

TENDENCIAS DE TEMPERATURAS EXTREMAS EN ZACATECAS, MÉXICO*

EXTREME TEMPERATURE TRENDS IN ZACATECAS, MEXICO

Lina Elisa Santillán-Espinoza¹, Fidel Blanco-Macías², Rafael Magallanes-Quintanar¹, José Luis García-Hernández³, Julián Cerano-Paredes⁴, Olivia Delgadillo-Ruiz⁵ y Ricardo David Valdez-Cepeda^{2§}

¹Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Ingeniería. Zacatecas, Zacatecas, México. ²Centro Regional Universitario Centro Norte. Universidad Autónoma Chapingo. Zacatecas, Zacatecas, México. ³Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. Ejido Venecia, Tlahualilo, Durango. México. ⁴Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. INIFAP. Gómez Palacio, Durango, México. ⁵Unidad Académica de Matemáticas. Universidad Autónoma de Zacatecas. Zacatecas, Zacatecas. México. [§]Autor para correspondencia: vacrida@hotmail.com.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue estimar tendencias de las series de tiempo de temperaturas máximas y mínimas, registradas en 24 estaciones meteorológicas del estado de Zacatecas, para analizarlas con la técnica de regresión lineal simple. De las 24 series de temperatura máxima, 13 presentaron tendencia significativa ($p \leq 0.05$), seis negativa y siete positiva. En cambio, nueve de las 24 series de temperatura mínima, presentaron también tendencia significativa ($p \leq 0.05$), ocho negativas y una positiva. El promedio de todas las tendencias fue de 0.068 °C por decenio para temperatura máxima; mientras que la temperatura mínima fue -0.235 °C por decenio. El promedio de las tendencias positivas significativas de temperatura máxima fue 0.794 °C por decenio, mientras que la única tendencia positiva significativa de temperatura mínima fue de 0.496 °C por decenio. El promedio de las tendencias negativas significativas de temperatura máxima fue -0.648 °C por decenio, mientras que la temperatura mínima fue -0.705 °C por decenio. En general, los resultados sugieren que, en gran parte del territorio del estado de Zacatecas, la temperatura máxima se está incrementando y la temperatura mínima está disminuyendo. Ello es explicado porque la mayoría de las tendencias significativas de

ABSTRACT

The aim of this paper was to estimate the trends in time series of maximum and minimum temperatures, recorded at 24 weather stations of Zacatecas State, to analyze them with the simple linear regression technique. Out of the 24 series of maximum temperatures, 13 showed a significant trend ($p \leq 0.05$), six showed negative a trend and seven showed a positive one. In contrast, nine of the 24 series of minimum temperatures also showed significant a trend ($p \leq 0.05$), eight a negative one and one positive. The average of all trends was 0.068 °C per decade for maximum temperature; while for minimum temperature was -0.235 °C per decade. The average of significant positive trends in maximum temperature was 0.794 °C per decade, while the only significant positive trend of minimum temperature was 0.496 °C per decade. The average of significant negative trends of maximum temperature was -0.648 °C per decade, while for minimum temperature was -0.705 °C per decade. In general, the results suggest that, in most of the Zacatecas' territory the maximum temperature is increasing and, the minimum temperature is decreasing. This is because most of the significant trends of maximum temperatures were positive and most of the significant trends of minimum temperatures were negative.

* Recibido: marzo de 2011
Aceptado: agosto de 2011

temperatura máxima fueron positivas y la mayoría de las tendencias significativas de temperatura mínima fueron negativas.

Palabras clave: cambio climático, regresión lineal, temperatura máxima, temperatura mínima.

INTRODUCCIÓN

El interés sobre el cambio climático se ha incrementado en los últimos 30 años, debido principalmente a las predicciones a nivel global relacionadas con el efecto de invernadero, las cuales sugieren un incremento de la temperatura de la atmósfera terrestre (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b). Ese incremento ha sido de 0.084 ± 0.021 °C por decenio de 1901 a 2005 y de 0.268 ± 0.069 °C por decenio entre 1979 y 2005 (Brohan *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007), se ha asociado a causas antropogénicas (IPCC, 2001) o astronómicas (Landscheidt, 2000; Soon *et al.*, 2000a; 2000b).

El incremento continuo de gases, con efecto de invernadero previsto, originará un incremento sustancial de la temperatura del aire, un aumento en el nivel del mar, descongelamiento de los polos y glaciares, y sequías en el interior de los continentes (Houghton *et al.*, 1996; 2001). Algunos investigadores(as) prevén un incremento de temperatura global, pero han considerado modelos de simulación que toman en cuenta a las observaciones mensuales ajustadas a una malla de datos (base de datos 'Jones' de temperatura) o alguna otra técnica.

Por consiguiente, varios procedimientos incluyen problemas importantes de calidad como la presencia de valores extremos y cambios sustanciales de la media y la varianza (Balling *et al.*, 1998). Sin embargo, otros investigadores han notado que los cambios de la variabilidad de la temperatura, también son importantes para la determinación de distribuciones de la temperatura a futuro (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b), e inclusive los cambios de las temperaturas medias están asociados a cambios sustanciales de la ocurrencia de temperaturas extremas (Balling *et al.*, 1998). En otras palabras, puede ser instructivo el analizar el comportamiento de las temperaturas extremas.

El hemisferio norte mostró un enfriamiento durante el periodo de 1946 a 1975, mientras que el hemisferio sur registró un calentamiento; el periodo de 1976 al 2000 fue de calentamiento a nivel global, pero fue más pronunciado en

Key words: climate change, linear regression, maximum temperature, minimum temperature.

INTRODUCTION

The interest on climatic change has increased over the last 30 years, mainly due to global predictions related to the greenhouse effect, which suggest an increase in the atmosphere temperature (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b). This increase was of 0.084 ± 0.021 °C per decade from 1901 to 2005 and 0.268 ± 0.069 °C per decade between 1979 and 2005 (Brohan *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007), this has been associated to anthropogenic causes (IPCC, 2001) or astronomical causes (Landscheidt, 2000; Soon *et al.*, 2000a; 2000b).

The expected maintain continually rising in greenhouse gases will result in a substantial increase of air temperature, a rise in sea levels, melting of the poles and glaciers and, droughts in the interior of continents (Houghton *et al.*, 1996; 2001). Some researchers project an increase of global temperature but, they have considered simulation models that take into consideration the monthly observations adjusted to a data grid ('Jones' temperature database) or some other technique.

Consequently, several numbers of procedures include important quality issues, such as the presence of extreme values and substantial changes of the mean and variance (Balling *et al.*, 1998). However, other researchers have noted that changes in temperature's variability are also important for determining temperature distributions in the future (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b) and, even changes in mean temperatures are associated with substantial changes of extreme temperatures (Balling *et al.*, 1998). In other words, it may be fruitful to analyze the behavior of extreme temperatures.

The northern hemisphere showed a cooling during the 1946 to 1975 period, while the southern hemisphere recorded a warming, the period from 1976 to 2000 recorded a global warming but, it was more pronounced in the Northern Hemisphere continents during the winter compared to spring (Folland *et al.*, 2001). Besides this, the behavior of the mean maximum and minimum temperature at local level, suggests a cooling in many parts of the world (Folland *et al.*, 2001).

los continentes del hemisferio norte durante el invierno que con respecto a la primavera (Folland *et al.*, 2001). Además, el comportamiento de las temperaturas media, máxima y mínima a nivel local sugiere un enfriamiento en muchas partes del mundo (Folland *et al.*, 2001).

Las posibles implicaciones de esos resultados, han llevado a muchos científicos a examinar los registros climáticos de diferentes regiones del mundo, con el fin de comprender la variación de la temperatura (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a) y otros elementos climáticos. Un gran número de esos estudios se ha realizado con base a datos registrados de más de dos siglos en estaciones europeas (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b). Desafortunadamente, se carece de registros de largo plazo de elementos climáticos más de un siglo y siglo y medio, para muchas estaciones a través del continente americano, en particular para Latinoamérica (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b).

Varios métodos se han usado para caracterizar cuantitativamente a la variación de la temperatura. Con el propósito de evidenciar tendencias de incremento o decremento, lo más común es evidenciar la tendencia a largo plazo a través del análisis de regresión lineal simple (Montgomery *et al.*, 2007). La densidad de espectro potencial se ha usado en forma rutinaria (Király y Jánosi, 2002), con el fin de evidenciar periodicidades y sus posibles causas; es decir, fenómenos exógenos (fenómenos asociados a la actividad solar).

Con el fin de generar conocimiento sobre el comportamiento de las temperaturas extremas (máxima y mínima), a nivel mensual, las series de tiempo de 24 estaciones localizadas dentro del estado de Zacatecas, se analizaron mediante regresión lineal simple para estimar tendencias significativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las 24 estaciones meteorológicas (Cuadro 1) consideradas en el presente estudio, se localizan dentro del estado de Zacatecas. El área de estudio cubre una extensión territorial de 75 040 km²; esto representa el 3.83% del territorio nacional. Las coordenadas extremas son 25° 09' y 21° 04' latitud norte, y 100° 49' y 104° 19' longitud oeste. El territorio estatal se ubica en la Meseta Central de México, entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental (Figura 1).

Possible implications of these results have led many scientists to examine climate records from different regions of the world, in order to understand the temperature variation (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b) and other climatic elements. A large number of these studies have been done based on data recorded over two centuries in European stations (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b). Unfortunately, there is a lack of long-term records of climatic elements more than a century or a century and a half, for many stations across America, particularly for Latin America (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003a; 2003b).

Several methods have been used to quantitatively characterize the temperature variation. In order to show trends of increasing or decreasing, the most common way is to show the long-term trend through a simple linear regression analysis (Montgomery *et al.*, 2007). The potential spectral density has been used routinely (Király and Jánosi, 2002) to show periodicities and their possible causes; i. e., exogenous phenomena (phenomena associated with solar activity).

In order to generate knowledge about the behavior of extreme temperatures (maximum and minimum) of every month, time series of 24 stations located within the Zacatecas State were analyzed by a simple linear regression to estimate the significant trends.

MATERIALS AND METHODS

Studied area

The 24 weather stations (Table 1) considered in this paper are located in Zacatecas State. The studied area has a surface of 75 040 km², this represents 3.83% of the country. Extreme coordinates are 25° 09' and 21° 04' north latitude and, 100° 49' and 104° 19' west longitude. The State is located in the Central Plateau of Mexico, between the Sierra Madre Oriental and Sierra Madre Occidental (Figure 1).

Extreme temperatures databases

The analyzed data were long-term series (≥ 30 years; i. e., $n \geq 360$ observations) of monthly extreme temperatures; i. e., data sets of monthly minimum and maximum temperatures recorded in 24 weather stations located in Zacatecas State,

Cuadro 1. Listado de estaciones, altitud y coordenadas geográficas.
Table 1. List of stations, elevation and geographical coordinates.

Número	Estación	Municipio	Altitud (m)	Latitud norte	Longitud oeste
1	Aguanueva	Villa de Cos	1 932	23° 46' 55"	102° 09' 39"
2	Boca del Tesorero	Jerez	2 045	22° 49' 20"	102° 57' 05"
3	Calera	Calera de V. R.	2 192	22° 54' 00"	102° 39' 00"
4	Caopas	Mazapil	2 000	24° 46' 52"	102° 10' 16"
5	Cedros	Mazapil	1 763	24° 40' 43"	101° 46' 26"
6	Concepción del Oro	Concepción del Oro	1 940	24° 37' 16"	101° 23' 26"
7	El Arenal	Sombrerete	2 010	23° 39' 01"	103° 26' 52"
8	El Cazadero	Río Grande	1 898	23° 41' 35"	103° 26' 50"
9	El Platanito	Valparaíso	990	22° 36' 43"	104° 03' 05"
10	El Sauz	Fresnillo	2 090	23° 10' 47"	103° 12' 26"
11	Excamé III	Tepechitlán	1 740	21° 38' 58"	103° 20' 23"
12	Gruñidora	Mazapil	1 825	24° 16' 19"	101° 53' 05"
13	Jiménez del Teúl	Jiménez del Teúl	1 900	23° 15' 18"	103° 47' 54"
14	La Bufa	Zacatecas	2 612	22° 47' 00"	102° 34' 00"
15	La Villita	Tepechitlán	1 790	21° 36' 08"	103° 20' 13"
16	Los Campos	Villa García	2 102	22° 01' 05"	101° 51' 15"
17	Nochistlán	Nochistlán	1 850	21° 21' 55"	103° 50' 32"
18	Ojocaliente	Ojocaliente	2 050	22° 24' 38"	102° 16' 09"
19	Potrero de Gallegos	Valparaíso	2 000	22° 38' 52"	103° 41' 54"
20	Sombrerete	Sombrerete	2 351	22° 38' 20"	103° 37' 55"
21	Tecomate	Jalpa	1 375	21° 32' 40"	103° 02' 32"
22	Villa García	Villa García	2 120	22° 10' 10"	101° 57' 27"
23	Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	2 167	22° 20' 49"	101° 42' 55"
24	Zacatecas	Zacatecas	2 485	22° 45' 39"	102° 34' 30"



Figura 1. Mapa del estado de Zacatecas, México; en el cual se ubican las estaciones meteorológicas involucradas en el estudio.

Figure 1. Map of Zacatecas State, Mexico; in which the weather stations involved in the study are located.

Mexico (Table 1). The data were provided by the National Water Commission (CONAGUA), the official institution in charge of registration of climatological and meteorological data in Mexico.

Analysis of extreme temperature series

The scatter plots of each time series allowed the identification of outliers (values outside the range given by mean ± 1.96 standard deviation) which were eliminated. Then, the intercept (associated to the origin) and the slope were calculated through linear regression analysis using Excel (Microsoft, 2007). The levels of significance (p) of the intercept β_0 and, the slope of β_1 were also estimated. Considering the following equation:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (1)$$

Bases de datos de temperaturas extremas

Los datos analizados fueron series de largo plazo (≥ 30 años; es decir, $n \geq 360$ observaciones) de temperaturas extremas mensuales; es decir, conjuntos de datos de temperaturas mínima y máxima mensual registradas en 24 estaciones meteorológicas localizadas en el estado de Zacatecas, México (Cuadro 1). Los datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la institución oficial a cargo del registro de los datos climatológicos y meteorológicos en México.

Análisis de las series de temperaturas extremas

Los gráficos de dispersión de cada una de las series de tiempo, permitieron identificar datos extremos (valores fuera del rango dado por media ± 1.96 desviación estándar) que fueron eliminados. Después de este análisis se calcularon el intercepto (ordenada asociada al origen) y la pendiente a través del análisis de regresión lineal, mediante el programa de Excel (Microsoft, 2007). Los niveles de significancia (p) del intercepto β_0 y la pendiente de la recta β_1 también se estimaron. Para ello se consideró la ecuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (1)$$

Donde: y = temperatura, es la variable dependiente; x = tiempo en meses, es la variable independiente; β_0 = ordenada al origen; β_1 = pendiente o el cambio promedio de temperatura (y), producido por un cambio unitario de tiempo (x). La hipótesis nula sometida a prueba ($p = 0.05$) fue $H_0: \beta_1 = 0$. Las pendientes (positivas o negativas) estimadas a nivel anual se transformaron a nivel de decenio; es decir, se calcularon al multiplicar la tendencia o pendiente estimada por 10 (años que conforman el decenio): $\beta_1 * 10$; la razón fue que se requiere un valor de referencia y comparación debido a que las series difieren en duración (n).

Definición del escenario de tendencias de temperaturas extremas para cada estación

Después de estimar las tendencias de las temperaturas extremas, el escenario para cada estación se definió al considerar las situaciones posibles consignadas en la Figura 2, con base en tendencias no significativas y significativas a $p \leq 0.05$.

Where: y = temperature, is the dependent variable; x = time in months, is the independent variable; β_0 = intercept; β_1 = slope or the average change of temperature (y), produced by a unit change of time (x). The null hypothesis tested ($p = 0.05$) was $H_0: \beta_1 = 0$. The slopes (positive or negative) estimated at annual level became at decade level; i. e., they were calculated by multiplying the trend or estimated slope by 10 (years that make up the decade): $\beta_1 * 10$; the reason was because a reference and a comparison value are required because the series differ in length (n).

Definition of the scenario of extreme temperature trends for each season

After estimating the extreme temperature trends, the scenario for each station was defined by considering the possible scenarios contained in Figure 2, based on non-significant trends and significant at $p \leq 0.05$.

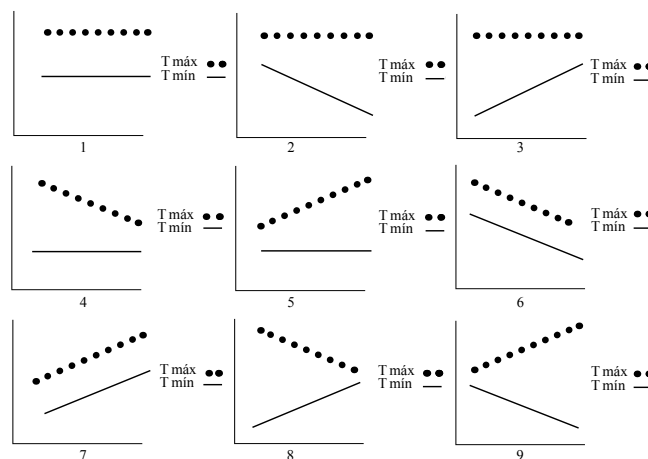


Figura 2. Escenarios posibles al considerar tendencias de temperatura máxima (Tmáx••) y mínima (Tmín-).
Figure 2. Possible scenarios when considering trends in maximum temperature (Tmax••) and minimum (Tmin-).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of this paper suggest different climate change scenarios, considering the extreme temperature trends on a monthly basis (Table 2, 3 and 4), in 24 locations of Zacatecas' territory.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo sugieren diversos escenarios de cambio climático, al considerar las tendencias de las temperaturas extremas a nivel mensual (Cuadros 2, 3 y 4), en 24 localidades del territorio zacatecano.

Maximum temperature

Out of the 24 series of maximum temperatures, 13 had significant trends ($p \leq 0.05$), six negative and seven positive (Table 2). The series whose trend is negative correspond to the stations: Boca del Tesorero, Calera, Cedros, Grunidora, Villa Hidalgo and Zacatecas; while the series with positive

Cuadro 2. Resultados del análisis de regresión lineal y tendencias de temperatura máxima por estación.**Table 2. Results of linear regression analysis and maximum temperature trends by station.**

Estación	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	p	Tendencia (°C decenio ⁻¹)
Agua Nueva	52.3172	-0.0106	0.4277	-0.106
Boca del Tesoro	120.277	-0.046	0.0032	-0.46
Calera	96.8983	-0.0349	0.0001	-0.349
Caopas	32.7274	-0.0012	0.9478	-0.012
Cedros	195.195	-0.0821	2.8662 E-05	-0.821
Concepción del Oro	-90.1128	0.0596	9.3035 E-07	0.596
El Arenal	102.054	-0.0369	0.0559	-0.369
El Cazadero	43.1167	-0.0064	0.5193	-0.064
El Platanito	54.239	-0.0090	0.4479	-0.09
El Sauz	17.4327	-0.0061	0.4148	-0.061
Excamé III	16.9992	0.0072	0.2867	0.072
Gruñidora	297.513	-0.1334	2.1362 E-16	-1.334
Jiménez del Teúl	-102.624	0.0667	4.832 E-09	0.667
La Bufa	-82.1549	0.0524	0.1867	0.524
La Villita	-177.211	0.1058	5.6258E-25	1.058
Los Campos	-251.186	0.1406	8.713E-07	1.406
Nochistlán	19.686	0.0054	0.436	0.054
Ojocaliente	20.1965	0.0045	0.642	0.045
Potrero de Gallegos	-71.8113	0.0505	0.0274	0.505
Sombrerete	-187.276	0.1076	0.001	1.076
Tecomate	-15.1461	0.0247	0.0017	0.247
Villa García	35.3186	-0.0033	0.6932	-0.033
Villa Hidalgo	132.411	-0.0524	5.6684 E-05	-0.524
Zacatecas	106.498	-0.0403	1.1301 E-07	-0.403

Cuadro 3. Resultados del análisis de regresión lineal y tendencias de temperatura mínima por estación.**Table 3. Results of linear regression analysis and minimum temperature trends by station.**

Estación	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	p	Tendencia (°C decenio ⁻¹)
Agua Nueva	-6.5381	0.0049	0.8177	0.049
Boca del Tesoro	54.0613	-0.0253	0.2773	-0.253
Calera	-3.0068	0.0026	0.8795	0.026
Caopas	-3.7045	0.0034	0.892	0.034
Cedros	27.4519	-0.0113	0.6568	-0.113
Concepción del Oro	76.3005	-0.036	0.0339	-0.36
El Arenal	67.0223	-0.0325	0.3222	-0.325
El Cazadero	-36.175	0.0193	0.3447	0.193
El Platanito	88.0956	-0.0393	0.0244	-0.393
El Sauz	16.6156	-0.0073	0.5295	-0.073

Cuadro 3. Resultados del análisis de regresión lineal y tendencias de temperatura mínima por estación (Continuación).
Table 3. Results of linear regression analysis and minimum temperature trends by station (Continuation).

Estación	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	p	Tendencia (°C decenio ⁻¹)
Excamé III	110.642	-0.0535	2.1367 E-05	-0.535
Gruñidora	123.097	-0.0603	0.0125	-0.603
Jiménez del Teúl	45.0167	-0.021	0.2431	-0.21
La Bufo	-70.8195	0.0379	0.5171	0.379
La Villita	-91.0046	0.0496	0.0019	0.496
Los Campos	354.463	-0.1764	0.0005	-1.764
Nochistlán	108.079	-0.0515	1.4446 E-05	-0.515
Ojocaliente	96.5569	-0.0476	0.0157	-0.476
Potrero de Gallegos	47.2395	-0.0229	0.5778	-0.229
Sombrerete	-33.1476	0.0186	0.7179	0.186
Tecomate	51.4387	-0.0228	0.0693	-0.228
Villa García	25.6961	-0.0108	0.3413	-0.108
Villa Hidalgo	200.966	-0.0992	6.3848 E-07	-0.992
Zacatecas	-28.3074	0.0168	0.1518	0.168

Temperatura máxima

De las 24 series de temperatura máxima, 13 presentaron tendencia significativa ($p \leq 0.05$), seis negativa y siete positiva (Cuadro 2). Las series cuya tendencia es negativa corresponden a las estaciones Boca del Tesorero, Calera, Cedros, Gruñidora, Villa Hidalgo y Zacatecas; mientras que las series con tendencia positiva fueron las de Concepción del Oro, Jiménez del Teúl, La Villita, Los Campos, Potrero de Gallegos, Sombrerete y Tecomate.

El promedio de todas las tendencias fue de 0.068 °C por decenio; este valor se incluye en el rango 0.084 $\pm$ 0.021 °C de incremento decenal (desde 1901 a 2005) de la temperatura global estimado por Brohan *et al.* (2006); Trenberth *et al.* (2007). El promedio de las tendencias negativas fue de -0.356 °C por decenio, mientras que las tendencias positivas fue de 0.568 °C por decenio. Los promedios de las tendencias significativas fueron -0.648 °C y 0.794 °C por decenio para las negativas y positivas, respectivamente.

Temperatura mínima

Nueve de las 24 series de temperatura mínima presentaron también tendencia significativa ($p \leq 0.05$), ocho negativa y una positiva (Cuadro 3). Las series con tendencia negativa fueron las de Concepción del Oro, El Platanito, Excamé III, Gruñidora, Los Campos, Nochistlán, Ojocaliente y Villa Hidalgo; en tanto que la serie con tendencia positiva fue la de La Villita (0.496 °C por decenio).

trend were: Concepción del Oro, Jiménez del Teúl, La Villita, Los Campos, Potrero de Gallegos, Sombrerete and Tecomate.

Cuadro 4. Listado de estaciones y escenarios de acuerdo a las tendencias de las temperaturas extremas máxima y mínima.

Table 4. Stations and scenarios list based on trends of extreme maximum and minimum temperatures.

Estación	Escenario								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Agua Nueva	X								
Boca del Tesoro				X					
Calera				X					
Caopas	X								
Cedros				X					
Concepción del Oro									X
El Arenal	X								
El Cazadero	X								
El Platanito		X							
El Sauz	X								
Excamé III		X							
Gruñidora						X			
Jiménez del Teúl					X				
La Bufo	X								
La Villita							X		
Los Campos									X
Nochistlán		X							
Ojocaliente		X							
Potrero de Gallegos					X				
Sombrerete					X				
Tecomate					X				
Villa García	X								
Villa Hidalgo						X			
Zacatecas				X					
Total	7	4	0	4	4	2	1	0	2

El promedio de todas las tendencias fue de -0.235°C por decenio. El promedio de las tendencias negativas fue de -0.448°C por decenio, mientras que el de las tendencias positivas fue de 0.191°C por decenio. El promedio de las tendencias negativas significativas fue -0.705°C por decenio. Estos resultados en conjunto, coinciden con lo reportado por Folland *et al.* (2001), en el sentido de que el comportamiento de la temperatura mínima a nivel local, sugiere un enfriamiento en muchas partes del mundo.

En general los resultados de los dos tipos de temperatura extrema, no se contraponen a lo reportado como incremento a nivel global de $0.084 \pm 0.021^{\circ}\text{C}$ por decenio de 1901 a 2005 y de $0.268 \pm 0.069^{\circ}\text{C}$ por decenio de 1979 y 2005 (Brohan *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007), ya que el llamado calentamiento del planeta tierra ha sido evidenciado sobre la base de temperaturas medias a los niveles mensual y anual.

Debe remarcarse, que los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por algunos investigadores, para otras localidades y regiones en el sentido de presentarse tendencias de decremento e incremento en ambos tipos de temperatura extrema dependiendo de la localidad. Ello implica, que los resultados son una evidencia que puede haber tendencias locales y regionales sin representatividad a nivel global, como previamente fue señalado por Ruiz *et al.* (2000); Valdez-Cepeda *et al.* (2003a).

Escenarios con base en tendencias de temperaturas extremas

Los valores absolutos mayores de tendencias por decenio, fueron positivas y negativas para la temperatura máxima de 1.406°C (Los Campos) y -1.334°C (Gruñidora), respectivamente. En cuanto a la temperatura mínima, los valores absolutos mayores fueron 0.496°C (La Villita) y -1.764°C (Los Campos), para tendencia positiva y negativa, respectivamente. Esto significa que las tendencias de ambas temperaturas sugieren que en Los Campos, la oscilación térmica se ha incrementado; es decir, esta localidad presenta el escenario 9 de la Figura 2, junto con Concepción del Oro (Figura 3). Los resultados de escenarios posibles se presentan en el Cuadro 4.

Otras estaciones donde fue evidente el incremento de la oscilación térmica, asociada a un incremento de la temperatura máxima, las presentaron el escenario 5: Jiménez del Teúl, Potrero de Gallegos, Sombrerete y Tecamate.

The average of all trends was 0.068°C per decade; this value is included in the range $0.084 \pm 0.021^{\circ}\text{C}$ of decennial increase (from 1901 to 2005) of global temperature, estimated by Brohan *et al.* (2006); Trenberth *et al.* (2007). The average of negative trends was -0.356°C per decade, while the positive trend was 0.568°C per decade. The averages of significant trends were -0.648°C and 0.794°C per decade for negative and positive, respectively.

Minimum temperature

Nine out of the 24 series of minimum temperature also showed significant trends ($p \leq 0.05$), eight negative and one positive (Table 3). The series with negative trend were: Concepción del Oro, El Platanito, Excamé III, Grunidora, Los Campos, Nochistlán, Ojocaliente and Villa Hidalgo; while the series with positive trend was La Villita (0.496°C per decade).

The average of all stripes was -0.235°C per decade. The average of negative trends was -0.448°C per decade, while the positive trend was 0.191°C per decade. The average of significant negative trends was -0.705°C per decade. These results are consistent with those reported by Folland *et al.* (2001), as the behavior of the minimum temperature at the local level suggests a cooling in many parts of the world.

In general, the results of the two types of extreme temperature are not opposed to what is reported as an increase at global level of $0.084 \pm 0.021^{\circ}\text{C}$ per decade from 1901 to 2005 and $0.268 \pm 0.069^{\circ}\text{C}$ per decade from 1979 to 2005 (Brohan *et al.*, 2006; Trenberth *et al.*, 2007), as the so-called global warming has been demonstrated based on mean temperatures at monthly and annual levels.

It should be noted that, the obtained results coincide with those reported by some researchers for other locations and regions as there are increasing and decreasing trends in both types of extreme temperature, depending on location. This implies that, the results are an evidence that there may be local and regional trends which are globally unrepresentative, as previously reported by Ruiz *et al.* (2000); Valdez-Cepeda *et al.* (2003a).

Scenarios based on trends of extreme temperatures

The highest absolute values of trends per decade were positive and negative for the maximum temperature of 1.406°C (Los Campos) and -1.334°C (Grunidora),

También el incremento de la oscilación térmica, se asoció a un decremento de la temperatura mínima (escenario 2) en El Platanito, Excamé III, Nochistlán y Ojocaliente.

Una disminución de la oscilación térmica puede asociarse al decremento significativo de la temperatura máxima (escenario 4), como fueron en Boca del Tesorero, Calera, Cedros y Zacatecas. Ninguna estación se asoció a los escenarios 3 y 8, de incrementos significativos de solo temperatura mínima y de incremento de temperatura mínima y decremento de temperatura máxima, respectivamente.

Tres escenarios contemplan mantener la oscilación térmica sin cambio significativo. El escenario 1 sin tendencia significativa en ambas temperaturas extremas, se asoció a las estaciones Aguanueva, Caopas, El Arenal, El Cazadero, El Sauz, La Bufa y Villa García. El escenario 6 (tendencia negativa significativa en los dos tipos de temperatura extrema), se presentó en los casos de las estaciones Gruñidora y Villa Hidalgo, lo cual sugiere que ambas localidades presentan una situación de enfriamiento, coincidiendo con lo reportado por Folland *et al.* (2001). Por el contrario, La Villita presentó el escenario 7 asociado a tendencia positiva significativa en los dos tipos de temperatura extrema; es decir, a un claro calentamiento del aire en esa localidad.

A nivel del territorio estatal, el promedio de todas las tendencias de temperatura máxima mensual fue de 0.068 °C por decenio, mientras que la temperatura mínima mensual fue de -0.235 °C por decenio. Este resultado puede interpretarse como un incremento de la oscilación térmica general en el estado de Zacatecas. Sin embargo, los resultados son una evidencia de tendencias locales y regionales, sin representatividad a nivel global; es decir, implican cambio climático en 17 de 24 localidades, con base en el comportamiento de las temperaturas extremas.

Los resultados por localidad y tendencia de ambas temperaturas extremas, indican la discrepancia entre el calentamiento global evidenciado por Brohan *et al.* (2006); Trenberth *et al.* (2007). Inclusive, los correspondientes a las localidades El Platanito, Excamé III, Nochistlán, Ojocaliente, Jiménez del Teúl, Potrero de Gallegos, Sombrerete, Tecomate, Concepción del Oro y Tecomate son evidencias claras de incremento de oscilación térmica a nivel mensual. También esos resultados sugieren particularidades dignas de ser consideradas a nivel local, para tomar

respectively. As for the minimum temperature, the highest absolute values were 0.496 °C (La Villita) and 1.764 °C. (Los Campos), for positive and negative trends, respectively. This means that both temperature's trends suggest that in Los Campos, the temperature variation has increased; this locality presents the 9th scenario of Figure 2, along with Concepción del Oro (Figure 3). The results of possible scenarios are presented in Table 4.

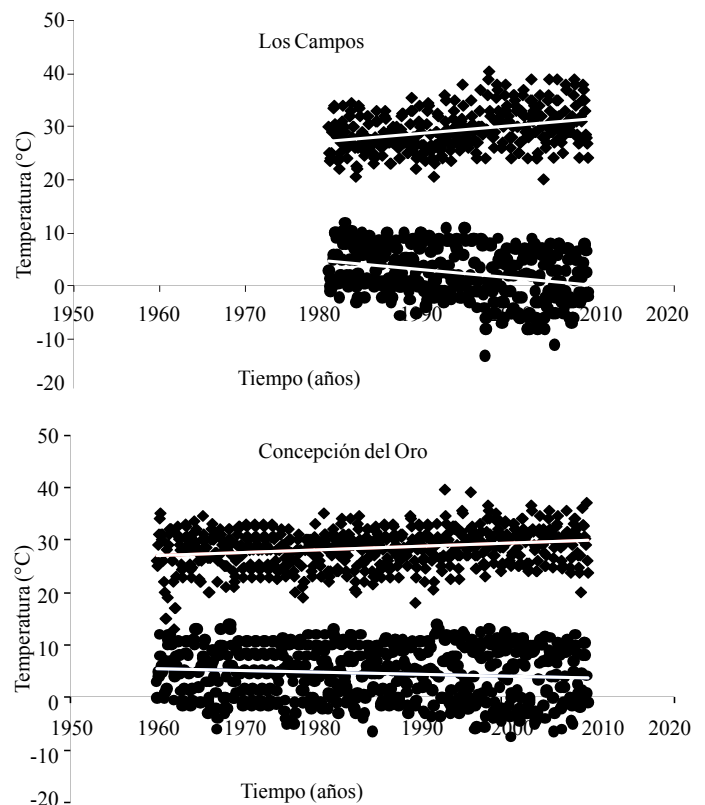


Figura 3. Regresiones lineales simples para las temperaturas máxima (♦) y mínima (●), registradas en dos localidades.

Figure 3. Simple linear regression for the maximum (♦) and minimum (●) temperatures recorded in two localities.

Other stations where the increase of temperature's variation was quite evident and associated with an increase in maximum temperature were presented in scenario 5: Jiménez del Teúl, Potrero de Gallegos, Sombrerete and Tecomate. Also the rise of the temperature's variation was associated with a decrease in minimum temperature (scenario 2) in El Platanito, Excamé III, Nochistlán and Ojocaliente.

decisiones acertadas, al menos en lo concerniente al manejo de los recursos naturales, involucrados en actividades de producción animal y vegetal.

Implicaciones posibles en la producción animal

En la aéreas de influencia de las localidades (Jiménez del Teúl, Potrero de Gallegos, Sombrerete, Tecomate, La Villita, Concepción del Oro y Los Campos), donde se evidenció un incremento de la temperatura máxima, lo cual ocurre durante el verano, es posible que se presenten cambios de comportamiento y fisiológicos en los animales de manera que afecten la reproducción y el éxito reproductivo (Epperson y Salesky, 2002). Esos cambios se refieren al agobio por calor (Epperson y Salesky, 2002) e incluyen: incremento de la tasa de respiración, incremento de la temperatura rectal, incremento en el consumo de agua, decremento de consumo de alimento, decremento de la ganancia en peso y decremento de actividad.

Un agobio por calor muy avanzado se caracteriza por la descoordinación, el colapso y la muerte. Para contrarrestar estos problemas, es una realidad la tecnología de expresión genética que permite la identificación específica de genes que se activan o desactivan durante periodos de agobio. Por lo tanto, un esquema alternativo es la incorporación de genes específicos termo-tolerantes de la raza cebú en animales de otras razas (europeas o americanas), evitando la transferencia de genes indeseables (Hansen, 2004).

Implicaciones posibles en la producción vegetal

En las áreas representativas de las 17 estaciones con evidencias de cambios significativos de temperatura (Cuadros 2 y 3), es importante considerar las implicaciones que conllevan los escenarios que corresponden (Cuadro 4). Entonces, un especial cuidado deben de tener los productores de frijol en Sombrerete, Zacatecas porque se aprecia un incremento de la temperatura máxima (Cuadro 2, escenario 4 en el Cuadro 4), pues Lobell y Field (2007) reportaron impactos negativos del incremento de la temperatura sobre la producción de granos básicos (trigo, arroz, maíz, soya, cebada y sorgo) a nivel global.

Los 7 escenarios evidenciados con base en las temperaturas extremas sugieren que los patrones de cambio climático y sus impactos pueden ser diversos, tanto espacial como temporalmente, en el territorio zacatecano (Cuadro 4). Entonces, la sensibilidad de respuesta de los cultivos a la

A decrease in the temperature oscillation may be associated with the significant decrease of maximum temperature (scenario 4), as in Boca del Tesorero, Calera, Cedros and Zacatecas. No station was associated with scenarios 3 and 8, of significant increases, only in minimum temperature and minimum temperature increase and decrease of maximum temperature, respectively.

Three scenarios contemplate to maintaining the temperature oscillation without significant change. Scenario 1 with no significant trend in both extreme temperatures was associated with Aguanueva, Caopas, El Arenal, El Cazadero, The Sauz, La Bufa and Villa García stations. Scenario 6 (significant negative trend in the two types of extreme temperature) was presented in the case of Grunidora and Villa Hidalgo stations, suggesting that both sites have a cooling situation, coinciding with those reported by Folland *et al.* (2001). In contrast, La Villita had the scenario 7 associated with significant positive trend in the two types of extreme temperature; i. e., a clear warming of air in this locality.

At the State's territory level, the average of all monthly maximum temperature trends was 0.068 °C per decade, while the monthly minimum temperature was -0.235 °C per decade. This result can be interpreted as an increase in general temperature's variation in Zacatecas. However, the results are an evidence of local and regional trends with no global representation at all; i. e., they involve climatic change in 17 out of the 24 locations, based on the behavior of extreme temperatures.

The results by location and trend of both temperatures, indicate a discrepancy between global warming evidenced by Brohan *et al.* (2006); Trenberth *et al.* (2007). Even the locations of El Platanito, Excamé III, Nochistlán, Ojocaliente, Jiménez del Teúl, Potrero de Gallegos, Sombrerete, Concepción del Oro and Tecomate are clear evidence of increased thermal oscillation on a monthly basis. Also, these results suggest peculiarities worthy of consideration at local level in order to make good decisions, at least regarding to the management of natural resources involved in plant and animal production activities.

Possible implications in animal production

In the influenced areas of the localities (Jiménez del Teúl, Potrero de Gallegos, Sombrerete, Tecomate, La Villita, Concepción del Oro and Los Campos), where an increase of

variación de la temperatura puede ser también afectada por las de otros factores climáticos (precipitación pluvial), lo cual sugiere un papel potencial del manejo para la adaptación de los cultivos al cambio climático (Tao *et al.*, 2006) en las áreas que representan las estaciones.

Sin embargo, es posible inducir impactos potenciales de incremento de la producción al considerar medidas de adaptación (Lobell y Field, 2007), tal como lo hacen los agricultores al cambiar las fechas de siembra y usar diferentes materiales genéticos. Otra opción es cambiar el patrón de cultivos, mediante la promoción del cultivo de especies con mejor productividad del agua; es decir, de especies que tienen la capacidad de producir más biomasa por unidad de agua evapotranspirada. Al igual que en el caso de la producción animal, otra alternativa es la transferencia de genes termo-tolerantes, entre diversas fuentes de germoplasma, con el fin de desarrollar variedades e híbridos tolerantes al agobio por calor.

CONCLUSIONES

Con base en las series de temperaturas extremas registradas en 24 estaciones localizadas en territorio Zacatecano, se evidenciaron 7 escenarios de cambio climático. Diez estaciones se asociaron a un comportamiento de las temperaturas extremas, que se vincularon a un incremento de oscilación térmica. Solo en La Villita se evidenció incremento tanto de la temperatura máxima como de la mínima. El promedio general de las 24 tendencias fue de 0.068 °C por decenio, para temperatura máxima; mientras que en el caso de temperatura mínima fue de -0.235 °C por decenio.

Las tendencias de ambas temperaturas extremas sugieren particularidades (7 escenarios) dignas de ser consideradas a nivel local, para tomar decisiones acertadas en lo que concierne al manejo de los recursos naturales, propios de actividades de producción animal y vegetal.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Zacatecas (por el financiamiento del proyecto núm. ZAC-2004-C01-0007).

the maximum temperature was shown, which occurs during the summer, there may be behavioral and physiological changes in animals that could affect reproduction and reproductive success (Epperson and Salesky, 2002). These changes are related to heat stress (Epperson and Salesky, 2002) and include: increased breathing rate, increased rectal temperature, increased water consumption, decreased food consumption, decreased weight gain and decreased activity.

A very advanced heat stress is characterized by the lack of coordination, collapse and death. In order to counter these problems, technology of gene expression is now a reality, it allows the specific identification of genes that are activated or deactivated during periods of strain. Therefore, an alternative scheme is the incorporation of specific thermo-tolerant genes of the zebu in other breeds animals (European or American) avoiding the transfer of undesirable gene (Hansen, 2004).

Possibly implications in plant production

In the representative areas of the 17 stations with evidence of significant temperature changes (Tables 2 and 3) it is important to consider the implications of the corresponding scenarios (Table 4). Bean producers must have special care in Sombrerete, Zacatecas, because there is an increase of the maximum temperature (Table 2, scenario 4 in Table 4), as Lobell and Field (2007) reported negative impacts of increased temperature on the production of basic grains (wheat, rice, maize, soybeans, barley and sorghum) globally.

The seven evidenced scenarios based on extreme temperatures suggest that, the patterns of climate change and its impacts may be different, both spatially and temporally in Zacatecas (Table 4). Then, the sensitivity of crop response to temperature variation can also be affected by other climatic factors (rainfall), suggesting a potential role for the management of crop adaptation to climate change (Tao *et al.*, 2006) in areas represented by the stations.

However, it is possible to induce the potential impacts of increased production, considering adaptation measurements (Lobell and Field, 2007), as farmers do when they change planting dates and use different genetic materials. Another option is to change the cropping pattern by promoting the cultivation of species with better water

LITERATURA CITADA

- Balling, R. C. Jr.; Vose, R. S. and Weber, G. R. 1998. Analysis of long-term European temperature records: 1751-1995. *Clim. Res.* 10:193-200.
- Brohan, P.; Kennedy, J. J.; Harris, I.; Tett, S. F. B. and Jones, P. D. 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new data set from 1850. *J. Geophys. Res.* 111:D12106.
- Epperson, B. and Salesky, D. 2002. Effects of high heat and humidity on reproduction in cattle. College of Agriculture & Biological Sciences. South Dakota State University. USDA. URL: <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx2018.pdf>.
- Folland, C. K.; Karl, T. R.; Christy, J. R.; Clarke, R. A.; Gruza, G. V.; Jouzel, J.; Mann, M. E.; Oerlemans, J.; Salinger, M. J. and Wang, S. W. 2001. Observed climate variability and changes. *In*: Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J.; Noguer, M.; van den Linden, P. J.; Dai, X.; Maskell, K. and Johnson, C. A. (eds.). *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 99-181 pp.
- Hansen, P. J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reprod. Sci.* 82-83:349-360.
- Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G.; Callander, B. A.; Harris, N.; Kattenberg, A. and Maskell, K. 1996. *Climate change 1995: the science of climate change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 584 p.
- Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J.; Noguer, M.; van der Linden, P. J.; Dai, X.; Maskell, K. and Johnson, C. A. 2001. *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 881 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climatic change 2001: synthesis report, contribution of working group I and III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Király, A.; and Jánosi, M. 2002. Stochastic modeling of daily temperature fluctuations. *Phys. Rev. E*. 65:051102. 6 p.

productivity; i. e., species with the capacity to produce more biomass per unit of evapotranspired water. As in the case of animal production, another alternative is the transfer of heat-tolerant genes among diverse sources of germplasm in order to develop varieties and hybrids tolerant to heat stress.

CONCLUSIONS

Based on the series of extreme temperatures recorded in 24 stations located in Zacatecas, 7 scenarios of climate change were evidenced. Ten stations were associated with extreme temperatures; this behavior was linked to an increased thermal oscillation. Only in La Villita, increases in both, maximum and minimum temperature were demonstrated. The overall average of the 24 trends was 0.068 °C per decade, for the maximum temperature; while in the case of minimum temperature it was of -0.235 °C per decade.

Trends of both extreme temperatures suggest peculiarities (7 scenarios) worthy of consideration at the local level to make informed decisions regarding to the management of natural resources, typical of animal and plant's production activities.

End of the English version



- Landscheidt, T. 2000. Solar wind near earth: indicator of variations in global temperature. *Proceedings of the 1st solar and space weather Euro-Conference on the solar cycle and terrestrial climate*. Santa Cruz de Tenerife, España. 497-500 pp.
- Lobell, D. B. and Field, C. B. 2007. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ. Res. Lett.* 2:1-7.
- Microsoft Corporation. 2007. *Microsoft Office Excel 2007. Part of Microsoft Office Enterprise*. One Microsoft Way, Redmond, WA 98052-6399. URL: <http://office.microsoft.com/en-us/excel/default.aspx>.
- Montgomery, D. C.; Peck, E. A. and Geoffrey, V. G. 2007. *Introducción al análisis de regresión lineal*. 3^{ra}. Edición, 4^{ta} Reimpresión, Grupo Editorial Patria. D. F., México. 588 p.

- Ruiz, C. J. A.; Ramírez, D. J. L.; Flores, M. F. J. y Sánchez, G. J. J. 2000. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Fitotecnia*. 23(2):169-181.
- Scafetta, N. and West, B. J. 2003. Solar flare intermittency and the Earth's temperature anomalies. *Phys. Rev. Lett.* 90:248701. 4 p.
- Soon, W.; Baliunas, S.; Posmentier, E. S. and Okeke, P. 2000a. Variations of solar coronal whole area and terrestrial tropospheric air temperature from 1979- to mid-1998: astronomical forcings of change in earth's climate? *New Astron.* 4:563-579.
- Soon, W.; Soon, W. and Baliunas, S. 2000b. Climate hypersensitivity to solar forcing? *Ann. Geophys. Atm. Hydr.* 18:583-588.
- Tao, F.; Yokozawa, M.; Xu, Y.; Hayashi, Y. and Zhang, Z. 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agric. Forest Meteorol.* 138:82-92.
- Trenberth, K. E.; Jones, P. D.; Ambenje, P.; Bojariu, R.; Easterling, D.; Klein Tank, A.; Parker, D.; Rahimzadeh, F.; Renwick, J. A.; Rusticucci, M.; Soden, B. and Zhai, P. 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. *In: Solomon, S.; Qin D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group in the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Valdez-Cepeda, R. D.; Hernández-Ramírez, D.; Mendoza, B.; Valdés-Galicia, J. and Maravilla, D. 2003a. Fractality of monthly extreme minimum temperature. *Fractals*. 11:137-144.
- Valdez-Cepeda, R. D.; Mendoza, B.; Díaz-Sandoval, R.; Valdés-Galicia, J.; López-Martínez, J. D. and Martínez-Rubín de Celis, E. 2003b. Power-spectrum behavior of yearly mean grain yields. *Fractals*. 11(3):295-301.