

Este impacto sucede regularmente cuando los climas extremos se presentan con cierta regularidad e intensidad, ocasionando desastres ecológicos y afectando de manera negativa a la sociedad (Degeffie *et al.*, 2014). Una de las principales causas del aumento de la temperatura promedio en el planeta es la emisión de los gases efecto invernadero a partir de las actividades humanas (IPCC, 2007). El calentamiento de los océanos, el incremento de la temperatura continental, la temperatura extrema y los patrones de comportamiento de los vientos son influenciados por este fenómeno y puede resultar en extremos sin precedente del clima (IPCC, 2012).

Por otro lado, los procesos biogeoquímicos como el caso del ciclo del carbón y el nitrógeno pueden ser controlados por las ondas de calor, lo cual puede modificar la función de estos procesos afectando el ecosistema (Degeffie *et al.* 2014). Arnone *et al.* (2008) observaron que el aumento en la frecuencia de años cálidos, disminuye la captación del CO₂ del ecosistema terrestre. Estudios en diversas partes

(CDD) respectivamente. In mapping the results no trends were observed in any specific area of the state. All indices based on temperature showed similar behavior patterns and consistent with overall warming trend: These findings are consistent with previous studies in the region and elsewhere.

Keywords: climate change, Chiapas, temperature, trend.

Introduction

Climate change is one of the most topical problems worldwide. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), in the past 100 years the global temperature has increased by 0.74 °C. Yu *et al.* (2015) mention that in the last 30 years the warm periods were higher than the average, as a result it is expected that the frequency and intensity of extreme temperatures increase. The impact of extreme weather occurs largely in natural disasters such as flooding, heat waves and fire.

This impact happens regularly when extreme weather occurs with some regularity and intensity, causing ecological disasters and negatively affecting society (Degeffie *et al.*, 2014). One of the main causes of the increase in average temperature on the planet is the emission of greenhouse gases from human activities (IPCC, 2007). The ocean warming, increased continental temperatures, extreme temperature and behavior patterns of the winds are influenced by this phenomenon and can result in unprecedented extreme climate (IPCC, 2012).

Furthermore, the biogeochemical processes as the case of carbon and nitrogen cycle can be controlled by heat waves, which can change the function of these processes affecting the ecosystem (Degeffie *et al.*, 2014). Arnone *et al.* (2008) observed that the increase in the frequency of warm years decreased CO₂ uptake from terrestrial ecosystem. Studies in different parts of the world using simulation models related to weather events, confirm the trend of more frequent and severe extreme events in the future (Schar *et al.*, 2004; Meehl *et al.*, 2005; Tebaldi *et al.*, 2006; Koutroulis *et al.*, 2013). Other recent studies report a decrease in the frequency of extreme cold and increase of temperature both day and night (Acquaotta *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013).

It is also reported that in the last 50 years has decreased the number of cold nights and the number of warm nights is increasing in 70% of the planet (Alexander *et al.*, 2006).

del mundo utilizando modelos de simulación relacionados con eventos climatológicos, confirman la tendencia de eventos extremos más frecuentes y severos en el futuro (Schar *et al.*, 2004; Meehl *et al.*, 2005; Tebaldi *et al.*, 2006; Koutroulis *et al.*, 2013). Otros estudios recientes mencionan la disminución en la frecuencia de extremos fríos y el incremento de la temperatura tanto diurna como nocturna (Acquaotta *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013).

También se reporta que en los últimos 50 años ha disminuido el número de noches frías y el número de noches cálidas va en aumento en 70% del planeta (Alexander *et al.* 2006). En los Estados Unidos de Norteamérica, Griffiths y Bradley (2007) estudiaron los indicadores de cambios en las condiciones extremas del clima en la región Noreste, donde notaron tendencia al incremento de las ondas cálidas. Por otro lado, el IPCC (2007) mencionó la vulnerabilidad de México ante el cambio climático, remarcando que en el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos de América, el problema de la escasez de agua se puede exacerbar debido al incremento en la temperatura y la reducción de la precipitación (Cavazos y Arriaga-Ramírez, 2012). De acuerdo con Magaña *et al.* (2012) las regiones con mayor riesgo de incremento de temperatura promedio anual se espera que ocurran en la región noreste y noroeste de México (Magaña *et al.*, 2012).

Sin embargo, diversos estudios sobre las temperaturas extremas en México, mencionan que después de 1970, se presentó un incremento significativo en la temperatura máxima en comparación con las temperaturas mínimas, especialmente en la regiones noroeste y central de México, lo cual mostró tendencias contrastantes con respecto al resto del país (Englehart y Douglas 2005; Pavía *et al.* 2008; Gutierrez-Ruacho *et al.*, 2010).

Estudios realizados por Peralta-Hernández *et al.* (2009) en el sureste de México, mostraron tendencia significativa en el incremento de las temperaturas máximas en la región, así como en la frecuencia de días cálidos. A pesar de la importancia de esta temática, no existe información sobre las tendencias de los índices de cambio climático en el estado de Chiapas. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar las tendencias de los índices climáticos, basados en las temperaturas máximas, temperaturas mínimas y precipitación registradas en las estaciones meteorológicas del estado de Chiapas, en el periodo de 1960 a 2009.

In the United States, Griffiths and Bradley (2007) studied the indicators of changes in extreme weather conditions in the Northeast region, noticing an increasing trend of heat waves. Furthermore, the IPCC (2007) mentioned Mexico's vulnerability to climate change, noting that in northwest Mexico and southwest United States, the problem of water scarcity may be exacerbated due to increased temperature and reduced precipitation (Cavazos and Arriaga-Ramirez, 2012). According to Magaña *et al.* (2012) regions with greatest risk of increased average annual temperature are expected to occur in northeastern and northwestern Mexico (Magaña *et al.*, 2012).

However, several studies on extreme temperatures in Mexico, mentioned that after 1970, there was a significant increase in the maximum temperature compared to minimum temperatures, especially in Northwest and Central regions of Mexico, which showed contrasting trends regarding the rest of the country (Englehart and Douglas, 2005; Pavia *et al.*, 2008; Gutierrez-Ruacho *et al.*, 2010).

Studies made by Peralta-Hernández *et al.* (2009) in southeastern Mexico, showed significant trend in the increase of the maximum temperatures in the region, as well as in the frequency of warm days. Despite the importance of this issue, there is no information on trends from climate change in indices in the state of Chiapas. Therefore, the objective of this study was to determine the trends of climate indices, based on maximum temperature, minimum temperature and precipitation recorded in the meteorological stations in the state of Chiapas, for the period 1960-2009.

Materials and methods

Description of the study area

The state of Chiapas is located south of Mexico, bordered to the north by Tabasco, to the south by the Pacific Ocean, on the east by the Republic of Guatemala and to the west by the states of Oaxaca and Veracruz (Figure 1). It is located between 14° 39' and 17° 57' north latitude and 90° 22' and 94° 08' west longitude, its geography is variable, has high mountains, plateaus, mountains, hills, valleys and coasts. The altitude in the state of Chiapas ranges from 0 m on the border with the sea, to a little more than 4 000 m in the Tacana Volcano. The climatic types of largest land area are warm tropical and warm humid tropical, but are

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

El estado de Chiapas se localiza al sur de la República Mexicana, limita al norte con el estado de Tabasco, al sur con el Océano Pacífico, al este con la República de Guatemala y al oeste con los estados de Oaxaca y Veracruz (Figura 1). Se localiza entre los 14° 39' y 17° 57' de latitud norte y 90° 22' y 94° 08' de longitud oeste, su geografía es variable, cuenta con altas sierras, altiplanicies, montañas, colinas, valles y costas. La altitud en el estado de Chiapas va desde los 0 m en los límites con el mar, hasta un poco más de 4 000 m en el Volcán Tacaná. Los tipos climáticos de mayor extensión territorial son el tropical húmedo cálido y el tropical subhúmedo cálido, aunque también están representadas otras variantes climáticas como el subtropical subhúmedo templado y el subtropical húmedo semicálido, entre otros (Medina *et al.*, 1998).

Para este trabajo se utilizó la información de 16 estaciones climáticas, distribuidas en el estado de Chiapas, con registros de los años 1960 a 2009. Para el análisis de la información se consideraron los siguientes criterios: 30 años o más de información; 95% o más de datos; eliminación de año con 3 meses o más sin datos; eliminación de estaciones con varios años consecutivos sin datos. En la Figura 2 se muestra la localización de las estaciones climáticas de las cuales se analizó la información.

Calidad y homogeneidad de las series

A los datos se les aplicó un control de calidad, utilizando el módulo RClimDex v. 1.0, ejecutado en R v. 3.0.1. Con el uso de este módulo, se realizó la corrección y eliminación de los datos después de compararlos con los valores de estaciones cercanas en las mismas fechas (Zhang y Feng, 2004; Klein-Tank *et al.*, 2009). También se realizó un análisis de homogeneidad y la detección de rupturas en las series de los índices analizados de acuerdo a Wang (2008), se utilizó la prueba de F de máxima penalización utilizando el módulo RHTest v. 3.0 para cambios en la media en datos no documentados (Wang y Feng, 2010). En el RHTest se realizó también el proceso de homogeneización de la serie de datos con ajuste por cuantiles (QM), en los casos donde los datos no resultaron homogéneos (Wang *et al.*, 2010). Una vez aplicado los análisis de calidad a la serie de datos, se realizó un análisis de estadística descriptiva para determinar anomalías en las variables térmicas y

also represented other climatic variations such as humid subtropical temperate and semi-warm humid subtropical, among others (Medina *et al.*, 1998).



Figura 1. Localización del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

For this study the information from 16 weather stations spread across the state of Chiapas, with records for the years 1960 to 2009 were used. For data analysis considered the following criteria: 30 years or more of information; 95% or more data; removal of years with 3 months or more without data; removal of weather stations with several consecutive years without data. Figure 2 shows the location of weather stations from which information was analyzed.

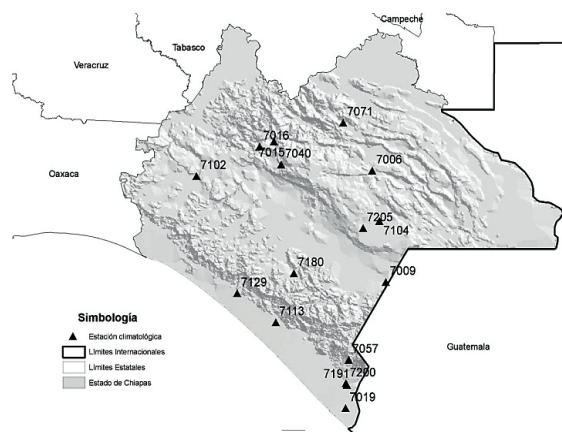


Figura 2. Localización de las estaciones climatológicas estudiadas.

Figure 2. Location of the weather stations studied.

Quality and homogeneity of series

Data was subjected to quality control, using the RClimDex v. 1.0 module, implemented in R v. 3.0.1. Using this module, correction and deletion of data was made after comparing

de precipitación utilizando los valores de las normales climáticas de acuerdo a los criterios establecidos por la OMM en un periodo de 50 años.

Determinación de los índices climáticos. Para este documento se seleccionaron 8 de los 27 índices climáticos establecidos por el equipo de expertos para la detección, monitoreo e índices de cambio climático” (ETCCDMI) (Vázquez, 2010; Zhang *et al.*, 2011). Los índices climáticos seleccionados fueron los relacionados con la temperatura y la precipitación (Cuadro 1). Los índices fueron obtenidos mediante el módulo RClmDex desarrollado por el Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá y ejecutado en el software R versión 3.0.1 (Zhang y Feng, 2004). El RClmDex proporciona datos en base mensual o anual, los umbrales de temperatura fueron los siguientes; 25 °C para temperatura máxima diaria y 20 °C como umbral superior de temperatura mínima diaria. Después de la obtención de los índices, se procedió a realizar un análisis de correlación con los valores de las pendientes en las tendencias de cada índice para las 16 estaciones climáticas analizadas, ya que se consideró que estos son valores del mismo tipo para todas las variables, por lo que no fueron estandarizadas. Para evaluar la tendencia de estos índices climáticos en el estado de Chiapas, se promediaron los valores de cada índice para todas las estaciones, obteniendo los valores anuales. Con estos valores se elaboraron gráficas de tendencia para los 8 índices utilizando la media móvil de 4 años.

them with the values of neighboring stations on the same dates (Klein-Tank *et al.*, 2009; Zhang and Feng, 2004). Homogeneity analysis and ruptures detection in the series of analyzed indices was made according to Wang (2008); F test maximum penalty using the RHTest v. 3.0 module for changes in undocumented data averages (Feng and Wang, 2010). In RHTest the homogenization process of the data series was also conducted with settings per quantile (QM), in cases where the data were not homogeneous (Wang *et al.*, 2010). Once applied the quality analysis to data series, an analysis of descriptive statistics was performed to determine abnormalities in thermal and precipitation variables using the normal climatic values according to the criteria established by WMO in a 50 years period.

Determination of climatic indices. For this document 8 out of 27 climate indices established by the “expert team on climate change detection and indices” (ETCCDI) were selected (Vázquez, 2010; Zhang *et al.*, 2011). The selected climate indices were those related to temperature and precipitation (Table 1). The indices were obtained from the RClmDex module developed by the Climate Research Department from the Meteorological Service of Canada and implemented in R version 3.0.1 (Zhang and Feng, 2004). The RClmDex provides data on monthly or yearly basis, temperature thresholds were as follows; 25 °C for maximum daily temperature and 20 °C as higher daily minimum temperature threshold. After obtaining the indices, it proceeded to perform a correlation analysis with the

Cuadro 1. Índices climáticos analizados en el estado de Chiapas en el periodo de 1960-2009.

Table 1. Climate indices analyzed for the state of Chiapas in the period 1960-2009.

Índice	Descripción	Clave en Rclimdex v. 1.0 (Zahang y Feng, 2004)	Unidad
Días de verano	Número de días con $T_{\text{máx}} > 25\text{ °C}$	SU25	Días
Noches tropicales	Número de días con $T_{\text{min}} > 20\text{ °C}$	TR20	Días
Temperatura máxima extrema	Temperatura máxima más alta mensual y anual	TXx	°C
Temperatura máxima más baja	Temperatura máxima más baja mensual y anual	TXn	°C
Temperatura mínima más alta	Temperatura mínima más alta mensual y anual	TNx	°C
Temperatura mínima extrema	Temperatura mínima más baja mensual y anual	TNn	°C
Rango diurno de temperatura	Promedio de las diferencias entre T_x y T_i mensual y anual	DTR	°C
Días consecutivos sin lluvia	Número de días consecutivos sin lluvia o lluvia $< 1\text{ mm}$	CDD	Días

Mapeo de resultados

Se realizaron mapas con la distribución espacial de los resultados utilizando el software ArcGis 9.3.

Resultados y discusión

Los resultados del número de estaciones que presentaron tendencias positivas y negativas con nivel de significancia se muestran en el Cuadro 2. Como se puede observar, de las 16 estaciones analizadas 63% resultaron positivas significativas para la temperatura máxima extrema, 50% para rango diurno de temperatura, el 44% para temperatura máxima más baja, 38% para noches tropicales, 31% para temperatura mínima más alta, 25% para temperatura mínima extrema y sólo el 6% para días de verano y días consecutivos sin lluvia respectivamente. Finalmente el índice de días consecutivos sin lluvia o CDD, sólo presentó una estación climática con tendencia positiva significativa, lo cual representa 6% del total de estaciones analizadas. Sin embargo, los días sin lluvia o con lluvia <1mm en el estado de Chiapas son en promedio 63 días, lo que significa que la mayor parte del año (302 días) se presentaron lluvias por encima de >1mm, en el periodo de tiempo estudiado.

Cuadro 2. Número de estaciones climáticas que presentaron tendencia positiva, tendencia negativa, tendencia positiva significativa y tendencia negativa significativa.

Table 2. Number of weather stations showing positive trend, negative trend, significant positive trend and significant negative trend.

Tendencia	SU25	TR20	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	CDD
+	2	4	3	5	5	7	3	7
-	11	2	2	2	1	4	2	8
+*	1	6	10	7	5	4	8	1
-*	2	4	1	2	5	1	3	0
total	16	16	16	16	16	16	16	16

(+) tendencia de incremento; (-) tendencia de disminución; (*) significancia $p \leq 0.05$.

También en el Cuadro 2, se observa que el número de estaciones con tendencia positiva significativa es mayor que la tendencia negativa significativa, de las 16 estaciones climáticas analizadas y 8 índices, 42 combinaciones presentaron tendencia positiva significativa, mientras que sólo 18 presentaron tendencia negativa significativa. Los índices climáticos que presentaron el mayor número de estaciones con tendencia significativa corresponden a la

slope values of the trends of each index for the 16 weather stations analyzed, since it was considered that these are values of the same type for all variables, therefore were not standardized. To evaluate the tendency of these climate indices in the state of Chiapas, the values of each index for all weather stations were averaged, obtaining annual values. With these values were developed trend charts for the 8 indices using a four years moving average.

Mapping results

Maps showing the spatial distribution of the results using the ArcGIS 9.3 software were made.

Results and discussion

The results from the number of stations showing positive and negative trends with significance level are shown in Table 2. As can be seen, from 16 stations analyzed 63% resulted positive significant to extreme maximum temperature, 50% for diurnal temperature range, 44% for lower maximum temperature, 38% for tropical nights, 31% for higher temperature minimum, 25% for extreme minimum temperature and only 6% for summer days and

consecutive days without rain respectively. Finally the consecutive days without rain or CDD index, presented one weather station with significant positive trend, which represents 6% of all analyzed stations. However, the days without rain or with rain <1 mm in the state of Chiapas are on average 63 days, meaning that most of the year (302 days) there were rains above > 1 mm in the period under study.

temperatura máxima extrema o TXx con 10 estaciones, rango diurno de temperatura o DTR con 8 estaciones y la temperatura máxima más baja o TXn con 7 estaciones.

Estos resultados son similares a los reportados por Peralta-Hernández *et al.* (2009) en el sureste de México, que mostrando tendencias significativas en el aumento de la temperatura máxima y la frecuencia de días cálidos. Por otro lado, los resultados coinciden también con los encontrados por Zarazúa *et al.* (2014), que menciona un incremento significativo en el índice frecuencia de noches cálidas en las últimas décadas para la región llanuras costeras del Golfo de México que incluye los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche. Respecto a los índices climáticos noches tropicales y días de verano, en el periodo estudiado se observó que en el estado de Chiapas se tienen días de verano casi todo el año (98% del año), mientras que las noches tropicales se presentan en menor cantidad (77% del año).

Por otro lado, los resultados encontrados en esta investigación concuerdan con los reportados por Yu y Li (2015), ya que estos autores manifestaron tendencias positivas significativas en la mayoría de las estaciones que fueron analizadas tomando en cuenta los índices días de verano y noches tropicales así como TNn y TNx durante el periodo de 1960-2011 en el noreste de China. Sin embargo, es importante mencionar que el número de estaciones y la escala que ellos utilizaron fueron mayores a la estudiada en este trabajo, lo cual puede representar diferencias importantes al incluir la información de un mayor número de estaciones climáticas.

Los promedios y la desviación estándar obtenidos de los diferentes índices climáticos analizados, se presentan en el Cuadro 4.

En la Figura 3 se muestra la tendencia de cada índice climático analizado, utilizando la media móvil de 4 años. Se puede observar que los índices presentaron comportamientos diferentes, por ejemplo para el índice días de verano que se presenta en la Figura 3a se puede observar tendencia al incremento con marcadas oscilaciones, presentando picos más pronunciados tanto de incremento como de disminución, en general se observaron variaciones anuales con tendencia al incremento a partir del año 2008. Sin embargo, la diferencia entre 1960 y 2009 fue de sólo 3 días, siendo 1976 el año con el promedio más bajo con 354 días y 2009 el más alto con 363 días. En la Figura 3b se presenta la tendencia de frecuencia de días de verano, se puede observar ligera tendencia al incremento, los resultados mostraron que el promedio más

Also in Table 2, it is observed that the number of stations with significant positive trend is higher than the significant negative trend, of the 16 weather stations analyzed and 8 indices, 42 combinations showed significant positive trend, while 18 had significant negative trend. Climate indices that showed the highest number of weather stations with a significant trend correspond to the maximum extreme temperature or TXx with 10 stations, diurnal temperature range or DTR with 8 stations and the lowest maximum temperature TXn with 7 stations.

These results are similar to those reported by Peralta-Hernández *et al.* (2009) in southeastern Mexico, showing significant trends in increasing the maximum temperature and frequency of hot days. On the other hand, the results also agree with those found by Zarazúa *et al.* (2014), who mention a significant increase in the frequency of warmer night index in the last decades for the coastal plains of the Gulf of Mexico which includes the states of Veracruz, Tabasco and Campeche. Regarding climate tropical nights and summer days indices, in the period under study was observed that in the state of Chiapas there are summer days almost all year (98% of the year), while tropical nights occur less (77% of year).

Furthermore, the results found in this research are consistent with those reported by Yu and Li (2015), as these authors demonstrated significant positive trends in most of the stations analyzed taking into account the summer days and tropical night indices, thus TNn and TNx during the period 1960-2011 in northeast China. However, it is noteworthy that the number of stations and the scale they used were higher than the ones studied in this work, which can represent significant differences by including information from a greater number of weather stations.

The mean and standard deviation obtained from the different climate indices are presented in Table 4.

Cuadro 4. Valores promedio y desviación estándar de los índices climáticos analizados.

Table 4. Average values and standard deviation of climatic indices analyzed.

Índice	
Días de verano (días)	357.5 ± 1.5
Noches tropicales (días)	281.8 ± 14.5
Temperatura máxima extrema (°C)	36.5 ± 0.9
Temperatura máxima más baja (°C)	20.6 ± 1.1
Temperatura mínima más alta (°C)	21.5 ± 1.1
Temperatura mínima extrema (°C)	8.9 ± 1.2
Rango diurno de temperatura (°C)	13.1 ± 0.6
Días consecutivos sin lluvia (días)	62.7 ± 8.2

alto se registró en 1994 con 310 días, mientras que el más bajo fue en 1968 con 250 días. Los resultados encontrados en esta investigación coinciden con lo reportado por Wang *et al.* (2013), estos autores encontraron tendencia positiva significativa para días de verano y noches tropicales en 53 y 46% de las estaciones analizadas en el periodo de 1960-2010, en la región árida de China, reportando además que la magnitud de la tendencia regional fue de 1.96 y 1.59 días/década.

Figure 3 shows the trend of each climate index analyzed, using the four year moving average. It can be seen that the indexes showed different behaviors, for example for summer days index presented in Figure 3a showing an increasing trend with marked oscillations, presenting more pronounced peak values both increase and decrease, generally observing annual variations with a tendency to increase from 2008. However, the difference between 1960 and 2009 was 3 days,

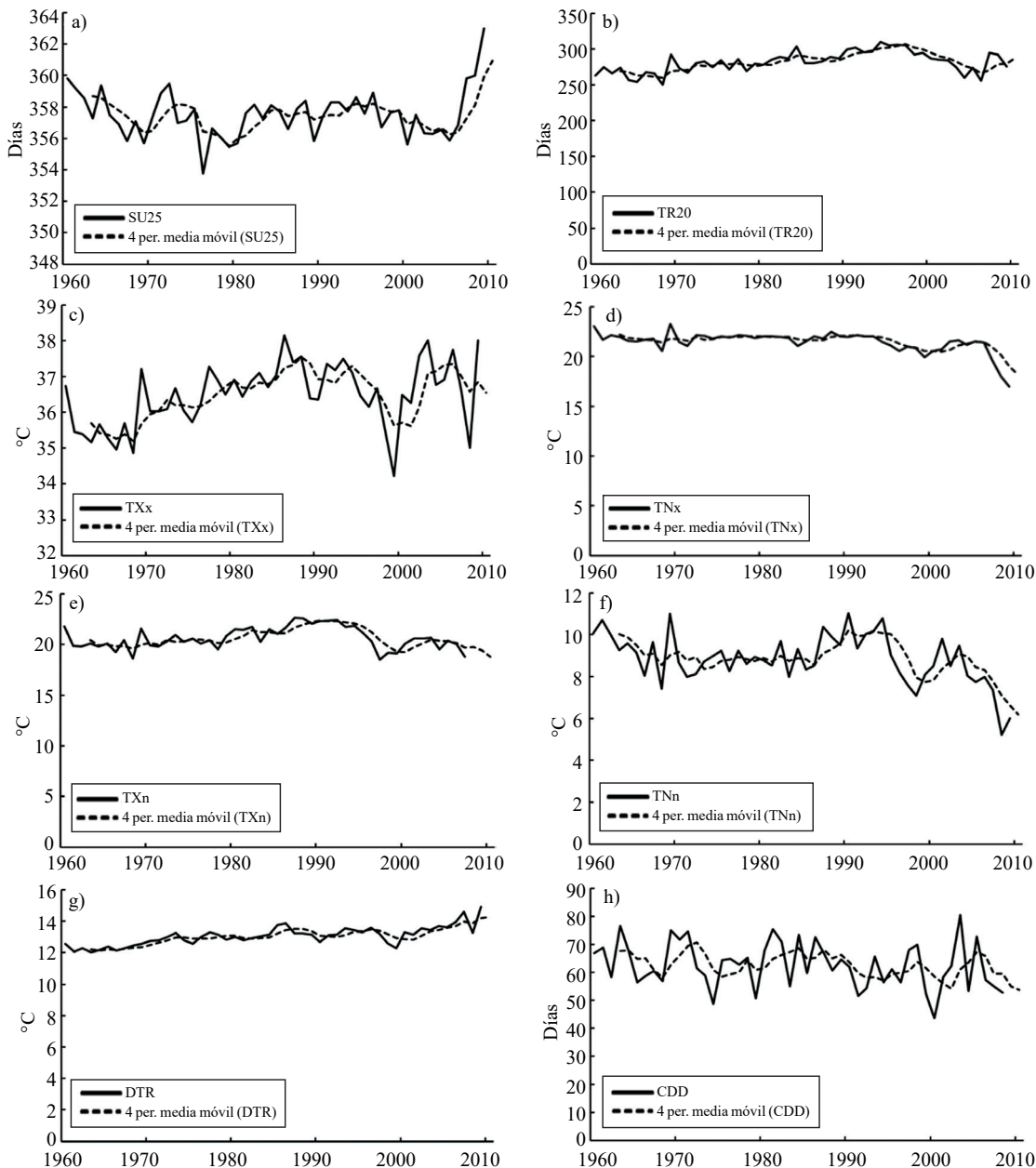


Figura 3. Tendencia de los índices climáticos, a) días de verano; b) noches tropicales; c) temperatura máxima extrema; d) temperatura mínima más alta; e) temperatura máxima más baja; f) temperatura mínima extrema; g) rango diario de temperatura; y h) días consecutivos sin lluvia.

Figure 3. Trend of climate indices, a) summer days; b) tropical nights; c) maximum extreme temperature; d) higher minimum temperature; e) lower maximum temperature; f) minimum temperature extreme; g) diurnal temperature range; and h) consecutive days without rain.

La tendencia de la temperatura máxima extrema o TXx se presenta en la Figura 3c, el valor más alto se presentó en 3 diferentes años, 1986, 2003 y 2009 con valores de 38 °C y el más bajo en 1999 con 34 °C, con una diferencia de 4 °C. En la Figura 3c también se pueden observar oscilaciones en los promedios de la temperatura pero con clara tendencia al incremento. La tendencia de la temperatura mínima más alta (TNx) se observa en la Figura 3d, donde se puede observar poca variabilidad en los promedios en la serie de tiempo analizada, sin embargo es ligera la tendencia a disminuir. La temperatura más alta se registró en el año 1968 con 23 °C y la más baja en el año 2009 con 17 °C, con una diferencia de 6 °C entre el promedio más alto y el más bajo. Estos resultados coinciden con los reportados por Qiong *et al.* (2014) al analizar las estaciones localizadas en la región del Río Yangtze en China durante 1962-2011, donde se reportó que la mayoría de las estaciones presentó tendencia positiva significativa (66%) y un porcentaje menor con tendencia negativa significativa (15%) para la temperatura máxima extrema.

Respecto a la tendencia de la temperatura máxima más baja (TXn) ésta se presenta en la Figura 3e. Se puede observar que en el periodo de 1960-1980, este parámetro no presentó tendencia definida; sin embargo, de 1980 a 2000, se mostró un ligero incremento. En la década de 2000 a 2009 la tendencia se explicó similar a 1960-1980, disminuyendo. La temperatura más alta se registró en los años 1987 y 1988 con 23 °C, mientras la más baja fue en 1997 con 18 °C. Estos resultados no coinciden con los reportados por Qiong *et al.* (2014), ya que estos autores encontraron tendencias significativas al incremento para TXn en 94% de las estaciones analizadas en la región del Río Yangtze en China durante 1962-2011. La tendencia de la temperatura mínima extrema o TNn se presenta en la Figura 3f; se observó variabilidad en los datos con marcadas oscilaciones a lo largo de la serie de tiempo analizada, se pueden contemplar picos tanto de incremento de temperatura como de disminución de la misma. La temperatura más alta se presentó en los años 1969, 1990 y 1994 con valor de 11 °C, la temperatura más baja se observó en el año 2008 con 5 °C. En general se contempla tendencia a disminución de 1960 a 2009.

La tendencia del rango diurno de temperatura (DTR) a lo largo de la serie de tiempo analizada, se presenta en el Figura 3g. Se observó poca variabilidad a lo largo de los años, pero con clara tendencia al incremento, la temperatura más alta se registró en los años 2007 y 2009 con una temperatura de 15 °C, mientras que la más baja se presentó en los años 1961, 1963 y 1999 con temperatura de 12 °C. Estos resultados

being 1976 the year with the lowest average with 354 days and 2009 the highest with 363 days. Figure 3b presents the frequency trend of summer days, it can be observed a slight trend towards increase, the results showed that the highest average was recorded in 1994 with 310 days, while the lowest was in 1968 with 250 days. The results found in this study agree with those reported by Wang *et al.* (2013), these authors found significant positive trend for summer days and tropical nights on 53 and 46% of the stations analyzed in the period 1960-2010, in the arid region of China, reporting that the magnitude of the regional trend was 1.96 and 1.59 days/decade.

The tendency of extreme high temperature or TXx is shown in Figure 3c, the highest value was present in 3 different years, 1986, 2003 and 2009 with values of 38 °C and the lowest in 1999 with 34 °C, a difference of 4 °C. Figure 3c shows the oscillations in average temperature but with a clear trend towards increase. The trend of the highest minimum temperature (TNx) shown in Figure 3d, where it can be seen low variability in time series averages analyzed, however, there is a slight tendency to decrease. The highest temperature was recorded in 1968 with 23 °C and the lowest in 2009 with 17 °C, with a difference of 6 °C between the lowest and highest average. These results agree with those reported by Qiong *et al.* (2014) when analyzing the stations located in the region of the Yangtze River in China during 1962 to 2011, where it was reported that most of the stations showed significant positive trend (66%) and a lower percentage with significant negative trend (15%) for maximum extreme temperature.

Regarding the tendency of the lowest maximum temperature (TXn) shown in Figure 3e. It can be seen that in the period 1960-1980, this parameter did not present a defined trend; however, from 1980 to 2000, there was a slight increase. In the decade from 2000 to 2009 the trend was explained similarly to 1960-1980, decreasing. The highest temperature was recorded in 1987 and 1988 with 23 °C, while the lowest was in 1997 with 18 °C. These results do not agree with those reported by Qiong *et al.* (2014), as these authors found significant tendencies towards increase for TXn in 94% of the stations analyzed in the region of the Yangtze River in China during 1962-2011. The trend of extreme minimum temperature or TNn is shown in Figure 3f; variability in the data with marked oscillations along the time series analyzed was observed, peaks can be seen both temperature increase and decrease thereof.

no coinciden con los repostados por Wang *et al.* (2013), ya que este autor menciona que cerca de 75% de las estaciones analizadas presentaron tendencia significativa a disminuir el rango diario de temperatura en la zona árida de China. Sin embargo, mencionan la importancia de examinar la serie de datos de manera estacional en lugar de forma anual.

Por último, en la Figura 3h se puede observar la tendencia de la precipitación (CDD), los registros mostraron que el promedio más bajo para CDD se presentó en el año 2000 con 44 días, mientras que el más elevado se presentó en 2003 con 80 días. Se observaron oscilaciones tanto al incremento como a disminución de CDD, no se observaron tendencias marcadas, sólo ligera disminución, este resultado sin embargo coincide con lo reportado por Gimesi (2009), quien reportó que la precipitación presentó una ligera tendencia a disminuir de manera global en el Este de Europa; sin embargo, no observó una tendencia clara cuando analizó la serie de datos de manera anual y estacional. Asimismo, menciona que es notable como la precipitación disminuyó en el mes de junio, pero al mismo tiempo se incrementó en el mes de Julio en el periodo estudiado.

En la Figura 4 se presentan los 4 índices climáticos que obtuvieron el mayor número de estaciones con tendencia positiva significativa en el estado de Chiapas. Desafortunadamente en la región Este del estado de Chiapas no se contó con información suficiente de estaciones climáticas, de manera que no se realizó el cálculo de los índices. Sin embargo, considerando las estaciones tomadas en cuenta en este estudio, se observó que un gran número de estaciones presentó tendencia al aumento en la temperatura, es el caso de la temperatura máxima extrema y noches tropicales (Figura 4a y 4b). Aunque en menor escala, también los índices temperatura máxima más baja y rango diario de temperatura presentaron alrededor de 40% de las estaciones con tendencia positiva significativa. En general no se observaron tendencias marcadas por regiones, ya que las estaciones con tendencia positiva significativa se presentaron distribuidas en todo el estado.

Conclusiones

La mayoría de los índices analizados presentaron tendencia al incremento, siendo los más importantes la temperatura máxima extrema, rango diario de temperatura, temperatura

The highest temperature occurred in the years 1969, 1990 and 1994 with a value of 11 °C, the lowest temperature was observed in 2008 with 5 °C. Overall there is a trend towards decline from 1960 to 2009.

The diurnal temperature range (DTR) trend along the time series analyzed is shown in Figure 3g. Over the years little variability was observed, but with a clear tendency to increase, the highest temperature was recorded in 2007 and 2009 with a temperature of 15 °C, while the lowest was in 1961, 1963 and 1999 with temperature of 12 °C. These results do not agree with those reported by Wang *et al.* (2013), since this author mentions that about 75% of the stations analyzed showed significant trend to decrease the diurnal temperature range in the arid zone from China. However, mentions the importance of examining the data series seasonally instead of annually.

Finally, Figure 3h shows the precipitation trend (CDD), the records showed that the lowest average for CDD was in 2000 with 44 days, while the highest was in 2003 with 80 days. There were oscillations both to increase and decrease of CDD, no marked trends were observed, only slight decrease, however this result agrees with that reported by Gimesi (2009), reporting that precipitation showed a slight downward trend globally in Eastern Europe; however, did not observed a clear trend when analyzing the data series on annual or seasonal basis. Also, mentions that is worth noting how precipitation decreased in June, but at the same time increased in July in the period of study.

Figure 4 presents the 4 climate indices that obtained the highest number of stations with significant positive trend in the state of Chiapas. Unfortunately in the Eastern region of the state of Chiapas there was not enough information from the weather stations, so that the calculation of the indices was not performed. However, considering the stations taken into account in this study, it was observed that a large number of stations showed a tendency to increase in temperature, as in the case of the maximum temperature extreme and tropical nights (Figure 4a and 4b). Although on a smaller scale, the lower maximum temperature and diurnal temperature range indices had about 40% of the stations with significant positive trend. In general, there were no marked trends by region, since the stations with significant positive trend were present across the state.

máxima más baja, y noches tropicales. En el mapeo de los resultados no se observaron tendencias regionales. Todos los índices basados en la temperatura mostraron patrones de comportamientos similares y consistentes con tendencia general al calentamiento y estos hallazgos son consistentes con estudios previos en la región y en otras partes del mundo.

Literatura citada

- Acquaotta, F.; Fratianni, S. and Garzena, D. 2015. Temperature changes in the North Western Italian Alps from 1961 to 2010. *Theor Appl Climatol.* 122:619-634.
- Alexander, L. V.; Zhang, X. and Peterson, T. C. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research.* 111:1-22.
- Arnone, J. A.; Verburg, P. S. J.; Johnson, D. W.; Larsen, J. D.; Jasoni, R. L.; Lucchesi, A. J.; Batts, C. M.; Von-Nagy, C.; Coulombe, W. G.; Schorran, D. E.; Buck, P. E.; Braswell, B. H.; Coleman, J. S.; Sherry, R. A.; Wallace, L. L.; Luo, Y. and Schimel, D. S. 2008. Prolonged suppression of ecosystem carbon dioxide uptake after an anomalously warm year. *Nature* 455(7211):383-386.
- Cavazos, T. and Arriaga-Ramírez, S. 2012. Downscaled Climate Change Scenarios for Baja California and the North American Monsoon during the Twenty-First Century. *J. Climate.* 25(17):5904-5915.
- Degeffie, T.; Fleischer, E.; Klemm, O.; Soromotin, A. V.; Soromotina, O. V.; Tolstikov, A. V. and Abramov, N. V. 2014. Climate extremes in South Western Siberia: past and future. *Stoch Environ Res Risk Assess.* 28:2161-2173.
- Englehart, P. J. and Douglas, A. 2005. Changing behavior in the diurnal range of surface air temperatures over Mexico. *Geophys Res Lett.* 32:1-4.
- García-Cueto, O. R. and Santillán-Soto, N. 2012. Modeling extreme climate events: two case studies in Mexico. *In: Druyan, M. L. (Ed.). Climate models.* Intech Publishing, Croatia. 137-160 pp.
- García-Cueto, O. R.; Tejada-Martínez, A. and Bojórquez-Morales, G. 2009. Urbanization effects upon in the air temperature in Mexicali, Baja California, México. *Atmosfera* 22:349-365.
- Gimesi, L. 2009. Development of a visualization method suitable to present tendencies of changes in precipitation. *J. Hydrol.* 377:185-190.
- Griffiths, M. L. and Bradley, R. S. 2007. Variations of twentieth-century temperature and precipitation extreme indicators in the northeast United States. *J. Clim.* 20(21):5401-5417.
- Gutiérrez-Ruacho, O. G.; Brito-Castillo, L.; Díaz-Castro, S. and Watts, C. 2010. Trends in rainfall and extreme temperatures in northwestern Mexico. *Clim Res.* 42:133-142.
- Herrera, S. S. 2011. Cambio climático y comportamiento de elementos climáticos en Nuevo León, México. Dissertation, University of Nuevo León. 155 p.
- Field, C. B.; Barros, V.; Stocker, T. F.; Qin, D.; Dokken, D. J.; Ebi, K. L.; Mastrandrea, M. D.; Mach, K. J.; Plattner, G-K, Allen, S. K.; Tignor, M. and Midgley, P. M. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge. 582 p.

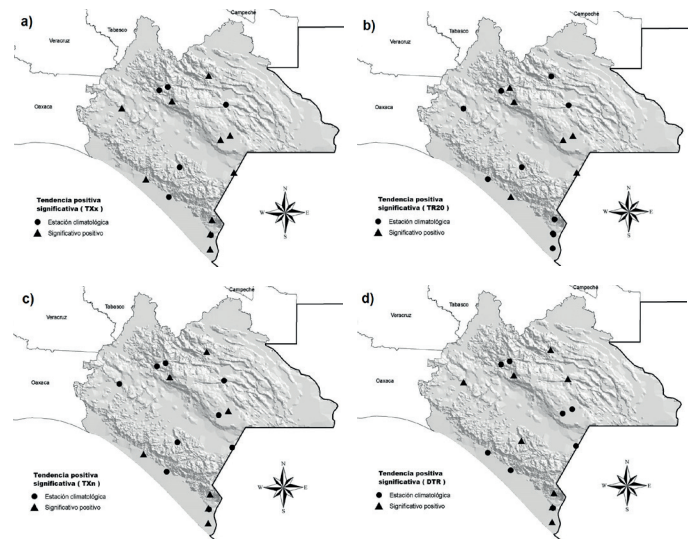


Figura 4. Distribución espacial de las estaciones que presentaron tendencia positiva significativa a) temperatura máxima extrema; b) rango diurno de temperatura; c) temperatura máxima más baja; y d) noches tropicales.

Figure 4. Spatial distribution of weather stations presenting significant positive trend: a) extreme maximum temperature; b) Diurnal temperature range; c) lower maximum temperature; and d) tropical nights.

Conclusions

Most of the indices analyzed showed tendency to increase, being the most important extreme maximum temperature, diurnal temperature range, lower maximum temperature and tropical nights. In mapping the results showed no regional trends. All indices based on temperature showed similar and consistent behavior patterns with overall tendency towards warming and these findings are consistent with previous studies in the region and elsewhere.

End of the English version



IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). Summary for policymakers of Climate Change, 2007. The physical science basis. *In: contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK. 102 p.

Koutroulis, A. G.; Tsanis, I. K.; Daliakopoulos, I. N. and Jacob, D. 2013. Impact of climate change on water resources status: a case study for Crete Island, Greece. *J. Hydrol.* 479: 146-158.

- Lata-Beharry, S.; Marcus-Clarke, R. and Kumarsingh, K. 2015. Variations in extreme temperature and precipitation for a Caribbean island: Trinidad. *Theor Appl Climatol.* 122:783-797.
- Magaña, V.; Zermeño, D. and Carolina, Neri, C. 2012. Climate change scenarios and potential impacts on water availability in northern Mexico climate research *Clim. Res.* 51:171-184.
- Medina, G. G.; Ruiz, C. J. A. y Martínez, P. R. A. 1998. Los climas de México: Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 103 p.
- Meehl, G. A.; Arblaster, J. M. and Tebaldi, C. 2005. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in a climate model simulations. *Geophysical Research Letters* 32, L18719. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL023680>.
- Pavía, E. G.; Graef, F. and Reyes, J. 2008. Annual and seasonal surface air temperature trends in México. *Int. J. Climatol.* 29:1324-1329.
- Peralta-Hernández, A. R.; Balling, R. C. and Barba-Martínez, L. R. 2009. Analysis of near-surface diurnal temperature variations and trends in southern Mexico. *Int. J. Climatol.* 29:205-209.
- Qiong, W.; Mingjun, Z.; Shengjie, W.; Qian, M. and Meiping, S. 2014. Changes in temperature extremes in the Yangtze River Basin, 1962-2011. *J. Geogr. Sci.* 24(1):59-75.
- Ríos-Alejandro, J. 2011. Temperaturas extremas en la ciudad de Monterrey N. L. México. *Rev. Chapingo.* 17:225-230.
- Schar, C.; Vidale, P. L.; Luthi, D.; Frei, C.; Haberli, C.; Liniger, M.A. and Appenzeller, C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427:332-336.
- Tebaldi, C.; Hayhoe, K.; Arblaster, J. M. and Meehl, G. A. 2006. Going to the extremes: an intercomparison model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change.* 79(3-4):185-211.
- Vázquez, A. J. L. 2010. Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología. México. 376 p.
- Vázquez-Aguirre, J. L.; Brunet, M. y Jones, P.D. 2008. Cambios observados en los extremos climáticos de temperatura y precipitación en el estado de Veracruz, México, a partir de datos diarios. *In: Sigró, R. J.; Brunet, I. M. y Aguilar, E. (Eds.). Cambio climático regional y sus impactos. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A. Núm. 6. Artyplan, Tarragona, España, 823 p.*
- Wang, H.; Chen, Y.; Chen, Z. and Li, W. 2013. Changes in annual and seasonal temperature extremes in the arid region of China, 1960-2010. *Nat Hazards* 65:1913-1930.
- Wang, X. L. 2008. Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change. *J. Atmospheric Oceanic Technol.* 25:368-384.
- Wang, X. L. and Feng, Y. 2010. Rhtests V3. User manual. climate research division. atmospheric science and technology directorate. Science and technology branch. Environment Canada. 27 p.
- Wang, X. L.; Chen, H.; Wu, Y.; Feng, Y. and Pu, Q. 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation data series. 2010. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 49:2416-2436.
- Weiss, J. L. and Overpeck, J. T. M. 2005. Is the Sonoran desert losing its cool? *Glob Chang Biol* 11:2065-2077.
- Yu, Z. and Li, X. 2015. Recent trends in daily temperature extremes over northeastern China (1960-2011). *Quaternary International* 380-381:35-48.
- Zarazúa-Villaseñor, P.; Ruiz-Corral, J. A.; Ramírez-Ojeda, G.; Medina-García, G.; Rodríguez-Moreno, V. M.; De la Mora-Orozco, C.; Flores-López, H. E. y Noé Durán-Puga, N. 2014. Índices de extremos térmicos en las Llanuras Costeras del Golfo Sur en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp.* (10):1843-1857.
- Zhang, X. and Feng, F. 2004. RCLimDex (1.0). Manual del usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J. L. CIIFEN. 22 p.
- Zhang, X.; Alexander, L.; Hegerl, G. C.; Jones, P.; Klein-Tank, A.; Peterson, T. C.; Trewin, B. and Zwiers, F. W. 2011. WIREs Clim Change. Doi: 10.1002/wcc.147.