

Índices de extremos térmicos en las Llanuras Costeras del Golfo Sur en México*

Indices of temperature extremes in the South Gulf Coastal Plains in Mexico

Patricia Zarazúa Villaseñor¹, José Ariel Ruiz Corral^{2§}, Gabriela Ramírez Ojeda², Guillermo Medina García³, Víctor Manuel Rodríguez Moreno⁴, Celia de la Mora Orozco⁵, Hugo Flores López⁵ y Noé Durán Puga⁶

¹Centro 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). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Región Pacífico-Centro, Interior Parque Los Colomos s/n II Sección, Colonia Providencia, Guadalajara, Jalisco. Tel. (33) 36 41 07 72. (arielcajeme@hotmail.com; ramirez.gabriela@inifap.gob.mx). ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Experimental Zacatecas, km 24.5 carretera Fresnillo-Zacatecas, Calera de Víctor Rosales. C. P. 98500. Tel. (478) 985 01 98. (medina.guillermo@inifap.gob.mx). ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5. Pabellón de Arteaga, C. P. 20660. Tel. (465) 958 01 67. (rodriguez.victor@inifap.gob.mx). ⁵Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Experimental Zacatecas. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Col. Rancho Las Cruces. Tepatitlán de Morelos, C. P. 47600. Tel. (378) 782 46 38. (delamora.celia@inifap.gob.mx; floreshugo2009@hotmail.com). ⁶Unidad Académica de Agricultura. Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela, km 9. Xalisco, Nayarit, México. C. P. 63780. (noeduranpuga@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: arielcajeme@hotmail.com.

Resumen

El cambio climático ya ampliamente estudiado, muestra incrementos en las temperaturas máximas y mínimas, pero también se indican incrementos en los extremos relacionados con las temperaturas máximas y mínimas diarias, lo que ha llevado a la necesidad de determinar el comportamiento de estos extremos a escala regional con la finalidad de que los tomadores de decisiones puedan desarrollar medidas de adaptación. El objetivo de este trabajo fue evaluar las tendencias de los índices climáticos de extremos meteorológicos basados en las temperaturas máxima y mínima diaria para la región Llanuras Costeras del Golfo Sur. Se contó con la base de datos de temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria de 31 estaciones climáticas localizadas en esta zona. Una vez que se realizó un análisis de la calidad de las series y homogeneización de las mismas, en los casos necesarios, se obtuvieron trece de los veintisiete índices de extremos establecidos por el Equipo de Expertos para la Detección, Monitoreo e Índices de Cambio Climático (ETCCDMI). Se aplicó un análisis de componentes

Abstract

Climate change is already widely studied, showing increases in maximum and minimum temperatures, but increases were also reported related to the extreme daily maximum and minimum temperatures, which has led to the need to determine the behaviour of these extremes at regional level in order that decision-makers can develop adaptation measurements. The aim of this study was to evaluate the tendencies of the climate indices of weather extremes based on the maximum and minimum daily temperatures for the South Gulf Coastal Plains region. Featuring the database of daily maximum temperature and daily minimum temperature of 31 weather stations located in this area. After making an analysis of the quality of the series and homogenizing on them when necessary, we obtained thirteen out of the twenty seven indices established by the Expert Panel on Detection, Monitoring and Indices of Climate Change (EPDMICC). We applied a principal component analysis and a cluster analysis. Regional tendencies of the significant climate variation indices of the area were obtained and finally an

* Recibido: marzo de 2014
Aceptado: septiembre de 2014

principales y análisis de agrupamiento. Se obtuvieron tendencias regionales de los índices más significativos en la variación climática de la zona y por último se realizó un análisis de estacionalidad de estos índices en la región. Los resultados muestran un incremento en varios de los índices de extremos siendo los más significativos la frecuencia de noches cálidas y frecuencia de días calurosos los cuales muestran mayor incremento durante las estaciones de verano y otoño.

Palabras clave: días calurosos, homogeneidad de series climáticas, Llanuras Costeras del Golfo Sur, México, noches cálidas, tendencia climática.

Introducción

En su Cuarto Reporte, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), establece un incremento cercano a los 0.6 ± 0.2 °C en la temperatura superficial a escala global (IPCC, 2007). Se tiene una gran cantidad de investigaciones referentes a los efectos del cambio climático a escala global, y algunos investigadores se han abocado a determinar el efecto a escala regional y local, generalmente al estudiar las variables climáticas de temperatura y precipitación diaria, comúnmente con valores promediados. Vázquez (2010), menciona que de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), una de las mayores consecuencias del cambio climático, es quizás el aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos.

Un evento meteorológico extremo puede ocurrir en un lapso de unos cuantos días, a diferencia de los eventos climáticos extremos que ocurren por períodos largos. Entre las definiciones de un evento extremo, se tiene que es aquel evento registrado en el comportamiento de una variable dada, que tiene baja probabilidad de ocurrencia y cuyo valor observado en dicha variable, excede un umbral especificado. Vincent *et al.* (2005), determinaron que los extremos de temperatura cambian para Suramérica, al encontrar que las noches más frías cambian a más cálidas y que las noches tropicales tienden al incremento. Gallant y Karoly (2010), por su parte mencionan que en Australia se ha incrementado la duración de extremos cálidos y húmedos, mientras la duración de extremos frescos y secos ha disminuido.

Sensoy *et al.* (2013), concluyeron que para Turquía los extremos como días de verano, noches tropicales y noches cálidas se han incrementado, mientras noches y días

analysis of stationality of these indices was performed in the region. The results show an increase in several of the extreme indices, being the most significant, the frequency of warm nights and hot days frequency which show higher increase during summer and autumn.

Keywords: climate trend, Mexico, South Gulf Coastal Plains, uniformity of climatic series, warm days, warm nights.

Introduction

In its Fourth Report, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) provides an increase of close to 0.6 ± 0.2 °C in global surface temperature (IPCC, 2007). There is a lot of research on the effects of climate change on a global scale, and some researchers have focused on determining the effect on regional and local scale, usually to study the climatic variables of temperature and daily precipitation, usually with average values. Vázquez (2010) mentioned that according to the World Meteorological Organization (WMO), one of the major consequences of climate change is perhaps the increased frequency of extreme weather events.

An extreme weather event may occur within a few days, unlike the extreme weather events that occur for long periods. Among the definitions of extreme event, is understood as that event registered with the behaviour of a given variable, which has a low probability of occurrence and the value observed in that variable exceeds at a specified threshold. Vincent *et al.* (2005) determined that, the extremes of temperature change for South America, when find that the change to colder nights and warmer tropical nights tend to increase. Gallant and Karoly (2010) mentioned that in Australia, the duration of extremes hot and humid have increased, while the duration of fresh and dry extremes have decreased.

Sensoy *et al.* (2013) concluded that for Turkey, the extremes such as summer days, tropical nights and warm nights have increased, while nights and cold days have decreased. These variations in weather extremes will have impacts in different sectors including agriculture, as indicated by the IPCC in its Fourth Assessment Report (IPCC, 2007), considering that in temperate zones will increase in the yield of agricultural crops due to increased temperature, but in warmer areas the increase in temperature will affect the yield and will allow an increase in the presence of pests.

frescos han disminuido. Estas variaciones en los extremos meteorológicos tendrán impactos en diferentes sectores entre ellos el agrícola, tal como lo indica el IPCC en su cuarto reporte (IPCC, 2007), al considerar que en zonas templadas se tendrá aumento en el rendimiento de cultivos agrícolas debido al incremento de temperaturas, pero en zonas cálidas el incremento de temperatura afectará al rendimiento y permitirá un incremento en la presencia de plagas.

De acuerdo con Klein-Tank *et al.* (2009), para tener una perspectiva uniforme de los cambios en clima y extremos climáticos, el ETCCDMI, ha definido una serie de 27 índices que describen características particulares de los extremos, incluyendo frecuencia, amplitud y persistencia. Los cambios proyectados en estos índices son indicativos de cambio climático futuro en los parámetros meteorológicos extremos. Información detallada sobre estos índices se puede encontrar en Alexander *et al.* (2006); Klein-Tank *et al.* (2009); Zhang *et al.* (2011). A nivel global, Alexander *et al.* (2006) encontraron que el índice “número de noches cálidas al año” se ha incrementado en cerca de 25 días desde el año 1951, mientras que el “número de noches frías al año” ha disminuido en 20 días para el mismo período.

Las políticas actuales para las medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático, demandan la generación de información tanto a nivel local como regional. México presenta una gran diversidad de regiones que van desde climas muy cálidos en las costas, los secos en la parte central y norte, y los templados en las sierras en las que encontramos fríos polares en las cumbres más altas. Asimismo, México presenta una fisiografía muy variada. Esta gran diversidad nos indica que los efectos del cambio climático serán diferentes en cada región y por tanto las medidas de mitigación y adaptación también.

Una de estas regiones es la Provincia Fisiográfica Llanuras Costeras del Golfo Sur, la cual comprende parte de los estados de Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Campeche y Chiapas. La necesidad de determinar el comportamiento de los extremos meteorológicos relacionados con la temperatura a nivel regional, permitirá contar con información valiosa para el desarrollo de medidas de adaptación en los diferentes sectores productivos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar las tendencias de los índices climáticos de extremos meteorológicos basados en las temperaturas máxima y mínima diaria para la región Llanuras Costeras del Golfo Sur.

According to Klein-Tank *et al.* (2009), in order to have a uniform view of changes in climate and weather extremes, the EPDMICC has defined a set of 27 indices describing particular features, including frequency, amplitude and persistence. Projected changes in these indices are indicative of future climate change on extreme weather parameters. Detailed information on these indexes can be found in Alexander *et al.* (2006); Klein-Tank *et al.* (2009); Zhang *et al.* (2011). Globally, Alexander *et al.* (2006) found that the index "number of warm nights per year" has increased near to 25 days since 1951, while the "number of cold nights per year" has decreased by 20 days for the same period.

Current policies for mitigation and adaptation to the effects of climate change, demand geneindexn information both locally and regionally. Mexico has a wide variety of areas ranging from very warm climate along the coast, dry in the central and north and, temperate in the mountains where cold polar was found in the highest peaks. Mexico also has a varied physiography. This diversity indicates that, the effects of climate change will be different in each region and therefore the mitigation and adaptation will be as well.

One of these regions is the Physiographic Province South Gulf Coastal Plains, which includes the States of Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Campeche and Chiapas. The need to determine the behaviour of extreme weather related to temperature at the regional level will allow for valuable information for the development of adaptation measurements in the productive sectors. The aim of this study was to evaluate the tendencies of the climatic indices of weather extremes, based on maximum and minimum daily temperatures for the region South Gulf Coastal Plains.

Materials and methods

Study area. The region South Gulf Coastal Plains is one of the fifteen physiographic provinces in Mexico. It is located in the south-eastern part of Mexico (Figure 1), bounded to the west by the Transverse Volcanic Belt, to the south by the Sierra Madre del Sur and to the east the Yucatan Peninsula. Its average width varies between 125 and 150 km. Includes the coastal regions of southern Veracruz, covers virtually the entire State of Tabasco, some areas of northern Oaxaca

Materiales y métodos

Zona de estudio. La región Llanuras Costeras del Golfo Sur, es una de las quince provincias fisiográficas que forman parte del territorio mexicano. Se encuentra localizada en la parte sureste de la República Mexicana (Figura 1), está limitada al poniente por el Sistema Volcánico Transversal, al sur por la Sierra Madre del Sur y al oriente por la Península de Yucatán. Su anchura promedio varía entre 125 y 150 km. Comprende las regiones costeras del sur de Veracruz, abarca prácticamente todo el estado de Tabasco, algunas zonas del norte de Oaxaca y Chiapas, y el suroeste de Campeche. A su vez está formada por las subprovincias: Llanura Costera Veracruzana; Sierra de los Tuxtlas; y, Llanuras y Pantanos Tabasqueños (Medina *et al.*, 2010). La altitud en esta región va de los 0 msnm en los límites con el mar, a los 550 msnm en los límites con la sierra; con climas cálidos subhúmedos y húmedos, con temperaturas medias anuales entre 24° a 27 °C y precipitación pluvial anual entre 1 500 y 2 250 mm (Medina *et al.*, 2010).

Tabasco y Campeche, de la cual se utilizó sólo la información de las estaciones localizadas dentro de la región Llanuras Costeras del Golfo Sur. De éstas se seleccionaron 31 estaciones climáticas de acuerdo a 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 muchos años consecutivos sin datos. La Figura 1 muestra la zona de estudio y las estaciones climáticas analizadas.

Análisis de la calidad y homogeneidad de las series. Se realizó un control de calidad de los datos (Klein-Tank *et al.*, 2009), mediante el uso del módulo RClimDex v. 1.0 (Zhang y Feng, 2004), ejecutado en R v. 3.0.1 y que realiza la corrección o eliminación del dato una vez comparado con parámetros climáticos en las mismas fechas de alguna estación cercana. Para el análisis de homogeneidad y detección de saltos o rupturas en las series de temperatura mínima y temperatura máxima diarias, se utilizó la prueba F de máxima penalización para cambios en la media en datos no documentados, de acuerdo a lo recomendado por Wang (2008), mediante el módulo RHTests v. 3.0 (Wang y Feng, 2010) ejecutado en R v. 3.0.1 el cual incluye el proceso de homogeneización de la serie con ajuste por cuantiles (QM), en caso de resultar no homogénea (Wang *et al.*, 2010). Con estas series se realizó un análisis de estadística descriptiva con la finalidad de determinar anomalías en las variables

and Chiapas, Campeche and southwest. Consisting of the sub-villages: Coastal Plain of Veracruz; Sierra de los Tuxtlas; Plains and Marshes of Tabasco (Medina *et al.*, 2010). The elevation in this region ranges from 0 meters above sea level on the border with the sea, 550 meters above sea level on the border with the Mountains; with sub-humid and humid climates, with annual average temperatures between 24 to 27 °C and annual rainfall between 1 500 and 2 250 mm (Medina *et al.*, 2010).

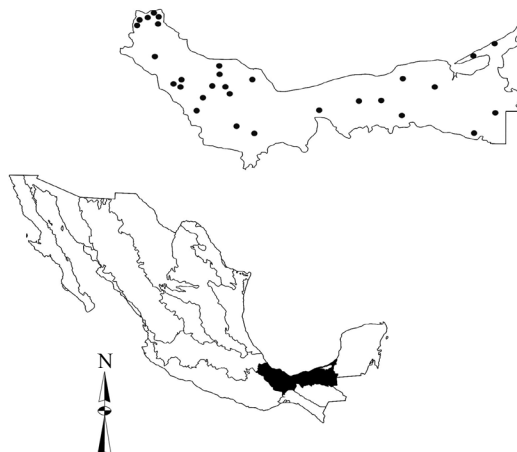


Figura 1. Localización de las estaciones climáticas analizadas en la Región Llanuras Costeras del Golfo Sur.

Figure 1. Location of weather stations analysed in the South Gulf Coastal Plains Region.

Database. Featuring the database of daily precipitation, maximum daily temperature and minimum daily temperature of the Environmental Information System of INIFAP, of the weather stations of the Monitoring Network of the National Water Commission for the States of Veracruz, Tabasco and Campeche, which was only used information from stations located within the South Gulf Coastal Plains region. Of these, 31 stations were selected according to the following criteria: 30 years or more information; 95% or more of data; elimination of year with 3 months or more without data; removing stations with many consecutive years without data. The Figure 1 shows the study area and weather stations analysed.

Analysis of the quality and homogeneity of the series. Quality control data (Klein-Tank *et al.*, 2009) was performed using the “RClimDex” module v.1.0 (Zhang and Feng, 2004), implemented in R v.3.0.1, making the correction or deletion of data when compared with climatic parameters on the same dates from a nearby station. For the analysis of homogeneity and the detection of jumps or breaks in the series of daily minimum temperature and maximum

térmicas de temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y oscilación térmica diaria con los valores de las normales climáticas para un período de 30 años de acuerdo a lo establecido por la OMM.

Determinación de los índices de extremos. Se seleccionaron 13 de los 27 índices de extremos climáticos establecidos por el “equipo de expertos para la detección, monitoreo e índices de cambio climático” (ETCCDMI) (Vázquez, 2010; Zhang *et al.*, 2011), relacionados con la temperatura y los parámetros climáticos de temperatura máxima media y temperatura mínima media (Cuadro 1). Estos valores fueron obtenidos mediante el módulo RCLimDex desarrollado por el Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá (Zhang y Feng, 2004) y ejecutado en el software R versión 3.0.1 que calcula estos índices en una base mensual o anual, para lo cual se consideraron como temperaturas umbrales las siguientes: 25 °C umbral superior de temperatura máxima diaria y 20°C umbral superior de temperatura mínima diaria, éstos valores fueron seleccionados para tener resultados de la región Llanuras Costeras del Golfo Sur que puedan ser comparados con los resultados de otras regiones (Zhang *et al.*, 2011).

temperature, the F test of maximum penalty was used for changes in mean data not documented in accordance with the recommendations of Wang (2008) through the RHTests module v. 3.0 (Wang and Feng, 2010) implemented in R v. 3.0.1 which includes the process of homogenization of the series with adjustment per quantile (QM), in case they are not homogeneous (Wang *et al.*, 2010). With this series we made a descriptive statistics analysis in order to identify anomalies in the thermal variables of daily maximum temperature, daily minimum temperature and daily thermal oscillation with the climatic normal for a 30 year period according to the WMO.

Determination of indices of extremes. We selected 13 of the 27 indices of climate extremes set by the “Expert Panel on Detection, Monitoring and Indices of Climate Change” (EPDMICC) (Vázquez, 2010; Zhang *et al.*, 2011), related to temperature and climatic parameters, average maximum temperature and average minimum temperature (Table 1). These values were obtained using the RCLimDex module developed by the Climate Research Department, Meteorological Service of Canada (Zhang and Feng, 2004) and implemented in the R software version 3.0.1 that calculates these indices on a monthly or yearly

Cuadro 1. Índices de cambio climático analizados en este estudio.

Table 1. Indices of climate change analysed in this study.

| Índice | Clave en RCLimDex v. 1.0 (Zhang y Feng, 2004) | Definición | Unidades |
|----------------------------------|--|--|----------|
| Días de verano | SU25 | Número de días con $T_{\text{máx}} > 25 \text{ °C}$ | Días |
| Noches tropicales | TR20 | Número de días con $T_{\text{mín}} > 20 \text{ °C}$ | Días |
| Temperatura máxima extrema | TXx | Temperatura máxima más alta mensual y anual | °C |
| Temperatura máxima más baja | TXn | Temperatura máxima más baja mensual y anual | °C |
| Temperatura mínima más alta | TNx | Temperatura mínima más alta mensual y anual | °C |
| Temperatura mínima extrema | TNn | Temperatura mínima más baja mensual y anual | °C |
| Frecuencia de noches frescas | Tn10p | Porcentaje de días con $T_i < \text{Percentil } 10$ | % |
| Frecuencia de días frescos | Tx10p | Porcentaje de días con $T_x < \text{Percentil } 10$ | % |
| Frecuencia de noches cálidas | Tn90p | Porcentaje de días con $T_i > \text{Percentil } 90$ | % |
| Frecuencia de días calurosos | Tx90p | Porcentaje de días con $T_x > \text{Percentil } 90$ | % |
| Duración de los períodos cálidos | WSDI | Número de días con $T_x > \text{Percentil } 90$ en intervalos de por lo menos 6 días | Días |
| Duración de los períodos fríos | CSDI | Número de días con $T_i < \text{percentil } 10$ en intervalos de por lo menos 6 días | % |
| Rango diurno de temperatura | DTR | Promedio de las diferencias entre T_x y T_i mensual y anual | °C |

Una vez obtenidos los índices, se procedió a realizar un análisis de correlación con los valores de las pendientes de las tendencias de cada índice climático de las 31 estaciones obtenidas en el proceso del módulo RCLimDex, ya que se consideró que estos son valores del mismo tipo para todas las variables por lo que no fueron estandarizadas. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de componentes principales y con los valores de las nuevas variables ya ponderadas se realizó un análisis de agrupamiento mediante el módulo Cluster Analysis del software Minitab con la finalidad de identificar grupos de estaciones con tendencias similares en el conjunto de índices climáticos de extremos.

Tendencia regional. Para evaluar la tendencia de estos índices climáticos en la región estudiada, se promediaron los valores de cada índice para todas las estaciones, obteniendo los valores regionales anualmente. Con estos valores se elaboraron gráficas de tendencia de los índices que mostraron mayor significancia, incluyendo la línea de tendencia de medias móviles para períodos de 10 años. Asimismo, para identificar el comportamiento estacional para los índices climáticos de extremos, se elaboraron gráficas de los índices frecuencia de noches frescas y frecuencia de días calurosos para las cuatro estaciones del año en la región Llanuras Costeras del Golfo Sur.

Resultados y discusión

Para la zona de estudio se tienen como normales climáticas para el período de 30 años 1978-2007 los valores de: 31.7 °C de temperatura máxima anual, 20.4 °C de temperatura mínima anual y 11.3 °C de oscilación térmica anual. Para el período estudiado (1961-2007), en la región Llanuras Costeras del Golfo de México, se obtuvieron las anomalías en base a medias móviles de 10 años, de 0.33 °C y 0.86 °C de temperatura máxima anual y temperatura mínima anual respectivamente, mientras que para la oscilación térmica se muestra una tendencia negativa con una anomalía de -0.53 °C lo que indica que las temperaturas máxima y mínima se han acercado conforme ha transcurrido el tiempo.

Índices de extremos térmicos. En el Cuadro 2 se resumen las tendencias encontradas para cada uno de los índices climáticos estudiados.

basis, for which the following were considered as threshold temperatures: 25 °C upper threshold of maximum daily temperature and 20 °C upper threshold of minimum daily temperature, these values were selected to have results of the South Gulf Coastal Plains region which can be compared with results from other regions as well (Zhang *et al.*, 2011).

After obtaining the indices, we proceeded to perform a correlation analysis with the values of the slopes of the extremes in each climatic index of the 31 stations obtained in the process using the RCLimDex module, since it was considered that these are values of the same type for all variables so were not standardized at all. Subsequently we conducted a major analysis and the values of the new variables and weighted components was performed in a cluster analysis using the "Cluster Analysis" module "Minitab" software in order to identify groups of stations with similar extremes in the set of indices of climate extremes.

Regional trend. In order to evaluate the tendency of these climate indices in the region studied, the values of each index for all stations were averaged, obtaining regional values annually. These values developed trend charts of the indices, showing higher significance, including the average trend line moving for 10-year periods. Also, to identify the station behaviour of the extreme climate indices we developed graphs of frequency indices of cold nights and hot days frequency for the four seasons in the South Gulf Coastal Plains region.

Results and discussion

For the study area, the weather normals for the 30 year period from 1978 to 2007 the values: 31.7 °C maximum annual temperature, 20.4 °C minimum annual temperature and 11.3 °C annual temperature variation. For the period studied (1961-2007), in the Gulf Coastal Plains region of Mexico, the anomalies based on moving averages of 10 years, 0.33 °C and 0.86 °C of maximum annual temperature and minimum annual temperature were obtained respectively, while the temperature variation showed a negative trend with an anomaly of -0.53 °C indicating that the maximum and minimum temperatures have come as time elapses.

Cuadro 2. Número de estaciones con tendencia significativa negativa, tendencia no significativa y tendencia significativa positiva para cada índice climático. Los números en negritas indican que más de 40% de las estaciones presentaron tendencia significativa.

Table 2. Number of stations with significant negative trend, no significant trend, positive significant trend for each climate index. Bold numbers indicate that more than 40% of the stations showed a significant trend.

| Índice de cambio climático (ETCCDI) | Tendencia de la pendiente | | |
|--|--|------------------|--|
| | Negativa significativa ($p < 0.05$) | No significativa | Positiva significativa ($p < 0.05$) |
| Días de verano | 8 | 11 | 12 |
| Noches tropicales | 9 | 6 | 16 |
| Temperatura máxima extrema | 10 | 12 | 9 |
| Temperatura máxima más baja | 6 | 14 | 11 |
| Temperatura mínima más alta | 9 | 11 | 11 |
| Temperatura mínima extrema | 4 | 13 | 14 |
| Frecuencia de noches frescas | 16 | 7 | 8 |
| Frecuencia de días frescos | 13 | 7 | 11 |
| Frecuencia de noches cálidas | 7 | 7 | 17 |
| Frecuencia de días calurosos | 10 | 5 | 16 |
| Duración de los períodos cálidos | 4 | 13 | 14 |
| Duración de los períodos fríos | 7 | 18 | 6 |
| Rango diurno de temperatura | 12 | 5 | 14 |

Se observa que el número de estaciones con tendencia positiva significativa es mayor que para la tendencia negativa significativa. Para los índices climáticos: noches tropicales, temperatura mínima extrema, frecuencia de noches cálidas, frecuencia de días calurosos, duración de los períodos cálidos y rango diurno de temperatura, 45% o más de las estaciones resultaron con tendencia significativa positiva; esto es, tendencia a incrementar estos parámetros climáticos. En lo referente a los índices climáticos frecuencia de noches frescas y frecuencia de días frescos, 45% o más de las estaciones presentaron tendencia significativa negativa, lo que indica una disminución en el número de días en el año en que se tengan noches y días frescos.

Éstos resultados muestran un incremento en los valores de índices relacionados con el aumento de temperaturas máximas diarias y temperaturas mínimas diarias, a diferencia de Vincent *et al.* (2005), quienes encontraron mayor número de estaciones con cambios no significativos en índices relacionados con el incremento en temperatura máxima y mínima, aunque su estudio abarca una superficie considerablemente mayor que la analizada en este artículo. La variación entre estaciones climáticas, de dos de los trece índices estudiados, se observa en la Figura 2. Se muestran los

Índices de thermal extremes. The Table 2 shows the extremes found for each of the studied climate indices summarized.

It is observed that, the number of stations with significant positive trends is significantly higher than for the negative trend. For climate indices: tropical nights, extreme minimum temperature, frequency of warm nights, hot days frequency, duration of warm periods and diurnal temperature range, 45% or more of the stations were significant positive; that is, a tendency to increase these climatic parameters. Regarding the frequency of climatic indices of cold nights and cold days, 45% or more of the stations showed significant negative trends, indicating a decrease in the number of days in the year when the nights and days are cold.

These results show an increase in the values of indexes related with increasing daily maximum daily temperatures and low temperatures, unlike Vincent *et al.* (2005), who found that most stations with no significant changes relate to the increase in maximum and minimum temperature indices, although their study covers a considerably larger area than the one analysed in this article. The variation between stations, of two of the thirteen studied indices are shown

índices climáticos frecuencia de noches frescas y frecuencia de días calurosos, esto es, los períodos de extremos térmicos y que en el Cuadro 2, mostraron más del 40% de estaciones con tendencias significativas para estos índices.

in Figure 2. Climatic indices, cold nights and warm day's frequency are shown, i.e., periods of extremes heat and in Table 2, showed more than 40% of stations with significant extremes for these indices.

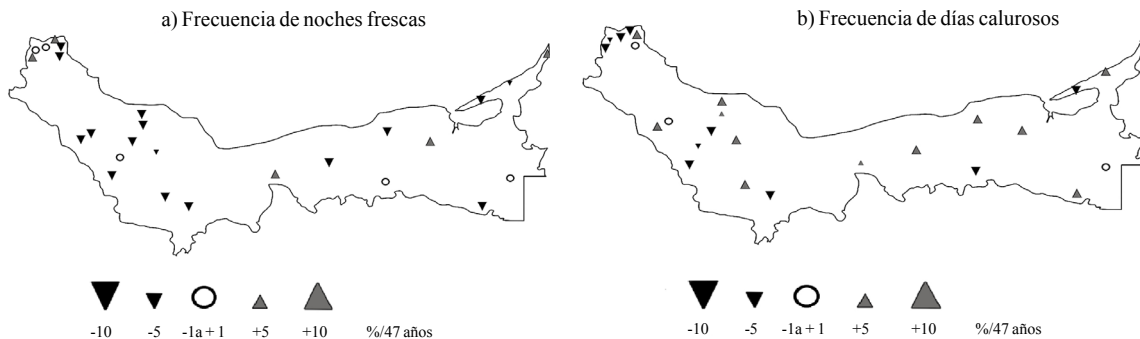


Figura 2. Tendencias observadas en las estaciones climáticas analizadas en el período 1961-2007, para los índices (a) frecuencia de noches frescas; y (b) frecuencia de días calurosos. Triángulos negros indican tendencia significativa a la disminución, triángulos grises indican tendencia significativa al incremento, círculos blancos indican cambio leve no significativo.

Figure 2. Observed tendencies on the weather stations analysed in the period from 1961 to 2007, for the indices (a) frequency of cold nights; and (b) frequency of hot days. Black triangles indicate significant downward trend, grey triangles indicate significant upward trend mild white circles indicate no significant change.

En el cálculo de estos dos índices, cuatro estaciones climáticas quedaron incompletas debido a la falta de información en algunos meses de la serie, por lo que se decidió no incluirlas en esta figura. Se observa que en la mayor parte de las estaciones se tiene una tendencia a disminuir la frecuencia de noches frescas (Figura 2a) mientras que el índice de frecuencia de días calurosos muestra incrementos en gran parte de las estaciones (Figura 2b). Estos dos índices muestran variación entre las estaciones analizadas ya que se presentan estaciones con tendencias opuestas en los dos índices y estaciones con tendencias iguales, así como estaciones muy cercanas con tendencias diferentes para el mismo índice. Klein-Tank *et al.* (2009) indican que para disminuir esta variabilidad es conveniente trabajar a nivel regional con los promedios de los índices, con lo que se consigue suavizar las variaciones encontradas.

En el Cuadro 3 se resumen los valores encontrados de los 13 índices de extremos térmicos, así como los parámetros temperatura mínima diaria y temperatura máxima diaria, para las estaciones climáticas estudiadas. En el estado de Campeche sólo se analizaron cuatro estaciones, lo que se refleja en el mayor error estándar en todos los índices. Para el período estudiado se tienen días de verano casi todo el año y las noches tropicales se presentan en mayor cantidad en la parte suroeste de Campeche. Las temperaturas máxima y mínima extremas se encuentran en la parte sur de Veracruz. La frecuencia de noches frescas y días frescos, mientras que

In the calculation of these two indices, four weather stations were incomplete due to the lack of information in some months of the series, so it was decided not to include it into this figure. It is observed that most of the stations have a tendency to decrease the frequency of cold nights (Figure 2a) while the frequency index shows increases in hot days in most of the weather stations (Figure 2b). These two indices show variation between the analysed stations because there are stations with opposite extremes in the two stations with equal indices and the extremes, as well as nearby stations with very different extremes for the same index are also presented. Klein-Tank *et al.* (2009) indicated that in order to reduce this variability is convenient to work with regional averages rates, softening the variations found.

The values found for the 13 thermal extremes indices and parameters of minimum daily temperature and maximum daily temperature for the stations studied are summarized in the Table 3. In the State of Campeche only four stations were analysed, which is reflected in the larger standard error in all indexes. For the period studied, we had summer days almost the whole year and tropical nights are presented in larger amounts in the southwestern part of Campeche. The maximum and minimum temperature extremes are found in the southern part of Veracruz. The frequency of cold nights and cold days, while the frequency of hot days and warm nights is similar throughout the region. The duration of warm periods ranging from 30 to 50 days per year, while

la frecuencia de noches cálidas y días calurosos es similar en toda la región. La duración de los períodos cálidos va de 30 a 50 días al año, mientras que la duración de los períodos fríos es similar para la zona sureste de Campeche y Tabasco, no así para el sur de Veracruz en el que se presenta una duración de hasta 73 días, lo que puede relacionarse con el hecho de que en esta zona se tienen estaciones climáticas con altitudes entre 100 a 345 msnm.

En el análisis de componentes principales se tuvo como resultado que 86.7% de la variabilidad en los índices climáticos de la región, se dimensionó en los dos primeros componentes principales en los que la mayor carga se encuentra en los índices: noches tropicales, duración de los períodos fríos, duración de los períodos cálidos, días de verano, frecuencia de noches cálidas, frecuencia de noches frescas, frecuencia de días calurosos y frecuencia de días frescos.

the duration of cold periods is similar to the southeast of Campeche and Tabasco, but not for southern Veracruz in which last up 73 days, which may relate to the fact that in this area there are weather stations at elevations between 100-345 meters.

The principal component analysis resulted that 86.7% of the variability in climate indices in the region, was sized in the first two principal components in which the greatest load is on the indexes: tropical nights, length of cold periods, duration of warm periods, summer days, warm nights frequency, frequency of cold nights, warm days frequency and frequency of cold days.

The Figure 3 presents these indices and the trend line with moving averages per decade for the South Gulf Coastal Plains region. The greatest load brought about by these

Cuadro 3. Valores de los índices de extremos térmicos y dos variables climáticas, promedio de las estaciones localizadas por Estado en la región Llanuras Costeras del Golfo Sur para el período 1961-2007. Se muestra el valor promedio y el error estándar.

Table 3. Values of the indices of temperature extremes and two climatic variables, average of the located stations by State in the South Gulf Coastal Plains region for the period 1961-2007. The average value and the standard error.

| Índice | Sur de Veracruz (20)* | Tabasco (7)* | Suroeste de Campeche (4)* |
|---|-----------------------|--------------|---------------------------|
| Días de verano (días) | 329.1 ± 7 | 337.7 ± 7.2 | 352.8 ± 8 |
| Noches tropicales (días) | 168.5 ± 19.1 | 280.3 ± 10.5 | 306.2 ± 23 |
| Temperatura máxima media (°C) | 31.5 ± 0.6 | 31.7 ± 0.6 | 32.4 ± 0.9 |
| Temperatura mínima media (°C) | 19.3 ± 0.4 | 21.9 ± 0.5 | 22.0 ± 0.7 |
| Temperatura máxima extrema (°C) | 40.8 ± 0.7 | 39.9 ± 0.7 | 38.9 ± 1.2 |
| Temperatura máxima más baja (°C) | 18.6 ± 0.7 | 19.5 ± 0.7 | 23.6 ± 1.9 |
| Temperatura mínima más alta (°C) | 24.9 ± 0.5 | 26.3 ± 0.6 | 26.2 ± 1.1 |
| Temperatura mínima extrema (°C) | 10.2 ± 0.6 | 13.6 ± 0.7 | 14.0 ± 1.4 |
| Frecuencia de noches frescas (%) | 9.5 ± 1.6 | 9.7 ± 2.1 | 15.3 ± 7.5 |
| Frecuencia de días frescos (%) | 10.7 ± 1.6 | 10.0 ± 1.9 | 16.7 ± 11.5 |
| Frecuencia de noches cálidas (%) | 13.7 ± 2.8 | 11.0 ± 3.3 | 12.2 ± 7.1 |
| Frecuencia de días calurosos (%) | 11.4 ± 2.38 | 13.5 ± 3.3 | 13.4 ± 8.8 |
| Duración de los períodos cálidos (días) | 10.4 ± 5.9 | 8.5 ± 6.4 | 15.5 ± 21.5 |
| Duración de los períodos fríos (días) | 6.0 ± 3.3 | 5.9 ± 4.7 | 20.9 ± 22.6 |
| Rango diario de temperatura (°C) | 12.2 ± 0.7 | 9.9 ± 0.7 | 10.4 ± 1 |

*número de estaciones analizadas.

La Figura 3 presenta estos índices y la línea de tendencia con medias móviles decadales, para la región Llanuras Costeras del Golfo Sur. La mayor carga que aportan estos índices a la variación en la zona de estudio nos indica la gran influencia que tienen en los cambios de tendencia para la zona de estudio. A nivel regional el número de noches tropicales se ha incrementado 30 días en 47 años, similar

indices to the variation in the study area indicates the great influence they have on the changing extremes for the study area. At the regional level the number of tropical nights has increased 30 days in 47 years, similar to the increases found for the southern part of Brazil by Vincent *et al.* (2005) and lower than the increase reported by Sensoy *et al.* (2013) for Turkey. Summer days show a slight increase, although we

a los incrementos encontrados para la parte sur de Brasil por Vincent *et al.* (2005) y menor al incremento reportado por Sensoy *et al.* (2013) para Turquía. Los días de verano muestran un ligero incremento, aunque si consideramos que la zona de estudio tiene clima cálido, este índice no tiene un impacto fuerte en la variación observada en la región Llanuras Costeras del Golfo Sur.

believe that the study area has warmer weather, this index does not have a strong impact on the observed variation in the South Gulf Coastal Plains region.

The duration of cold periods show a small increase (12 days), while the duration of warm periods has increased 26 days, value within the range estimated in more temperate

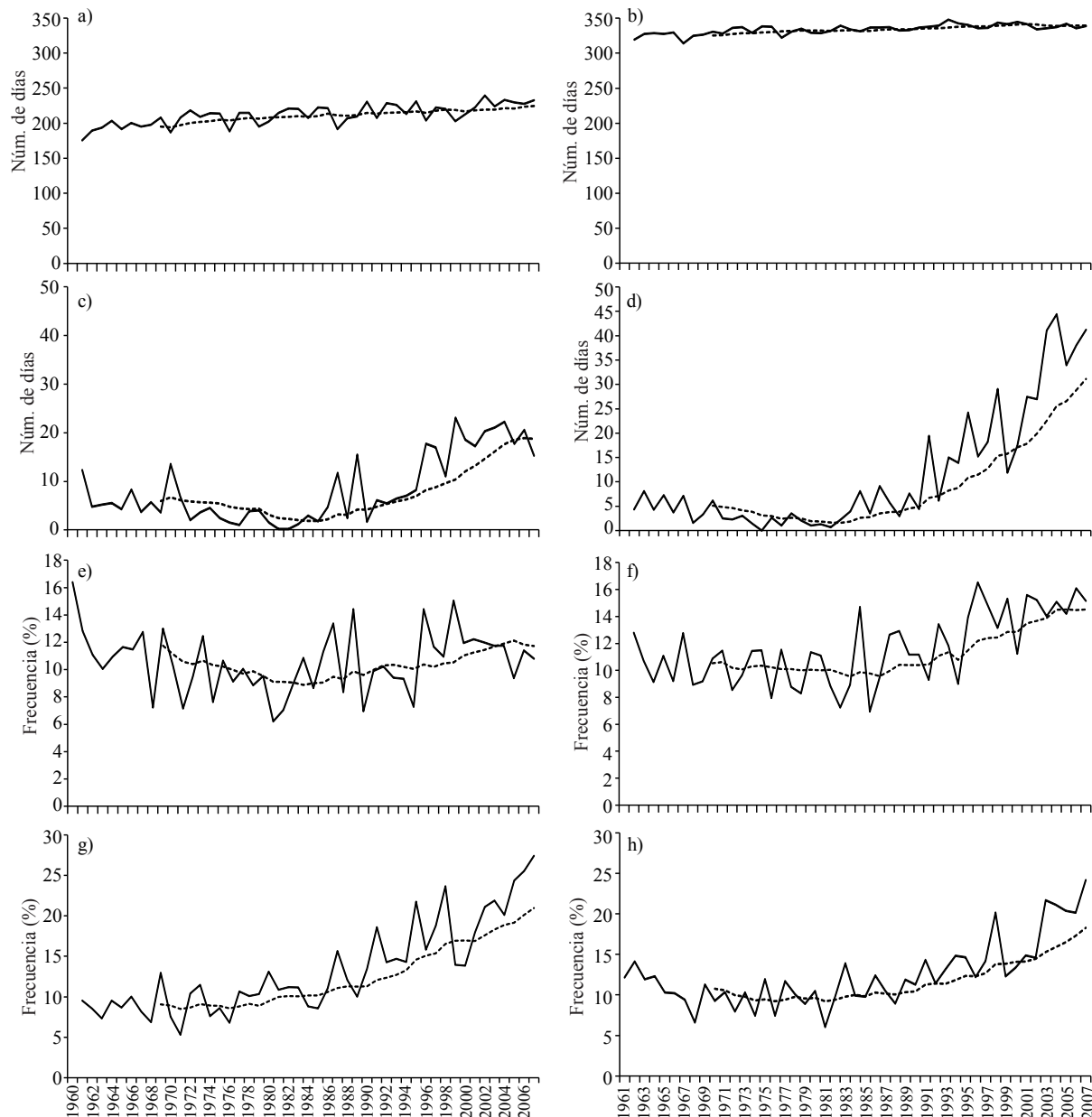


Figura 3. Tendencias de los índices climáticos, a escala regional, con mayor carga en el análisis de componentes principales: a) noches tropicales; b) días de verano; c) duración de los períodos fríos; d) duración de los períodos cálidos; e) frecuencia de noches frescas; f) frecuencia de días frescos; g) frecuencia de noches cálidas; y h) frecuencia de días calurosos.

Figure 3. Tendencias of climatic indices, on a regional scale, with higher load on the principal component analysis: a) tropical nights; b) summer days; c) duration of cold periods; d) duration of warm periods; e) frequency of cold nights; f) frequency of cold days; g) frequency of warm nights; and h) the frequency of hot days.

La duración de los periodos fríos muestra un incremento bajo (12 días), mientras que la duración de periodos cálidos tiene un incremento de 26 días, valor que se encuentra en el rango estimado en regiones con clima más templado mencionado por Alexander *et al.* (2006). En lo referente a los índices frecuencia de noches y días frescos, se tiene un aumento casi nulo (1% y 3.8% respectivamente), mientras que la frecuencia de noches cálidas y días calurosos tienen un mayor incremento (12% y 10% respectivamente); esto es, 40 días más en el año se presentan estas condiciones en comparación con el inicio del periodo estudiado. Vincent *et al.* (2005) encontraron valores similares de los índices frecuencia de noches cálidas y frecuencia de días calurosos para Perú y la parte sur de Argentina, mientras que Caesar *et al.* (2011), encontraron a escala global valores menores a los obtenidos en este trabajo.

Estas gráficas muestran las tendencias a escala regional, como resultado de promediar los valores de los índices de cada estación de acuerdo con lo mencionado por Klein-Tank *et al.* (2009). El análisis de agrupamiento “clusters” aplicado a los valores de las variables ponderados por los dos componentes principales, arrojó como resultado que las 31 estaciones climáticas quedan incluidas en cuatro grupos con un nivel de similaridad de al menos 85%. El agrupamiento encontrado no responde a la localización espacial de las estaciones climáticas estudiadas, sino al tipo de tendencia general al promediar todos los índices climáticos obtenidos. Al tratar de entender esta clasificación se encontró que responde a las tendencias de los parámetros climáticos temperatura máxima diaria media anual y temperatura mínima diaria media anual, variables que dan origen a estos índices de extremos.

El primer grupo abarca dos estaciones climáticas: una en Campeche y otra en Veracruz, muestran tendencia positiva en ambos parámetros; el segundo grupo se forma por tres estaciones: una de Campeche y dos de Veracruz, con tendencia negativa en ambos parámetros; el tercer grupo, el más grande, incluye 25 estaciones climáticas: dos de Campeche, siete de Tabasco y 16 de Veracruz, este grupo muestra una tendencia negativa para temperatura máxima diaria media anual y positiva para temperatura mínima diaria media anual; y el último grupo sólo contiene una estación correspondiente a Veracruz, muestra una tendencia positiva para temperatura máxima y tendencia negativa para temperatura mínima, esta estación contiene varios datos perdidos por lo que se considera que fue la causa de quedar separada de las otras.

regions mentioned by Alexander *et al.* (2006). Regarding the frequency indices of nights and cold days, it has a negligible increase (1% and 3.8% respectively), while the frequency of hot days and warm nights have a higher increase (12% and 10% respectively); 40 days more in the year these conditions are presented in comparison with the beginning of the period studied. Vincent *et al.* (2005) found similar values of frequency indexes on warm nights and hot days frequency for Perú and the southern part of Argentina, while Caesar *et al.* (2011) found globally lower values than those obtained in this paper.

These graphics show the tendencies at regional level as a result of averaging the values of the indices for each station as mentioned by Klein-Tank *et al.* (2009). The cluster analysis applied to the balanced variable values by the two main components, showed that 31 weather stations are included in four groups with a level of similarity of at least 85%. The grouping found is unresponsive to the spatial location of the weather stations studied, but rather to the general trend obtained by averaging all climatic indices. Trying to understand this classification, we found that it responds to the tendencies of the climatic parameters annual mean daily maximum temperature and annual mean daily minimum temperature, variables that originate these indices of extremes.

The first group covers two weather stations: one in Campeche and another one in Veracruz, show positive trend in both parameters; the second group is formed with three stations: one from Campeche and two from Veracruz, with a negative trend in both parameters; the third group, the largest one, includes 25 weather stations: two in Campeche, seven in Tabasco and 16 from Veracruz, this group shows a negative trend for annual mean daily maximum temperature and positive for annual mean daily minimum temperature; and the last group contains only one station from Veracruz, shows a positive trend for maximum temperature and negative trend for minimum temperature, this station contains several data lost, considered to be the cause to be separated from the others.

Seasonal tendencies. In order to determine the seasonal behaviour of temperature extremes, we developed graphics of the decadal means mobiles for the indices frequency of cold nights, warm nights frequency and frequency of hot days for the spring (March-April- May), summer (June-July-August), autumn (September-October-November) and winter (December-January-February), as shown in Figure

Tendencias estacionales. Con la finalidad de determinar el comportamiento estacional de los extremos de las temperaturas, se elaboraron gráficas de las medias móviles decenales para los índices frecuencia de noches frescas, frecuencia de noches cálidas y frecuencia de días calurosos, para las estaciones primavera (marzo-abril-mayo), verano (junio-julio-agosto), otoño (septiembre-octubre-noviembre) e invierno (diciembre-enero-febrero), como se muestra en la Figura 4. En las tres gráficas se tienen tendencias relativamente estables de cada índice en las cuatro estaciones del año hasta antes del año 1990. Posterior a este año las tendencias entre las estaciones del año presentan mayor variación.

4. In the three graphics there are relatively stable tendencies of each index in the four seasons of the year, up to the year 1990. After this year the tendencies between the seasons had a larger variation.

During spring, the frequency of cold nights has remained almost unchanged over the period 1961-2007, but not for the frequency of warm nights and hot days, showing an increase of 6% and 9%, respectively, which is equivalent to 5 and 8 days with minimum and maximum temperatures above 90 percentile. During summer, the highest frequency of cold nights, warm nights and hot days are manifested, increasing

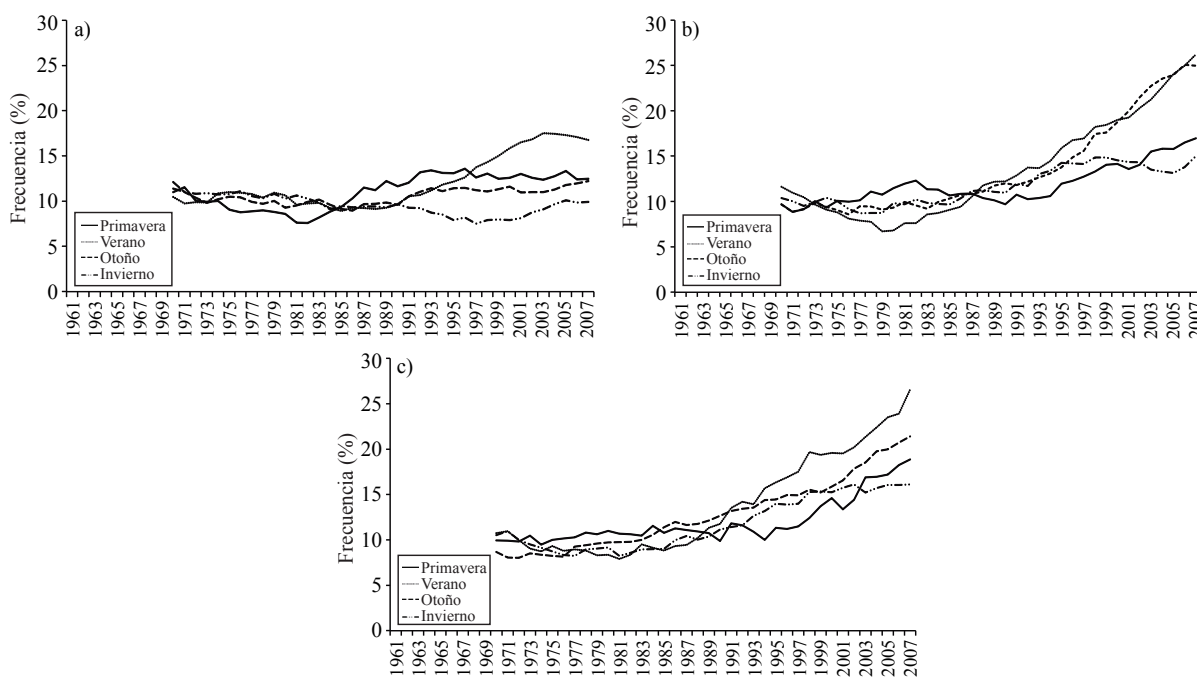


Figura 4. Tendencias estacionales de los índices a) frecuencia de noches frescas; b) frecuencia de noches cálidas; y c) frecuencia de días calurosos.

Figure 4. Seasonal tendencies of the indices a) frequency of cold nights; b) frequency of warm nights; and c) frequency of hot days.

Durante la primavera, la frecuencia de noches frescas se ha mantenido casi sin cambios en el período 1961-2007, no así las frecuencias de noches cálidas y días calurosos, que muestran un incremento de 6% y 9% respectivamente, lo que equivale a 5 y 8 días con temperaturas mínimas y máximas arriba del percentil 90. Es en verano cuando se tiene la mayor frecuencia de noches frescas, noches cálidas y días calurosos, la cual pasa de 10 a 16% para noches frescas, de 11 a 26% para noches cálidas y de 10 a 26% para días calurosos, lo que equivale a tener 14 noches frescas, 23 noches cálidas y 23 días calurosos durante el verano, en la última década analizada.

from 10 to 16% for cold nights, 11 to 26% for warm nights and 10-26% for hot days, which is equivalent to having 14 cold nights, 23 warm nights and 23 hot days during the summer, in the last decade analysed.

In autumn it is observed that frequency of cold nights remains stable throughout the period with a value of 10%, while the frequency of warm nights and hot days have a significant increase of 16% (9% in the first decade and 25% in the last decade) for warm nights and, 13% (8% in the first decade, 21% in the last decade) for hot days, nights, this is an increase of almost 14 nights with minimum temperature higher

En otoño se observa que se mantiene estable la frecuencia de noches frescas en todo el período con un valor de 10%, mientras que las frecuencias de noches cálidas y días calurosos tienen un incremento considerable siendo este del 16% (9% en la primer década y 25% en la última década) para noches cálidas y del 13% (8% en la primer década, a 21% en la última década) para días calurosos, esto es un incremento de casi 14 noches con temperatura mínima mayor al percentil 90 y 12 días con temperatura máxima mayor al percentil 90 durante los tres meses otoñales. Invierno muestra disminución de noches frescas pero incremento en el número de noches y días calurosos con valores de 15% y 16% respectivamente, al final de la década del período 1961-2007 lo que corresponde a 13 noches y 14 días considerablemente calurosos en esta estación del año.

Al comparar las tendencias de las frecuencias de noches cálidas con días calurosos para las dos estaciones del año en las que se detectó mayor incremento, verano y otoño, tenemos que las noches cálidas se incrementaron de 11 a 26% en verano y de 9 a 25% en otoño, mientras que los días calurosos muestran un incremento de 10 a 26% en verano y de 8 a 21% en otoño. Estos resultados indican que la frecuencia de noches con temperaturas nocturnas mayores al percentil 90, se ha incrementado de tal forma que el número de noches cálidas iguala al número de días calurosos en verano, y en otoño lo supera, esto es, en esta estación del año son más las noches cálidas que los días calurosos como se muestra en la Figura 5.

Estos resultados confirman lo obtenido en el análisis de agrupamiento, en el que el grupo con mayor número de estaciones muestra tendencias de estables a ligeramente positivas para la temperatura máxima diaria y tendencias significativamente positivas para la temperatura mínima diaria, lo que resulta en la disminución del rango diurno de temperaturas. En la región llanuras Costeras del Golfo Sur el ligero incremento en la frecuencia de noches frescas no concuerda con lo reportado por Alexander *et al.* (2006) para la misma zona, esto puede deberse a que en ese estudio se realizó un análisis a escala global y en este estudio el análisis fue a escala regional. En cambio el incremento en temperaturas nocturnas y en temperaturas diurnas que ocurre en verano (jun-ago) y otoño (sep-nov), si concuerdan con los reportados por Vincent *et al.* (2005) en el área de Sudamérica, para las estaciones de verano (dic-feb) y otoño (mar-may).

than 90 percentile and 12 days with maximum temperature above the 90 percentile for the three months of autumn. Winter cold evenings showed decreased but increase in the number of nights and warm days with values of 15% and 16% respectively at the end of the decade for the period 1961-2007 which corresponds to 13 nights and 14 days significantly hot during this season of the year.

By comparing the tendencies of the frequencies of warm nights with hot days, for the two seasons of the year in which the highest increase was observed, summer and autumn, warm nights increased from 11 to 26% in summer and 9-25% in the autumn, while hot days show an increase of 10-26% in summer and 8 to 21% in autumn. These results indicated that the frequency of nights with night-temperatures above the 90th percentile has increased, so that the number of warm nights equals the number of hot days in summer and are superior in autumn, that is, during this season there are more warm nights than hot days as shown in the Figure 5.

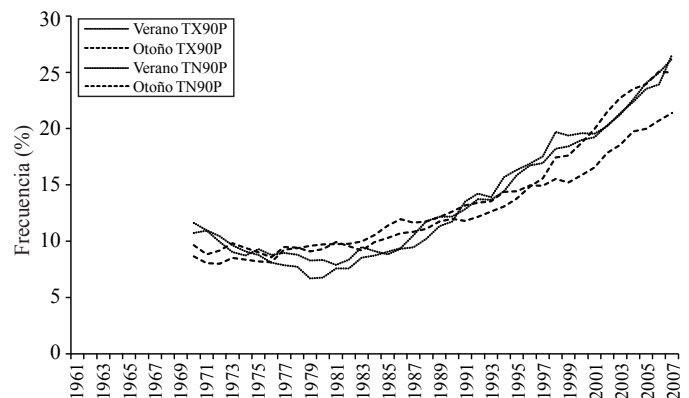


Figura 5. Tendencias de los índices: frecuencia de días calurosos (líneas negras) y frecuencia de noches cálidas (líneas grises) para verano y otoño.

Figure 5. Tendencies of the indices: frequency of hot days (black lines) and frequency of warm nights (grey lines) for summer and fall.

These results confirm the results in the cluster analysis, in which the group with most stations show tendencies stable to slightly positive for the daily maximum temperature and significantly positive tendencies for the daily minimum temperature, resulting in the decrease of the diurnal temperature range. In the South Gulf Coastal Plains region the slight increase in the frequency of cold nights is not consistent with that reported by Alexander *et al.* (2006) for the same area, this may be due that the study just mentioned was made in a global level and in ours was made at regional level. In contrast, the increase in night temperatures and

Conclusiones

En la región Llanuras Costeras del Golfo Sur los índices de extremos relacionados con temperatura máxima y mínima diaria muestran cambios significativos, tanto de disminución como de incremento para la zona de estudio en el período 1961-2007, siendo los más notorios: días de verano, noches tropicales, duración de los períodos cálidos, frecuencia de noches cálidas y frecuencia de días calurosos.

El manejo de valores promedio de los índices de extremos suaviza la variación encontrada en la zona de estudio y permite una visión más general de los cambios a escala regional.

Para la región Llanuras Costeras del Golfo de México, el incremento de noches cálidas y días calurosos ocurren en mayor medida durante el verano y el otoño, estaciones del año en que se deberán tomar medidas preventivas por los efectos que estos incrementos pueden tener en los seres vivos.

La frecuencia de noches cálidas se ha incrementado de tal forma que es similar a la frecuencia de días calurosos en verano y es mayor en otoño. Esto implica la mayor presencia de temperaturas nocturnas más elevadas.

Agradecimientos

A la Universidad de Guadalajara y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por las facilidades brindadas en la realización de esta investigación dentro del Proyecto: SINASO Núm. 10235319302 “Cambio climático y su impacto sobre el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México”.

Literatura citada

- Alexander, L. V.; Zhang, X.; Peterson, T. C.; Caesar, J.; Gleason, B.; Klein-Tank, A. M. G.; Haylock, M.; Collins, D.; Trewin, B.; Rahimzadeh, F.; Tagipour, A.; Rupa Kumar, K.; Revadekar, J.; Griffiths, G.; Vincent, L.; Stephenson, D. B.; Burn, J.; Aguilar, E.; Brunet, M.; Taylor, M.; New, M.; Zhai, P.; Rusticucci, M. and Vázquez-Aguirre, J. L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.* 111:D05109.
- Caesar, J.; Alexander, L.V.; Trewin, B.; Tse-ring, K.; Sorany, L.; Vuniyayawa, V.; Keosavang, N.; Shimana, A.; Htay, M. M.; Karmacharya, J.; Jayasinghearachi, D. A.; Sakkamart, J.; Soares, E.; Hung, L. T.; Thuong, L. T.; Hue, C. T.; Dung, N. T. T.; Hung, P. V.; Cuong, H. D.; Cuong, N. M. and Sirabaha, S. 2011. Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. *Inter. J. Climatology. Royal Meteorol. Soc. Crown Copyright.* 31:791-801.
- Gallant, A. J. and Karoly, D. J. 2010. A combined climate extremes index for the Australian Region. *J. Climate.* 23:6153-6165.
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático [equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y Reisinger, A. (Ed.)]. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.
- Klein-Tank, A.; Zwiers, F. W. and Zhang, X. 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate data and monitoring. WCDMP-No. 72. Chairperson Publication Board. WMO.* 52 p.

daytime temperatures occur in summer (Jun-Aug) and autumn (Oct-Jan), agreeing with those reported by Vincent *et al.* (2005) in South America for the summer (December to February) and autumn (Mar-May) as well.

Conclusions

In the South Gulf Coastal Plains region, the indices of extremes related to daily minimum and maximum temperature show significant changes, for decreasing as well as increasing for the study area in the period 1961-2007, being the most notorious: summer days, tropical nights, warm periods duration, frequency of warm nights and frequency of hot days.

The management of average index values of the extremes softens the variation found in the study area and allows a broader view of regional changes.

For the Gulf Coastal Plains region of Mexico, the increase in warm nights and hot days occur more during the summer and autumn, seasons that need preventive measurements due to the effects that these increases might have on living beings.

The frequency of warm nights has increased in such a way that is similar to the frequency of hot days in summer and higher in autumn. This implies the largest presence of the highest night temperatures.

End of the English version



- Medina, C.; Salazar, C. A. T. E. y Álvarez, P. J. L. 2010. Fisiografía y suelos. *In*: atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Tomo I. (Coords.). Florescano, E. y Ortiz, E. J. Gobierno del estado de Veracruz. México. 493 p.
- Sensoy, S.; Türkoglu, N.; Arkcakaya, A.; Ekici, M.; Ulupinar, Y.; Atay, H.; Tüvan, A. and Demirbas, H. 2013. Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. 6th. Atmospheric science symposium. Istanbul, Turkey. 214 p.
- Vázquez, A. J. L. 2010. Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología. México. 376p.
- Vincent, L. A.; Peterson, T. C.; Barros, B. R.; Marino, M. B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramírez, E.; Alves, L.M.; Ambrizzi, T.; Berlatto, M. A.; Grimm, A. M.; Marengo, J. A.; Molion, L.; Moncunill, D. F.; Rebello, E.; Anunciacao, M. T.; Quintana, J.; Santos, J. L.; Baez, J.; Coronel, G.; García, J.; Trebejo, I.; Bidegain, M.; Haylock, M. R. and Karoly, D. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*. 18:5011-5023.
- 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.
- 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.
- Zhang, X. and Feng, F. 2004. RCLimDex (1.0). Manual del usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J. L. CIIFEN.
- 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.