

CAMBIO CLIMÁTICO: TENDENCIAS DE TEMPERATURAS EXTREMAS EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA 36 Y ÁREAS ALEDAÑAS

CLIMATE CHANGE: TRENDS IN EXTREME TEMPERATURES IN THE REGION HYDROLOGICAL 36 AND SURROUNDING AREAS

S. Morales Pliego¹, R. D. Valdez Cepeda^{2,3} y J. O. Inzunza López¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Apartado Postal No. 8. Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez Km. 40. CP 35230 Bermejillo, Dgo., MÉXICO.

²Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro-Norte. Cruz del Sur No. 100, Col. Constelación. Apdo. Postal 196, CP 98085, El Orito Zacatecas, Zac., MÉXICO.

³Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Matemáticas. Cuerpo Académico de Sistemas Complejos. Paseo Solidaridad s/n. CP 98064, Zacatecas, Zac., MÉXICO

RESUMEN. Dados los cambios drásticos que se están suscitando hoy en día con respecto a fenómenos meteorológicos atribuidos al cambio climático y la poca información que se tiene de análisis de registros sobre todo de temperaturas en México, se analizaron series de datos de temperaturas extremas (máximas y mínimas), de 23 estaciones localizadas entre 22°40' y 26°45' LN y entre 101° 30' y 106° 20' LW, a través regresión lineal simple para estimar sus tendencias significativas. En 15 de las 23 estaciones consideradas las series presentan tendencias lineales significativas en los dos tipos de temperaturas extremas. Sin embargo, en las ocho restantes al menos uno de los dos tipos de temperatura extrema (máxima o mínima) presentó tendencia lineal significativa ($p < 0.05$). En el caso de la temperatura máxima, las estaciones con las tendencias de incremento mayores son Cuencamé y El Sauz, con 0.308 y 0.203°C por decenio, respectivamente. Con respecto a la temperatura mínima, las tendencias de incremento (por decenio) mayores corresponden a las estaciones San Pedro de Las Colonias y Ciudad Lerdo, con 0.547 y 0.487°C, respectivamente.

Palabras clave: cambio climático, temperaturas extremas, tendencias

SUMMARY. Given the dramatic changes occurring today regarding weather phenomenon attributed to climate change and the little information conforming records of temperature, especially in Mexico, we analyzed datasets from extreme temperatures (maximum and minimum) of 23 stations between localized 22°40' and 26°45'NL and between 101° 30' and 106° 20' WL, through simple linear regression to estimate significant trends. In 15 of the 23 considered stations the series have significant linear trends in the two types of extreme temperatures. However, in the remaining eight at least one of the two types of temperature extremes (maximum or minimum) showed significant ($p < 0.05$) linear trend. In the case of maximum temperature, stations with larger increasing trends are Cuencamé and El Sauz with 0.308 and 0.203°C per decade, respectively. With respect to the minimum temperature rise, higher trend per decade values correspond to San Pedro de Las Colonias and Ciudad Lerdo stations with 0.547 and 0.487°C, respectively.

Key words: climate change, extreme temperatures, trends

INTRODUCCIÓN

El interés sobre el cambio climático se ha venido incrementando desde hace más 30 años debido principalmente a las predicciones globales asociadas con el efecto de invernadero, el cual parece indicar un

incremento sustancial en la temperatura de la superficie terrestre de 0.06 °C por decenio en el siglo XX y de 0.19°C por decenio entre 1978 y 1998 (Houghton *et al.*, 1996; Houghton *et al.*, 2001) debido a causas antropogénicas (IPCC, 2001) o a causas astronómicas (Landscheidt, 2000; Soon *et al.*, 2000a; Soon *et al.*,

2000b). El incremento continuo de gases con efecto de invernadero originará un incremento sustancial en la temperatura, un incremento en el nivel del mar, descongelamiento de los polos y glaciares, y sequía en el interior de los continentes (Houghton *et al.*, 1996). Las implicaciones de tales resultados han llevado a muchos científicos a examinar los registros climáticos de diferentes regiones del mundo a fin de comprender el comportamiento de la temperatura. Un gran número de esos estudios se ha llevado a cabo utilizando registros de más de dos siglos de datos de estaciones europeas. Desafortunadamente, existe carencia de registros de largo plazo de temperaturas mensuales de más de un siglo y/o siglo y medio para muchas estaciones a través del continente americano, en particular para Latinoamérica. Por lo tanto, existen cuestiones serias acerca de la confiabilidad y la representatividad de los registros europeos de largo plazo.

Adicionalmente, pocos estudios (Cusbach *et al.*, 1996; Decqué *et al.*, 1998; Jones *et al.*, 1997) han concluido que el incremento de la temperatura para territorio europeo con latitudes de medias a altas será sustancialmente mayor que el incremento esperado en todo el planeta. En estos estudios, los investigadores han considerado modelos de simulación que toman en cuenta las observaciones mensuales ajustadas a una malla de datos (e. g. la base de datos Jones para temperatura) o alguna otra técnica. Consecuentemente, varios procedimientos incluyen problemas de calidad como la presencia de valores extremos y grandes cambios en la media y la varianza (Balling *et al.*, 1998). Sin embargo, muchos investigadores han notado que los cambios en la variabilidad de la temperatura también son importantes en la determinación de las distribuciones de la temperatura a futuro (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003) pues los cambios en las temperaturas medias están asociados con cambios sustanciales en la ocurrencia de las temperaturas extremas (Balling *et al.*, 1990). En otras palabras, puede ser instructivo conocer la complejidad de los datos de temperaturas extremas cuando estos se ordenan como una secuencia en el tiempo así como la determinación de la existencia del caos.

Varios métodos se han usado para caracterizar cuantitativamente el comportamiento de la temperatura. Para evidenciar tendencias de incremento o decremento, lo más común es evidenciar la tendencia de largo plazo a través del análisis de regresión lineal simple (Wibig y Glowicki, 2002). En el decenio de 1990, después de los acuerdos intergubernamentales, más estudios se realizaron mediante el análisis de la temperatura máxima y mínima (IPCC, 1990, 1992). En enormes

masas de tierra de la República Popular de China, el sudeste de Australia, la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y Estados Unidos se ha identificado una disminución de la temperatura (Quintana-Gómez, 1999). Los análisis más recientes en ese sentido han incluido a Sudán, Sudáfrica, Egipto, Kenya y Uganda en África, el este de Australia, Japón, Dinamarca, el norte de Finlandia, Pakistán, y algunas islas del Pacífico (Quintana-Gómez, 1999).

Tendencia de temperaturas máximas

Tedesco (2009), como una manera de explicar la fusión de capas de hielo en el Ártico, describió una investigación realizada en Groenlandia en 2008. El estudio consideró a nueve estaciones climatológicas, las cuales contaban con datos dentro del período de 1979 al 2008 según registros de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, <http://www.ncdc.noaa.gov>). En cada estación fue examinada la tendencia a largo plazo de la temperatura máxima para los meses de junio, julio y agosto (JJA) (Cuadro 1). Dicho análisis indicó que en cinco de las nueve estaciones (Pituffik, Nuuk, Narsarsuaq, Danmarkshavn y Prins Christian Sund) se establece un nuevo cambio record de clima, de acuerdo a la tendencia de la temperatura máxima para JJA, con valores entre 2.5 y 3°C. Las estaciones de Aasiaat y Qaqortoq ocupan el cuarto lugar desde 1979, el segundo lugar Tasiilaq y el sexto lo ocupa Kangerlussuaq (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tendencias, valores de *P*, y coeficiente de correlación para la temperatura media máxima superficial a través de junio, julio y agosto en nueve estaciones.

Estaciones	Tendencia (°C/decada)	<i>P</i>	<i>R</i>
Pituffik	0.553	0.05	0.36
Aasiaat	0.990	$1.7 \cdot 10^{-5}$	0.69
Kangerlussuaq	0.863	$5.5 \cdot 10^{-4}$	0.59
Nuuk	1.130	$2.1 \cdot 10^{-5}$	0.69
Narsarsuaq	1.054	$6.4 \cdot 10^{-6}$	0.72
Qaqortoq	0.59	$3.2 \cdot 10^{-3}$	0.52
Danmarkshavn	0.85	$5.9 \cdot 10^{-5}$	0.66
Tasiilaq	1.016	$1.9 \cdot 10^{-7}$	0.79
Prins Christian Sun	1.111	$2.2 \cdot 10^{-6}$	0.74

Fuente: Environmental Research Web (2009)

Tendencias de temperaturas mínimas

Jáuregui (2005), en México, examinó los cambios de temperaturas ocurridos al final del siglo XX considerando al grado de urbanización como uno de los principales agentes causales de incrementos de las temperaturas, y analizó 14 estaciones. El análisis que aplicó fue el de tendencias a las series de temperatura mínima obteniendo el coeficiente de regresión lineal. Al aplicar

Cuadro 2. Estadísticas de tendencias de temperatura mínima, nivel de significancia y población de medianas y grandes ciudades de México

Población > 10 ⁶	Tendencia °C/década	Periodo evaluado	Población 2000 X 1000	% Significancia
Tacubaya (D. F.)	0.62	1920-1995	17.942	99.95
Guadalajara	0.74	1920-1997	3.677	99.95
Monterrey	0.27	1960-1986	3.243	<75
Puebla	0.02	1976-1995	2.220	<75
Tijuana	0.59	1949-1984	1.274	99.5
León	0.59	1959-1998	1.235	99
Torreón	1.2	1952-1998	1.000	99.9
Media	0.57			
Población				
10 ⁶ - 10 ⁴				
Cd. Obregón	0.85	1961-1998	251	>95
Cuernavaca	0.18	1956-1994	705	75
Chihuahua	0.37	1950-1997	677	95
Tampico	0.34	1961-1997	664	90
Zacatecas	0.30	1961-1997	232	90
Guanajuato	0.19	1969-1997	748	<75
Mexicali	0.40	1951-1980	549	75
Media	0.37			

Fuente: *Atmósfera* (2005)

pruebas de significancia observó que la mayoría de las tendencias positivas fueron significativas ($p > 90\%$).

Aunque la variabilidad en las tendencias de temperatura entre las ciudades fue grande (de 0.02°C/década a 0.74°C/década), el incremento de la temperatura promedio en las ciudades grandes (eH10⁶ habitantes) fue considerablemente mayor (0.57°C/década) que en los centros urbanos correspondientes de tamaño medio, en los que el incremento en la temperatura promedio fue de 0.37°C/década; y considera que los cambios y variabilidad de las temperaturas tienen que ver por un lado con el grado de urbanización (ciudades grandes y medianas) así como con el cambio climático (Cuadro 2).

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

La Región Hidrológica 36 se encuentra estructurada por el sistema de escurrimiento ordenado de dos importantes ríos, Nazas y Aguanaval, que fluyen de Oeste a Este y de Sur a Norte, con un gradiente altitudinal de 3,310 y de 2,900 msnm a 1100 msnm respectivamente. Está formada por una extensa zona cerrada de 91,700 km² que se ubica en la parte árida y semiárida del país entre 22°40' y 26°35' de latitud norte y entre 101°30' y 106°20' de longitud oeste.

La mayor parte de esta región se ubica en el Estado de Durango, otra parte en el Estado de Zacatecas y una tercera porción sobre el suroeste de Coahuila (Figura 1).

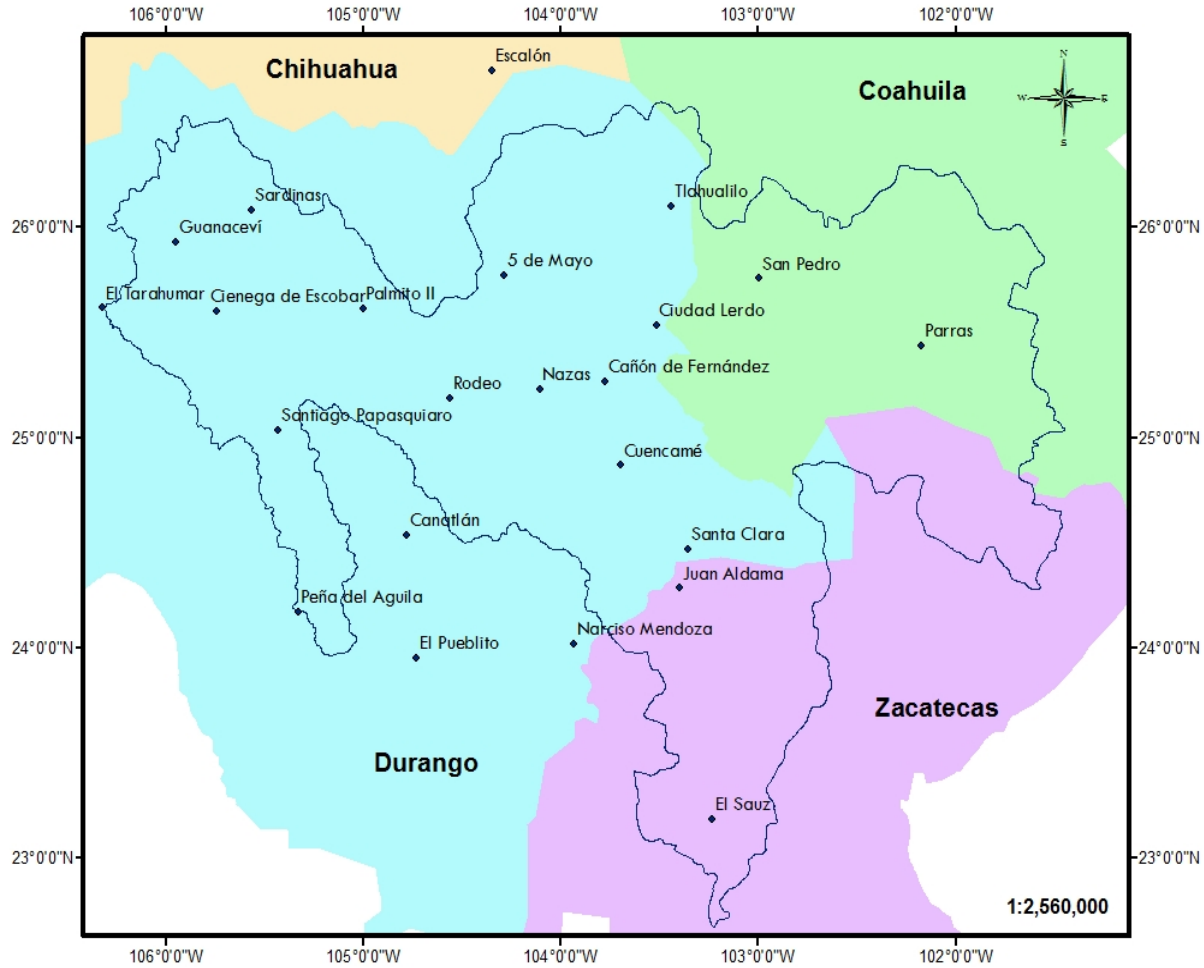


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y distribución de las estaciones climatológicas consideradas para el análisis.

Datos analizados

Utilizando la base de datos de la Extracción Rápida de Información Climática (ERIC III; IMTA, 2007) se seleccionaron las estaciones que comprende la Región Hidrológica 36, realizándose una homogeneización de los datos: ordenando y sistematizando la información por medio de hojas en Excel. En principio se dispuso de los registros de 54 estaciones consideradas en la región de estudio. Cada una de la series se sujetó a una primera revisión con base a su cantidad de observaciones. Así, se consideraron las series con más de 30 años de datos efectivos.

Se contó con un total de 23 estaciones con registros de más de 30 años. En los casos que hubo (días) faltantes, estos se sustituyeron por la moda de los datos existentes considerando el día del caso.

Posteriormente, se procedió a utilizar el método estadístico de la regresión lineal para identificar las

tendencias de las temperaturas extremas. Las gráficas de dispersión fueron útiles para encontrar datos extraños. La ecuación estimada con el procedimiento de mínimos cuadrados permitió observar el valor de la pendiente, es decir, la tendencia de incremento o decremento de los datos analizados.

Statistica (StatSoft, 2000) fue el software utilizado principalmente para encontrar los niveles de significancia ($p < 0.05$) para las tendencias resultantes (H_0 : pendiente = 0).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los registros o series de las estaciones analizadas con 30 o más años efectivos, en cuestión de datos completos de temperaturas extremas (máximas y mínimas), corresponden a los estados de: Chihuahua (1), Coahuila (2), Zacatecas (2) y Durango (18). Las generalidades de cada una de las estaciones pueden apreciarse en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Atributos principales de las estaciones y tendencias de temperatura máxima (en negrita $p < 0.05$)

Estación	Latitud		Longitud Oeste	Periodo	Ordenada al origen β_0	Pendiente, β_1	Probabilidad p	Tendencia $^{\circ}\text{C}/10$ años
	mnm	Norte						
5 de Mayo, San Pedro del Gallo, Durango (Laguna)	1700	25.773	104.288	1964-2003	28.64925383	-0.000134879	5.74E-35	-0.4923087
Canatlán, Canatlán, Durango	2000	24.333	104.783	1962-2001	28.31580005	-0.000382962	3.106E-262	-1.39781197
Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango (Laguna)	1200	25.365	103.774	1964-2003	29.79676663	4.90038E-05	0.00023611	0.14601386
Ciénega de Escobar, Durango, Durango	2144	25.601	105.746	1965-2000	23.3387089	-8.80656E-05	6.8092E-14	-0.32143946
Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango (Laguna)	1135	25.333	103.517	1960-2003	28.85211784	-7.83905E-06	0.43820059	-0.02861252
Cuencamé, Cuencamé, Durango (Laguna)	1600	24.367	103.696	1953-2003	29.15779905	8.4586E-05	1.0668E-28	0.30873875
El Pueblo, Durango, Durango	1889	23.95	104.733	1964-2003	25.41452793	-7.2913E-05	6.4204E-16	-0.26613258
El Sauz, Fresnillo, Zacatecas	2050	23.183	103.233	1947-2002	25.1423718	5.56037E-05	3.2244E-27	0.20295362
El Tarahumar, Tepicuanes, Durango	2435	25.617	106.324	1965-2003	19.85164263	-8.51607E-05	1.1749E-19	-0.3108365
Escalón, Jiménez, Chihuahua	1263	26.75	104.35	1961-2001	30.80771791	-0.000263978	2.3227E-96	-0.95351916
Guanaceví, Guanaceví, Durango	2300	25.933	105.952	1923-2003	22.91792648	3.10203E-05	6.7332E-20	0.11322395
Juan Aldama, Zacatecas, Zacatecas	2125	24.382	103.397	1964-2003	27.54678487	-0.000142902	3.5288E-48	-0.52159288
Narcizo Mendoza, Poanas, Durango	1910	24.917	103.933	1964-2003	26.31521912	1.26154E-06	0.88119558	0.00460463
Nazas, Nazas, Durango (Laguna)	1300	25.23	104.107	1966-2003	30.98998021	-0.000115344	1.1134E-23	-0.42100451
Palmito II, Durango, Durango	1600	25.614	105.004	1938-2003	27.60924339	4.80328E-05	1.1897E-22	0.17531957
Parras, Parras de la Fuente, Coahuila	1500	25.438	102.173	1961-2003	27.65783932	-1.74681E-05	0.10073262	-0.06375862
Peña del Águila, Durango, Durango	1896	24.167	105.333	1964-2003	25.14043657	1.59109E-05	0.06299265	0.05807472
Rodeo, Rodeo, Durango (Laguna)	1450	25.186	104.563	1945-2003	31.46150525	-0.000128754	5.9597E-98	-0.46995091
San Pedro de las Colonias, Coahuila (Laguna)	1100	25.757	102.996	1964-2003	30.46064836	-7.39223E-05	1.4139E-09	-0.26981631
Santiago Papasquiaro, Santiago Papasquiaro, Durango	1716	25.033	105.433	1939-2003	27.42579067	3.61639E-05	6.3287E-14	0.1320054
Sardinas, San Bernardo, Durango	1639	26.084	105.566	1971-2003	26.50095034	-0.000111255	1.1827E-16	-0.40608123
Santa Clara, Santa Clara, Durango	1800	24.469	103.353	1964-2003	27.57466634	-2.64948E-05	0.00943062	-0.0967059
Tlahualilo, Tlahualilo, Durango (Laguna)	1100	26.101	103.441	1964-2003	30.93375933	-5.36732E-05	2.2002E-05	-0.19590729

Cuadro 4. Atributos principales de las estaciones y tendencias de temperatura mínima (en negrita $p < 0.05$)

Estación	msnm	Latitud Longitud		Periodo	Ordenada al origen $\hat{\beta}_0$	Pendiente, $\hat{\beta}_1$	Probabilidad p	Tendencia $^{\circ}\text{C}/10$ años
		Norte	Oeste					
5 de Mayo, San Pedro del Gallo, Durango (Laguna)	1700	25.773	104.288	1964-2003	8.50685582	0.00011466	3.4286E-25	0.41851892
Canatlán, Canatlán, Durango	2000	24.533	104.783	1962-2001	8.82896589	0.00010471	2.4906E-18	0.38220035
Cañón de Fernández, Cuencamé, Durango (Laguna)	1200	25.265	103.774	1964-2003	14.5566858	-6.6444E-06	0.57869302	-0.02425205
Ciénega de Escobar, Durango, Durango	2144	25.601	105.746	1965-2000	6.46022378	-3.2092E-05	0.00859184	-0.11713492
Ciudad Lerdo, Lerdo, Durango (Laguna)	1135	25.533	103.517	1960-2003	12.5616247	0.00013361	8.3088E-35	0.48768662
Cuencamé, Cuencamé, Durango (Laguna)	1600	24.867	103.696	1953-2003	12.2555758	7.3634E-05	7.978E-26	0.26876388
El Puelito, Durango, Durango	1889	23.95	104.733	1964-2003	12.3931186	-0.00039505	0.00000001	-1.44194793
El Salto, Fresnillo, Zacatecas	2050	23.183	103.233	1947-2002	7.14894486	-2.3049E-05	0.00014536	-0.08412749
El Tarahumar, Tepicuanes, Durango	2435	25.617	106.324	1965-2003	1.63152261	-7.6059E-05	4.33E-08	-0.27761544
Escalón, Jiménez, Chihuahua	1263	26.75	104.35	1961-2001	11.3629417	-0.00014197	3.5641E-26	-0.51817615
Guanajuato, Guanajuato, Durango	2300	25.933	105.952	1923-2003	7.02443011	3.9306E-06	0.27939947	0.01434673
Juan Aldama, Zacatecas, Zacatecas	2125	24.282	103.397	1964-2003	10.7051327	-8.2987E-05	4.0085E-18	-0.30290282
Narciza, Mendoza, Poanas, Durango	1910	24.017	103.933	1964-2003	7.76238595	5.5508E-05	4.3508E-08	0.20260373
Nazas, Nazas, Durango (Laguna)	1300	25.23	104.107	1966-2003	11.5834977	-6.8084E-05	3.7089E-06	-0.24850646
Palmito II, Durango, Durango	1600	25.614	105.004	1938-2003	10.9613912	6.119E-05	4.8362E-33	0.22334267
Parras, Parras de la Fuente, Coahuila	1500	25.438	102.173	1961-2003	13.2319673	-5.491E-05	9.0928E-09	-0.20042211
Peña del Águila, Durango, Durango	1896	24.167	105.333	1964-2003	8.95871007	-7.4323E-05	1.4847E-11	-0.27127932
Rodeo, Rodeo, Durango (Laguna)	1450	25.186	104.563	1945-2003	10.996425	-6.0596E-05	1.3433E-17	-0.2211746
San Pedro de las Colonias, Coahuila (Laguna)	1100	25.757	102.996	1964-2003	11.3238622	0.00015011	3.6485E-31	0.54788885
Santiago Papasquiaro, Santiago Papasquiaro, Durango	1716	25.033	105.433	1939-2003	8.04302451	1.0243E-05	0.06887507	0.03738664
Sardinas, San Bernardo, Durango	1639	26.084	105.566	1971-2003	7.85115964	-0.00024849	8.4809E-48	-0.90698151
Santa Clara, Santa Clara, Durango	1800	24.469	103.353	1964-2003	8.12248866	3.0444E-05	0.00876035	0.11112232
Tlahualilo, Tlahualilo, Durango (Laguna)	1100	26.101	103.441	1964-2003	11.3159034	-1.2928E-05	0.36150939	-0.04718719

Temperaturas máximas

En el análisis de la temperatura máxima, las estaciones que cuentan con mayores decrementos son: Canatlán y Escalón; por decenio presentaron un valor decreciente de "1.39 ÚC y "0.96ÚC, respectivamente (Cuadro 4). Con respecto al incremento de la temperatura máxima, los valores mayores corresponden a las estaciones de Cuencamé, y El Sauz; la tendencia creciente por decenio fue de 0.30ÚC y 0.20ÚC, respectivamente (Cuadro3).

Todas las estaciones con incremento de temperatura máxima (Cuadro 3) presentaron tendencias mayores al incremento sustancial en la temperatura de la superficie terrestre de 0.06 °C por decenio en el siglo XX. E inclusive, Cuencamé y El Sauz mostraron incrementos mayores a la tendencia global de aumento de 0.19°C por decenio entre 1978 y 1998 (Houghton *et al.*, 1996; Houghton *et al.*, 2001).

La tendencia de la temperatura máxima con menor valor de decremento por decenio corresponde a la estación de Santa Clara con "0.096ÚC (Cuadro 3); mientras que el mínimo incremento lo tiene la estación de Guanaceví con una tendencia por decenio de 0.11 ÚC (Cuadro 3).

Temperaturas mínimas

Para el caso del análisis del comportamiento de las temperaturas mínimas y considerando el nivel de significancia de $p < 0.05$, los mayores decrementos por decenio corresponden a las estaciones El Pueblito con "1.44ÚC y Sardinias, con un valor de "0.90ÚC (Cuadro 4). Las estaciones con mayores incrementos por decenio son San Pedro de las Colonias con un incremento de 0.54ÚC y Ciudad Lerdo con incremento de 0.49ÚC (Cuadro 4). En general, dichos incrementos son mayores que el incremento sustancial en la temperatura de la superficie terrestre de 0.06°C por decenio en el siglo XX y de 0.19°C por decenio entre 1978 y 1998 (Houghton *et al.*, 1996; Houghton *et al.*, 2001), excepto el asociado a Santa Clara, en el último caso. Además, San Pedro presentó un incremento por decenio mayor al promedio correspondiente a las ciudades con una población mayor a 10^6 , según Jáuregui (2005; Cuadro 2).

Asimismo, los valores mínimos de decremento e incremento significativos ($p < 0.05$) de la temperatura mínima corresponden a las estaciones: El Sauz con "0.084 y Santa Clara con 0.11ÚC (Cuadro 4).

Escenarios de temperaturas extremas

En el Cuadro 5 se aprecian ocho escenarios producidos por el comportamiento de las series de temperaturas extremas máximas y mínimas de las 23 estaciones

consideradas. El escenario en que se incluyen las estaciones Ciénega de Escobar, El Pueblito, El Tarahumar, Escalón, Juan Aldama, Nazas, Rodeo y Sardinias, es caracterizado por el hecho de que los dos tipos de temperaturas extremas decrecen de manera significativa ($p < 0.05$) de tal manera que la oscilación térmica se mantiene.

Otro escenario se caracteriza porque los dos tipos de temperatura extrema se incrementan de manera significativa ($p < 0.05$). En él se incluye a las estaciones Cuencamé y El Palmito II. Un tercer escenario se caracteriza por una disminución de la oscilación térmica ya que la temperatura máxima tiende a disminuir y la mínima a incrementarse. Tal caso corresponde a las estaciones 5 de Mayo, Canatlán, San Pedro y Santa Clara.

La estación de El Sauz presentó tendencias significativas ($p < 0.05$) de incremento de la temperatura máxima y de decremento de la temperatura mínima, de manera que su escenario se manifiesta por un aumento de la oscilación térmica.

Por su parte, las estaciones Ciudad Lerdo y Narciso Mendoza solo mostraron un incremento significativo ($p < 0.05$) de su temperatura mínima. Así su escenario es de reducción de la oscilación térmica. En contraste, en los casos de las estaciones Parras y Peña de Águila, la oscilación térmica se ha incrementado debido a una tendencia significativa ($p < 0.05$) de decremento de la temperatura mínima.

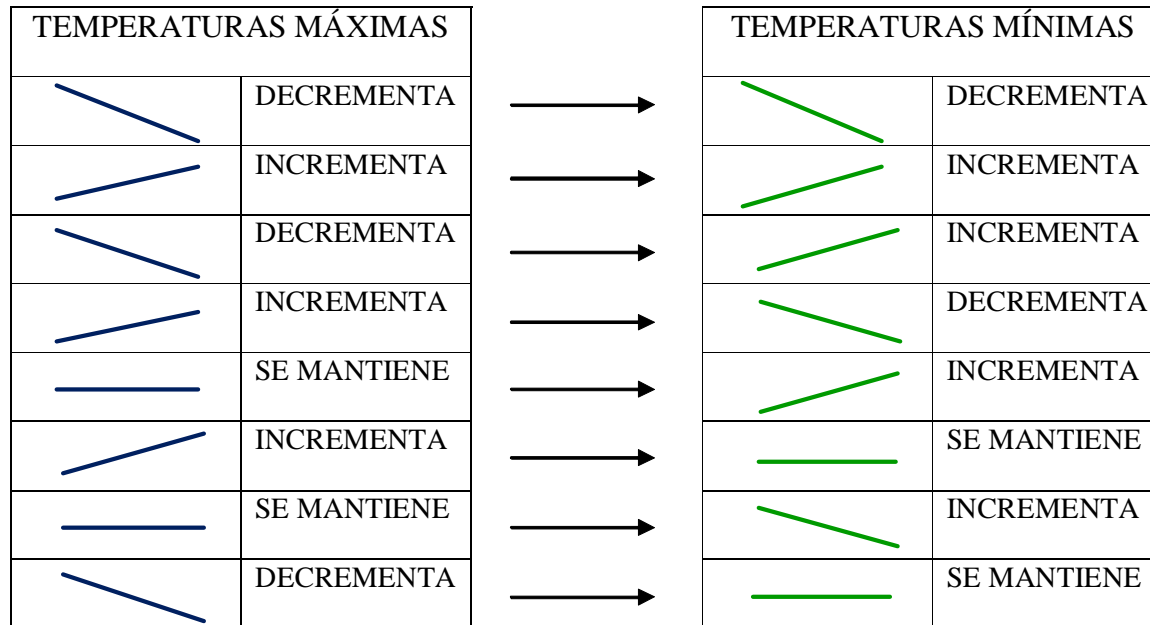
La oscilación térmica en las estaciones Cañón de Fernández, Guanaceví y Santiago Papasquiario se ha incrementado debido a una tendencia significativa ($p < 0.05$) de incremento de la temperatura máxima. Y, por el contrario, la oscilación térmica ha disminuido en Tlahualilo porque la tendencia de temperatura máxima decreciente es significativa ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

En 15 de las 23 estaciones consideradas las series presentan tendencias lineales significativas en los dos tipos de temperaturas extremas. Sin embargo, en las ocho restantes al menos uno de los dos tipos de temperatura extrema (máxima o mínima) presentó tendencia lineal significativa ($p < 0.05$).

En las estaciones El Sauz, Parras, Peña del Águila, Cañón de Fernández, Guanaceví y Santiago Papasquiario se ha incrementado significativamente ($p < 0.05$) la oscilación térmica. Mientras que en las estaciones 5 de Mayo, Canatlán, San Pedro, Santa Clara, Ciudad Lerdo, Narciso Mendoza y Tlahualilo, las oscilación

Cuadro 5. Escenarios de tendencias de las temperaturas extremas (máximas y mínimas).



térmica ha menguado. En Ciénega de Escobar, El Pueblito, El Tarahumar, Escalón, Juan Aldama, Nazas, Rodeo, Sardinas, Cuencamé y Palmito II, la oscilación térmica se ha mantenido casi constante.

Para el caso de la temperatura máxima, las estaciones con mayores decrementos son: Canatlán, Durango y Escalón; por decenio presentaron un valor decreciente de "1.39 ÚC y "0.96ÚC, respectivamente. Con respecto al incremento de la temperatura máxima, los valores mayores corresponden a las estaciones de Cuencamé, Durango y El Sauz; la tendencia creciente por decenio fue de 0.30ÚC y 0.20ÚC, respectivamente.

Para el caso de las temperaturas mínimas y considerando $p < 0.05$, los mayores decrementos por decenio corresponden a las estaciones de El Pueblito con "1.44ÚC y Sardinas con un valor de "0.90ÚC. Las estaciones con mayores incrementos por decenio son San Pedro con 0.54ÚC y Ciudad Lerdo con 0.49ÚC.

LITERATURACITADA

Atmósfera. 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. [Documento en línea]. vol.18, n.4. Consultado el 31/marzo/ 2010. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/img/revistas/atm/v18n4/a04t1.jpg>
 Balling, R.C. Jr.; Skindlov, J.A. and Philips, D.H. 1990. The impact of increasing summer mean temperatures on extreme maximum and minimum temperatures in Phoenix, Arizona, *J. Climate* **3**, pp. 1491"1494.

Balling, R.C. Jr.; Vose, R.S. and Weber, G."R. 1998. Analysis of long"term European temperature records: 1751"1995, *Clim. Res.* **10**, pp. 193"200.

Comisión do proxecto Esmelle. 2006. Resumen de conclusiones de Informe Stern: los costos del cambio climático, Ferrol (A Coruña)- Galicia. [Documento en línea]. Consultado el 31/marzo/ 2010. Disponible en: <http://www.blogoteca.com/pesmelle/index.php?%20mes=11&ano=2006>

Cusbasch, U.; von Storch, H.; Waszkewitz, J. and Zorita, E. 1996. Estimation of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output, *Clim. Res.* **7**, pp. 129"149.

Decqué, M.; Marque, P. and Jones, R.G. 1998. Simulation of climate change over Europe using a global variable resolution general circulation model, *Clim. Dyn.* **14**, pp. 173"189.

Environmental research web. Monitoring Greenland's melting. 2009. [Documento en línea]. Consultado el 20/marzo/2010. Disponible en: <http://environmentalresearchweb.org/cws/article/opinion/38610>

Hernández, E.; Cony, M.; Del Teso, T. 2008. "Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe" *Atmosfera* **21**(4): 389-401.

Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguera, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K. and Johnson, C.A. (Eds.). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge.

Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Callander, B.A.; Harris, N.; Kattenberg, A. and Maskell, K. (Eds.). 1996. *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2007. Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0. Software. http://www.csva.gob.mx/sih/info/pag_ficha_datos.php?xficha=905#mas_info
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, 362 pp.
- IPCC. 1992. *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, 200 pp.
- IPCC. 2001. *Climatic Change 2001: synthesis report*, Contribution of Working Group 1 and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jáuregui, E. 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmósfera*. [Documento en línea]. vol.18, n.4. Consultado el 21/marzo/2010, pp. 249"252. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018762362005000400004&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0187"6236.
- Jones, R.G.; Murphy, J.M.; Noguer, M. and Keen, A.B. 1997. Simulation of climate change over Europe using a nested regional climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide, *Q.J.R. Meteorol. Soc.* **123**, pp. 265"292.
- Landscheidt, T. 2000. Solar wind near Earth: Indicator of variations in global temperature, *Proceedings of the 1st Solar and Space Weather Euroconference on the Solar Cycle and Terrestrial Climate*, Santa Cruz de Tenerife, España, pp. 497"500.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). 2007. Cuarto informe de evaluación. Boletín de prensa, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. [Documento en línea]. Consultado el 22/marzo/2010 en: [http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/documentos/boletin_prensa/boletin_ar4"2.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/documentos/boletin_prensa/boletin_ar4)
- Quintana" Gomez, R.A. 1999. Trends of Maximum and Minimum Temperatures in Northern South America. *J. Climate*, **12**, 2104–2112. [Documento en línea]. Consultado el 21/marzo/2010 en: [http://ams.allenpress.com/perlserv/?doi=10.1175%2F1520"0442\(1999\)012%3C2104:TOMAMT%3E2.0.CO%3B2&request=get"document](http://ams.allenpress.com/perlserv/?doi=10.1175%2F1520)
- 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**, pp. 563"579.
- Soon, W., Soon, W.; and Baliunas, S. 2000b. Climate hypersensitivity to solar forcing? *Ann. Geophysic."* *Atm. Hydr.* **18**, pp. 583"588.
- StatSoft, Inc. (2000). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749"1119, fax: (918) 749"2217, email: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>
- Tedesco, M. 2009. Clima: Climate Change: The Next Generation. Monitoring Greenland's melting. [Documento en línea]. Consultado el 23 de marzo/2010. Disponible en: <http://climatechange-psychology.blogspot.com/2009/04/marco-tedesco-describes-research-on.html>.
- Valdez" Cepeda, R.D.; Hernández" Ramírez, D.; Mendoza, B., Valdés" Galicia, J. and Maravilla, D. 2003. Fractality of monthly extreme minimum temperature, *Fractals* **11**, pp. 137"144.
- Wibig, J. and Glowicki, B. 2002. Trends in minimum and maximum temperature in Poland. *Clim Res* **20**:123-133