



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Ruíz Álvarez, Osías; Espejel Trujano, Daniel; Ontiveros Capurata, Ronald Ernesto;  
Enciso, Juan M.; Galindo Reyes, Manuel Antonio; Quesada Parga, Mario Leonel;  
Grageda Grageda, José; Ramos Reyes, Rodimiro; Ruíz Corral, José Ariel  
Tendencia de temperaturas máximas y mínimas mensuales en Aguascalientes, México  
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 13, enero-febrero, 2016, pp. 2535-2549  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Tendencia de temperaturas máximas y mínimas mensuales en Aguascalientes, México\*

### Monthly trend of maximum and minimum temperatures in Aguascalientes, Mexico

Osías Ruíz Álvarez<sup>1§</sup>, Daniel Espejel Trujano<sup>2</sup>, Ronald Ernesto Ontiveros Capurata<sup>3</sup>, Juan M. Enciso<sup>4</sup>, Manuel Antonio Galindo Reyes<sup>5</sup>, Mario Leonel Quesada Parga<sup>6</sup>, José Grageda Grageda<sup>7</sup>, Rodimiro Ramos Reyes<sup>8</sup> y José Ariel Ruíz Corral<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Pabellón-INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km. 32.5. 20660. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. <sup>2</sup>Innovación agrícola. Avenida Tecnológico 510, Colonia Linda Vista. 38010. Celaya, Guanajuato. (despejel@nansa.com.mx). <sup>3</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532. 62550. Jiutepec, Morelos. (reontiverosca@conacyt.mx). <sup>4</sup>Department of Biological and Agricultural Engineering, Texas A&M AgriLife Research, 2415 E. Highway 83 Weslaco, TX 78596 (j-enciso@tamu.edu). <sup>5</sup>Campo Experimental Pabellón-INIFAP. (galindo.manuel@inifap.gob.mx). <sup>6</sup>Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. Carretera Aguascalientes-San Luis Potosí km. 70, 20330. El Llano, Aguascalientes (fpaguascalientes@gmail.com). <sup>7</sup>Campo Experimental Costa de Hermosillo- INIFAP. Boulevard del Bosque 7, Colonia Valle Verde. 83200. Hermosillo, Sonora (grageda.jose@inifap.gob.mx). <sup>8</sup>El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)- Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma, km 15.5. 86280. Villahermosa, Tabasco. (rramos@ecosur.mx). <sup>9</sup>Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km. 8, 47600. Tepatitlán, Jalisco. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: ruiz.osias@inifap.gob.mx.

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar tendencias en los promedios de temperatura máxima ( $T_{\max}$ ) y mínima ( $T_{\min}$ ) mensual en Aguascalientes y series de tiempo de por lo menos 30 años. El análisis estadístico se realizó con la metodología de Mann-Kendall y la tasa de cambio se calculó con la pendiente de Theil. De 612 series de  $T_{\min}$ , 365 no fueron significativas, mientras que 247 si lo fueron, de estas series con tendencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), 129 tuvieron tendencia positiva y 118 tuvieron tendencia negativa. De 672 series de  $T_{\max}$ , 448 no fueron significativas, mientras que 224 si lo fueron, de estas series con tendencia significativa ( $p \leq 0.05$ ), 167 tuvieron tendencia positiva y 57 tuvieron tendencia negativa. La mayor tendencia positiva ( $1.33\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ) de  $T_{\min}$  fue en abril y la menor ( $0.09\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ) en julio y septiembre, el promedio anual de las tendencias positivas fue  $0.50\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ; diciembre tuvo la mayor tendencia negativa ( $-1.42\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ) y agosto tuvo la menor ( $-0.14\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ), el promedio anual de tendencias negativas fue  $-0.59\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ . En relación con  $T_{\max}$ , abril tuvo la mayor tendencia positiva ( $1.59\text{ }^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ) y diciembre tuvo la

## Abstract

The objective of this study was to analyze trends in monthly average maximum ( $T_{\max}$ ) and minimum ( $T_{\min}$ ) temperature in Aguascalientes and time series of at least 30 years. Statistical analysis was performed using the Mann-Kendall methodology and the exchange rate was calculated with Theil slope. From 612  $T_{\min}$  series, 365 were not significant, whereas 247 were significant, of these series with significant trend ( $p \leq 0.05$ ), 129 had positive trend and 118 had negative trend. From 672  $T_{\max}$  series, 448 were not significant, whereas 224 were significant, of these series with significant trend ( $p \leq 0.05$ ), 167 had positive trend and 57 had negative trend. The highest positive trend ( $1.33\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ) from  $T_{\min}$  was in April and the lowest ( $0.09\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ) in July and September, the average annual positive trends was  $0.50\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ; December had the highest negative trend ( $-1.42\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ) and August had the lowest ( $-0.14\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ), the average annual negative trends was  $-0.59\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ . Regarding  $T_{\max}$ , April had the highest positive trend ( $1.59\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ) and December had the lowest ( $0.18\text{ }^{\circ}\text{C decade}^{-1}$ ), the average annual positive trend was  $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}$

menor ( $0.18^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ), el promedio anual de tendencias positivas fue  $0.61^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ; octubre tuvo la mayor tendencia negativa ( $-1.51^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ) y septiembre tuvo la menor ( $-0.19^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ), el promedio anual de tendencias negativas fue  $-0.68^{\circ}\text{C década}^{-1}$ . En Aguascalientes, un número pequeño de localidades presenta enfriamiento y una parte importante se está calentando, la región que manifiesta cambios en la temperatura está presentando un clima más extremo y cambios en el rango térmico diurno (RTD).

**Palabras clave:** cambio climático en Aguascalientes, estaciones meteorológicas, rango térmico diurno, regresión de Mann-Kendall, series de tiempo.

## Introducción

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) señala que el calentamiento global es consecuencia de actividades antropogénicas; ha provocado incremento de la temperatura atmosférica y oceánica, derretimiento de la nieve y casquetes polares y aumento del nivel medio del mar (IPCC, 2007). Diferentes estudios muestran que a finales de la segunda mitad del siglo XX, la temperatura media de la atmósfera aumentó alrededor de  $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  (Foland *et al.*, 2001; Nicholls and Collins, 2006); y trajo consigo desastres colaterales entre los que destacan olas de calor severas, siniestros agrícolas, daños a la salud, incremento en la demanda de energía y pérdidas humanas (Knapp *et al.*, 1993).

Los cambios en la temperatura afectan las actividades de construcción, consumo y generación de energía, y el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Rehman y Al-Hadhrami, 2012); por lo que el estudio de su tendencia respecto al tiempo es vital para estimar su impacto futuro en la sociedad, tomar medidas para asegurar la producción de alimentos, evitar daños a la salud y a los recursos naturales, y proporcionar información que facilite la toma de decisiones de los líderes políticos (Skaggs and Irmak, 2012).

El análisis de tendencia de una variable meteorológica es un procedimiento estadístico, que a través de pruebas de hipótesis explica el cambio de la variable, arroja la tasa de cambio respecto al tiempo, ayuda a identificar regiones y épocas vulnerables a dichos cambios; y responde a la pregunta: ¿el clima está cambiando o se mantiene constante? (Lee *et al.*, 2013). Actualmente se conoce la tendencia de la temperatura promedio global (IPCC, 2007); pero se

decade<sup>-1</sup>; October had the highest negative trend ( $-1.51^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ) and September had the lowest ( $-0.19^{\circ}\text{C década}^{-1}$ ), the average annual negative trends was  $-0.68^{\circ}\text{C década}^{-1}$ . In Aguascalientes, a small number of localities are cooling and a significant portion are warming, the region that is showing temperature changes is having a more extreme weather and changes in the diurnal temperature range (RTD).

**Keywords:** climate change in Aguascalientes, diurnal temperature range, Mann-Kendall regression, time series, weather stations.

## Introduction

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicates that global warming is caused by human activities; it has led to increasing air and ocean temperatures, melting snow and ice caps and sea level rise (IPCC, 2007). Different studies show that at the end of the second half of the twentieth century, the average temperature of the atmosphere increased about  $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  (Foland *et al.*, 2001; Nicholls and Collins, 2006); and brought collateral disasters among them severe heat waves, agricultural losses, damage to health, increased energy demand and loss of humans life (Knapp *et al.*, 1993).

Changes in temperature affect construction activities, power generation and consumption, and crop growth and development (Rehman and Al-Hadhrami, 2012); so the study of its trend over time is vital to estimate their future impact on society, take measures to ensure food production, prevent damage to health and natural resources, and provide information to facilitate the decision-making to political leaders (Skaggs and Irmak, 2012).

The trend analysis of meteorological variable is a statistical procedure, which through testing hypotheses explains the change in the variable, shows the change rate over time, it helps identify vulnerable regions and times to these changes; and answers the question: ¿the climate is changing or remains constant? (Lee *et al.*, 2013). The current trend of global average temperature (IPCC, 2007) is known; but it requires to quantify the change rate at local and regional level to define strategies for prevention, adaptation / mitigation in specific places as spatial and local temporary trend does not follow the global trend (McGuire *et al.*, 2012). Often temperature trend studies are performed on a monthly

requiere que la tasa de cambio se cuantifique a nivel local y regional para precisar estrategias de prevención, adaptación/mitigación en lugares específicos ya que la tendencia espacial y temporal local no obedece a la tendencia global (McGuire *et al.*, 2012). A menudo, los estudios de tendencia de temperatura se realizan sobre un valor promedio mensual o anual, si bien este criterio ayuda a detectar el patrón de la variable, escapan detalles en los extremos térmicos que son importantes en agronomía y en recursos naturales; por tal razón se sugiere que la estimación de la tendencia se realice tanto para temperatura máxima ( $T_{\max}$ ) como para temperatura mínima ( $T_{\min}$ ) (Braganza *et al.*, 2004).

A nivel global se cuenta con una diversidad de trabajos en tendencias de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$ . Lee *et al.* (2013) analizaron los cambios en temperaturas extremas en el Sur de Korea, mencionan que las tendencias presentaron discrepancias importantes en el espacio y en el tiempo, así en invierno el incremento de  $T_{\min}$  fue de  $0.80\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$  en zonas urbanas, y de  $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$  en zonas rurales; estos autores atribuyen las tendencias a cambios en el uso del suelo y al crecimiento del área urbana. Qu *et al.* (2014) estudiaron el rango térmico diurno (RTD) estacional sobre los Estados Unidos de América durante 1911-2011, las tendencias encontradas variaron considerablemente en cuatro regiones y para cada estación del año; el RTD disminuye debido a que  $T_{\min}$  aumenta a una tasa más alta que la de  $T_{\max}$ , además verano y otoño presentaron tasas de reducción de RTD más altas que primavera e invierno. En un estudio de tendencia del RTD, Braganza *et al.* (2004) detectaron que a nivel global, la tendencia promedio de  $T_{\min}$  fue mayor ( $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) que la tendencia de  $T_{\max}$  ( $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ello explicó la reducción del RTD. Price *et al.* (1999) comentan que en la isla de Chipre,  $T_{\min}$  aumenta a una tasa mayor que la de la  $T_{\max}$  provocando una reducción de RTD de  $-0.5$  a  $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ siglo}^{-1}$ ; los cambios se atribuyen al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, cambios en el uso del suelo y al incremento de la urbanización. Otros investigadores han estudiado la tendencia de la temperatura y su relación con variables agrometeorológicas y heladas extremas de diferentes umbrales (DeGaetano, 1996; Skaggs e Irmak, 2012).

Para México se tienen pocos estudios sobre tendencias de temperatura. En Zacatecas, Santillán *et al.* (2011) estudiaron tendencias de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  en 24 estaciones meteorológicas; el promedio de tendencias positivas en  $T_{\max}$  fue  $0.794\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$  y la única tendencia positiva de  $T_{\min}$  tuvo una tasa de  $0.496\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$ . El promedio de tendencias negativas en  $T_{\max}$  fue  $-0.648\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$ , mientras que para  $T_{\min}$  fue

or annual average value, although this approach helps to detect the pattern of the variable, some details are missed on thermal extremes that are important in agriculture and natural resources; for this reason it is suggested that trend estimation is made for both maximum temperature ( $T_{\max}$ ) and minimum temperature ( $T_{\min}$ ) (Braganza *et al.*, 2004).

Globally there are a variety of studies on  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  trends. Lee *et al.* (2013) analyzed changes in extreme temperatures in South Korea, mentioned that trends showed significant discrepancies in space and time, thus in winter the increase of  $T_{\min}$  was  $0.80\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ decade}^{-1}$  in urban areas, and  $0.54\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ decade}^{-1}$  in rural areas; this authors attribute these trends to changes in land use and growth of urban area. Qu *et al.* (2014) studied the seasonal diurnal temperature range (RTD) on the United States during 1911-2011, trends found varied widely in four regions and for every season; RTD decreases because  $T_{\min}$  increases at a higher rate than  $T_{\max}$ , also summer and autumn showed higher rates of reduction in RTD than spring and winter. In a study of RTD trend, Braganza *et al.* (2004) found that globally, the average trend of  $T_{\min}$  was higher ( $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) than the trend of  $T_{\max}$  ( $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), these explains the reduction of RTD. Price *et al.* (1999) report that in the island of Cyprus,  $T_{\min}$  increases at a higher rate than  $T_{\max}$  causing a reduction in RTD from  $-0.5$  to  $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ century}^{-1}$ ; changes are attributed to the increased concentration of greenhouse gases, changes in land use and increased urbanization. Other researchers have studied the temperature trend and its relation with agro-meteorological variables and extreme frosts of different thresholds (DeGaetano, 1996; Skaggs and Irmak, 2012).

For Mexico there are few studies on temperature trends. In Zacatecas, Santillán *et al.* (2011) studied the trends of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  in 24 meteorological stations; the average positive trends in  $T_{\max}$  was  $0.794\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ decade}^{-1}$  and the only positive trend of  $T_{\min}$  had a rate of  $0.496\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ decade}^{-1}$ . The average negative trend of  $T_{\max}$  was  $-0.648\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ decade}^{-1}$ , while for  $T_{\min}$  was  $-0.705\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ decade}^{-1}$ . Zarazúa *et al.*, (2011) point out that by the end of the twenty first century, in Cienega de Chapala, Jalisco;  $T_{\max}$  could increase  $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; this rise may contribute to increased evapotranspiration, rapid accumulation of heat units and decreased chilling hours which could jeopardize the climatic ability of the region to produce wheat. Lemus and Gay (1988), in a study with seven meteorological stations in Aguascalientes, detected an increase of  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  in average temperature for 1978 to 1985 regarding the period 1921-1985; and point out that this heat exchange contributed to the reduction of net primary productivity of the ecosystem.

-0.705 °C década<sup>-1</sup>. Zarazúa *et al.* (2011) señalan que para finales del siglo XXI, en Ciénega de Chapala, Jalisco; la  $T_{\max}$  podría incrementar 6.4 °C; este aumento podría contribuir al incremento de la evapotranspiración, acumulación rápida de unidades calor y disminución de horas frío lo cual pondría en riesgo la aptitud climática de la región para la producción de trigo. Lemus y Gay (1988), en un trabajo con siete estaciones meteorológicas de Aguascalientes, detectaron un aumento de 0.4 °C en la temperatura promedio durante 1978-1985 respecto del período 1921-1985; y señalan que este cambio térmico contribuyó a la reducción de la productividad primaria neta del ecosistema.

El objetivo de esta investigación fue determinar y cuantificar la tendencia en temperatura máxima ( $T_{\max}$ ) y temperatura mínima ( $T_{\min}$ ) promedio mensual en estaciones meteorológicas (56 estaciones para  $T_{\max}$  y 51 estaciones para  $T_{\min}$ ) del estado de Aguascalientes que cuentan con información en un periodo continuo  $\geq 30$  años.

## Material y métodos

### Área de estudio

El estado de Aguascalientes se encuentra a 22° 27' y 21° 38' de latitud norte, 101° 53' y 102° 52' de longitud oeste; y cuenta con una extensión territorial de 5 680.33 km<sup>2</sup>. Colinda al norte, noreste y oeste con Zacatecas; y al sur y este con Jalisco (INEGI, 1995). El estado posee tres tipos de clima: semi-seco templado (BS<sub>k</sub>), semi-seco cálido (BS<sub>h</sub>) y templado sub-húmedo con lluvias en verano C(w). En dichos climas la temperatura media anual es 17.1, 20.1 y 14.5 °C, respectivamente; y la precipitación promedio de 488 579.1 y 688.3 mm, respectivamente (García, 1973; INEGI, 2013).

### Información meteorológica

Se utilizaron datos diarios de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  de estaciones meteorológicas tradicionales del estado de Aguascalientes, estas estaciones pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Cuadro 1). Para  $T_{\max}$  se utilizó información disponible de 56 estaciones, mientras que para  $T_{\min}$  la disponible en 51 estaciones.

Con los datos diarios de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  de cada mes se obtuvo el promedio mensual para cada estación, este promedio mensual fue el que se utilizó en el análisis de tendencias.

The objective of this research was to determine and quantify the average monthly trend in maximum temperature ( $T_{\max}$ ) and minimum temperature ( $T_{\min}$ ) in weather stations (56 stations for  $T_{\max}$  and 51 stations for  $T_{\min}$ ) from the state of Aguascalientes with information in a continuous period  $\geq 30$  years.

## Materials and methods

### Study area

The state of Aguascalientes is 22° 27' and 21° 38' north latitude, 101° 53' and 102° 52' west longitude; and it has a land area of 5 680.33 km<sup>2</sup>; neighboring to the north, northeast and west with Zacatecas and south and east with Jalisco (INEGI, 1995). The state has three types of climate: temperate semi-dry (BS<sub>k</sub>), semi-dry warm (BS<sub>h</sub>) and temperate sub-humid with summer rains C (w). In such climates the average annual temperature is 17.1, 20.1 and 14.5 °C, respectively; and average precipitation of 488, 579.1 and 688.3 mm respectively (García, 1973; INEGI, 2013).

### Weather information

Daily data of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  from traditional weather stations in the state of Aguascalientes were used, these stations belong to the National Weather Service (SMN) (Table 1). For  $T_{\max}$  the information available from 56 stations was used, while for  $T_{\min}$  the information available in 51 stations.

With daily data of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  of each month, the monthly average for each station was obtained, the monthly average was the one used in the trends analysis. For  $T_{\max}$  it counted with 672 time series; i.e. 56 stations by 12 months; for  $T_{\min}$  612 time series were obtained; i.e. stations 51 by 12 months.

### Mann-Kendall test

The Mann-Kendall test is a nonparametric statistical technique that evaluates the significance of a trend. The test uses the Mann-Kendall statistic which is obtained with (Hamed, 2008):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$



Para el caso de  $T_{\max}$  se contó con 672 series de tiempo; es decir, 56 estaciones por 12 meses; para  $T_{\min}$  se obtuvieron 612 series de tiempo; es decir, 51 estaciones por 12 meses.

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

**Cuadro1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.**

**Table1. Weather Stations used in the study.**

ID	Estación	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud (m)
1003	Calvillo	Calvillo	102°43'1''	21°52'59''	1 702
1004	Cañada Honda	Aguascalientes	102°11'56''	22°00'0''	1 925
1005	Presa el Niagara	Aguascalientes	102°22'19''	21°46'44''	1 828
1006	El Tule	Asientos	102°06'0''	22°04'59''	1 970
1007	Jesús María	Jesús María	102°21'0''	21°57'0''	1 800
1008	Puerto de la Concepción	Puerto de la Concepción	102°08'6''	22°12'7''	2 300
1010	La Tinaja	San José de Gracia	102°33'14''	22°09'50''	2 425
1011	Malpaso	Calvillo	102°39'50''	21°51'36''	1 775
1012	Presa Media Luna	Calvillo	102°48'7''	21°47'38''	1 585
1013	Mesillas	Mesillas (Tepezalá)	102°09'58''	22°18'47''	1 990
1014	Campo Experimental Pabellón	Pabellón de Arteaga	102°17'35''	22°10'1''	1 909
1015	Palo Alto	El Llano	101°58'8''	21°54'58''	2 015
1016	Ganadería Peñuelas	Aguascalientes	102°18'0''	21°42'0''	1 878
1017	Presa Potrerillos	Rincón de Romos	102°26'38''	22°13'59''	2 090
1018	Presa Plutarco Elías Calles	San José de Gracia	102°24'54''	22°08'28''	2 020
1019	Presa Jocoque	Pabellón de Arteaga	102°21'32''	22°07'41''	1 970
1020	Presa la Codorniz	Calvillo	102°40'26''	21°59'49''	1 783
1021	Rancho Viejo	San José de Gracia	102°30'40''	22°07'23''	2 090
1022	San Bartolo	Aguascalientes	102°10'12''	21°44'53''	1 965
1023	Calvillo	Calvillo	102°42'43''	21°50'13''	1 665
1025	San Francisco de los Romo	San Francisco de los Romo	102°16'59''	22°15'0''	1 800
1026	Tepezalá	Tepezalá	102°10'8''	22°13'23''	2 110
1027	Venadero	Jesús María	102°27'47''	21°52'37''	1 995
1028	Villa Juárez	Asientos	102°04'5''	22°06'4''	1 970
1029	Asientos	Asientos	102°25'12''	22°14'31''	2 155
1030	Aguascalientes	Aguascalientes	102°18'29''	21°53'42''	1 865
1031	El Novillo	El Llano	101°59'56''	22°01'8''	2 010
1032	Las Fraguas	El Llano	101°53'31''	22°02'20''	2 020
1033	Los Conos	El Llano	101°59'31''	21°53'49''	2 015
1034	Sandoval	Aguascalientes	102°06'32''	21°53'6''	2 000
1041	Pabellón de Arteaga	Pabellón de Arteaga	102°16'59''	22°09'0''	1 900
1045	El Tule	Asientos	102°05'28''	22°04'59''	1 960
1046	La Labor	Calvillo	102°41'49''	21°57'50''	1 770
1047	Agua Zarca	Jesús María	102°35'2''	21°58'26''	2 300
1062	Arellano	Aguascalientes	102°16'23''	21°48'7''	1 890
1073	La Tinaja II	El Llano	102°07'44''	21°48'36''	2 010
1074	Cieneguilla	Aguascalientes	102°27'11''	21°43'52''	1 780
1075	Montoro	Aguascalientes	102°18'7''	21°45'25''	1 855
1076	Los Negritos	Aguascalientes	102°20'56''	21°52'12''	1 845
1077	El Ocote I	Aguascalientes	102°31'1''	21°46'55''	2 005
1078	El Ocote II	Calvillo	102°49'55''	21°53'24''	2 275
1079	Peñuelas	Aguascalientes	102°16'19''	21°43'34''	1 860

**Cuadro1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio (Continuación).**  
**Table1. Weather Stations used in the study (Continuation).**

ID	Estación	Localidad	Longitud	Latitud	Altitud (m)
1080	Presa Canutillo	Aguascalientes	102°31'19''	21°50'13''	1 930
1081	Rancho Seco	El Llano	101°58'1''	22°05'17''	2 055
1082	Rincón de Romos	Rincón de Romos	102°18'54''	22°13'52''	1 947
1083	San Francisco de los Romos	San Francisco de los Romo	102°16'23''	22°04'44''	1 885
1084	San Gil	Asientos	102°01'19''	22°12'29''	2 010
1085	Tepetatillo	San Francisco de Los Romo	102°10'52''	22°05'28''	2 020
1088	Cosio	Cosio	102°17'49''	22°21'47''	1 885
1089	Presa 50 Aniversario	San José de Gracia	102°27'50''	22°11'20''	2 050
1090	Jesús María	Jesús María	102°20'31''	21°57'11''	1 907
1091	Los Alisos	Calvillo	102°42'58''	21°44'31''	2 040
1094	El Chayote	Tepezalá	102°14'10''	22°17'10''	1 930
1095	Milpillas de Arriba	Jesús María	102°33'4''	21°56'6''	2 140
1096	Calvillito	Aguascalientes	102°10'55''	21°50'6''	1 950
1099	Jesús Terán	El Llano	102°03'43''	21°58'34''	2 040

### Prueba de Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall es una técnica de estadística no paramétrica que evalúa la significancia de una tendencia. La prueba utiliza el estadístico de Mann-Kendall que se obtiene con (Hamed, 2008):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Donde:  $x_j$  y  $x_k$  representan a la variable en los años  $j$  y  $k$ , y además  $j > k$ .

Luego la varianza de  $S$  está dada por:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Donde:  $g$  es el número de grupos unificados y  $t_p$  es el número de datos en el grupo  $p$ th.

Where:  $x_j$  and  $x_k$  represent the variable in years  $j$  and  $k$ , and also  $j > k$ .

Then  $S$  variance is given by:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Where:  $g$  is the number of consolidated groups and  $t_p$  is the number of data in the  $p$ th group.

Then with  $S$  and  $\text{VAR}(S)$  the statistic test is estimated:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

A positive value for  $Z$  indicates upward trend, while a negative value indicates a downward trend.  $H_0$  is rejected in favor of  $H_A$  if the absolute value of  $Z$  is greater than  $Z_{1-\alpha/2}$  (Hamed, 2008); the value of  $\alpha$  used in this study was 0.05.

Luego con  $S$  y  $\text{VAR}(S)$  se estima el estadístico de prueba:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

Un valor positivo de  $Z$  indica tendencia a la alza, mientras que un valor negativo indica tendencia a la baja. Se rechaza  $H_0$  en favor de  $H_A$  si el valor absoluto de  $Z$  es mayor que  $Z_{1-\alpha/2}$  (Hamed, 2008); el valor de  $\alpha$  utilizado en esta investigación fue de 0.05.

Después de la prueba de hipótesis, se calcula la tasa de cambio de la variable con (Theil, 1950):

$$Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i}$$

Donde:  $x_{i'}$  y  $x_i$  son los valores de los datos en los tiempos  $i'$  e  $i$ , además  $i' > i$ . Luego se hace que  $N'$  es el número de datos donde  $i' > i$ . La mediana de los  $N'$  valores de  $Q$  es la pendiente de Sen o sea la tasa de cambio de la variable (Sen, 1968).

## Resultados y discusión

En esta investigación se estudió la tendencia de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  mensual a partir de información de estaciones (56 estaciones para temperatura máxima y 51 estaciones para temperatura mínima) meteorológicas del estado de Aguascalientes, el análisis estadístico se realizó con la regresión de Mann-Kendall. Los resultados obtenidos fueron similares a los que se reportan para otras partes del mundo, las tendencias varían en función del tipo de temperatura ( $T_{\max}$  o  $T_{\min}$ ), localidad (estación) y de la época del año (Qu *et al.*, 2014).

### Temperatura mínima

En el Cuadro 2 se presentan los parámetros más sobresalientes del análisis de tendencias en  $T_{\min}$ . Del total (612) de series de  $T_{\min}$  estudiadas, 365 (59.64%), series no presentaron tendencia estadísticamente significativa, las 247 (40.36%) series restantes si presentaron tendencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). De las series con significancia estadística, 129 (21.08%) tuvieron tendencia positiva y 118 (19.28%) negativa.

After the hypothesis test, the change rate of the variable is calculated with (Theil, 1950):

$$Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i}$$

Where:  $x_{i'}$  and  $x_i$  are the data values in the times  $i'$  and  $i$ , also  $i' > i$ . Then it makes  $N'$  the number of data where  $i' > i$ . Median of  $N'$  values of  $Q$  is Sen slope or the change rate of the variable (Sen, 1968).

## Results and discussion

In this research the monthly trend of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  was studied with data from meteorological stations (56 weather stations for maximum temperature and 51 weather stations for minimum temperature) in the state of Aguascalientes, the statistical analysis was performed using the Mann-Kendall regression. The results were similar to those reported for other parts of the world; the trends vary depending on the type of temperature ( $T_{\max}$  or  $T_{\min}$ ), location (meteorological station) and season (Qu *et al.*, 2014).

### Minimum temperature

Table 2 shows the most outstanding parameters from the trend analysis of  $T_{\min}$ . Of the total (612) series of  $T_{\min}$  studied, 365 (59.64%) series showed no statistically significant trend, the remaining 247 (40.36%) series had a statistically significant trend ( $p \leq 0.05$ ). Of Series with statistical significance, 129 (21.08%) had positive trend and 118 (19.28%) had negative trend.

The positive trends are present in the twelve months of the year, but most of them concentrated in February and from April to October (Table 2). The month with the highest positive trend was April with  $1.33^\circ\text{C decade}^{-1}$  in the station Los Negritos, meanwhile the lowest positive trend occurred in July and September with  $0.09^\circ\text{C decade}^{-1}$  in the station Presa Plutarco Elias Calles. The average of significant positive trends for the 12 months was  $0.50^\circ\text{C decade}^{-1}$ ; this value is similar to the average ( $0.496^\circ\text{C decade}^{-1}$ ) that Santillan *et al.* (2011) reported for the neighboring state of Zacatecas. There is also similarity with the average trend reported by Al Buhairi (2010) ( $0.50^\circ\text{C decade}^{-1}$ ) for the semi-arid City of Taiz, Republic of Yemen, and Al-Hadhrani and Rehman (2012) ( $0.508^\circ\text{C decade}^{-1}$ ) for Saudi Arabia;



**Cuadro 2. Resumen de series de tiempo y tendencias ( $^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$ ) para temperatura mínima en Aguascalientes.**  
**Table 2. Summary of time series and trends ( $^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$ ) for minimum temperature in Aguascalientes.**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	(%)
T	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	612	100
NO SIG	34	35	36	32	30	24	22	24	24	34	37	33	365	59.64
SIG	17	16	15	19	21	27	29	27	27	17	14	18	247	40.36
SIG +	6	10	8	10	11	16	16	15	16	11	7	3	129	21.08
SIG -	11	6	7	9	10	11	13	12	11	6	7	15	118	19.28
MAX +	0.73	0.98	0.85	1.33	0.92	1.19	0.81	0.73	1.01	0.88	0.68	0.63	=	=
MIN +	0.17	0.15	0.22	0.18	0.16	0.12	0.09	0.10	0.09	0.16	0.25	0.41	=	=
MEDIA +	0.43	0.56	0.56	0.52	0.50	0.49	0.45	0.44	0.48	0.57	0.55	0.49	=	=
MAX -	-1.11	-0.77	-1.06	-0.97	-0.83	-1.19	-1.28	-1.27	-1.27	-0.76	-0.89	-1.42	=	=
MIN -	-0.23	-0.55	-0.40	-0.30	-0.30	-0.19	-0.19	-0.14	-0.20	-0.39	-0.44	-0.42	=	=
MEDIA -	-0.55	-0.66	-0.62	-0.61	-0.50	-0.49	-0.50	-0.55	-0.49	-0.61	-0.67	-0.81	=	=

T= total, (%) = porcentaje; NO SIG= series con tendencia no significativa; SIG = series con tendencia significativa, SIG+= series con tendencia positiva significativa; SIG- = series con tendencia negativa significativa, MAX + = tendencia positiva significativa máxima; MIN += tendencia positiva significativa mínima; MEDIA+= tendencia positiva significativa media; MAX-=tendencia negativa significativa máxima; MIN-=tendencia negativa significativa mínima y MEDIA-=tendencia negativa significativa media.

Las tendencias positivas están presente en los doce meses del año, pero la mayor parte de ellas se concentraron en febrero y de abril a octubre (Cuadro 2). El mes con mayor tendencia positiva fue abril con  $1.33^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$  en la estación Los Negritos, por su parte la menor tendencia positiva se dio en julio y septiembre con  $0.09^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$  en la estación Presa Plutarco Elías Calles. El promedio de las tendencias positivas significativas de los 12 meses fue  $0.50^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$ ; este valor es similar al promedio ( $0.496^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$ ) que Santillán *et al.* (2011) reportan para el vecino estado de Zacatecas. También existe similitud con la tendencia promedio reportada por Al Buhairi (2010) ( $0.50^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$ ) para el semiárido de la Ciudad de Taiz, República de Yemen, y Rehman y Al-Hadhrani (2012) ( $0.508^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$ ) para Arabia Saudita. Además la tendencia positiva promedio de cada mes varió entre  $0.43$  y  $0.57^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$  para enero y octubre, respectivamente.

Las tendencias negativas también están presentes en los doce meses del año, pero la mayor parte de ellas se concentraron en enero, de abril a septiembre y diciembre (Cuadro 2). El mes con mayor tendencia negativa fue diciembre con  $-1.42^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$  en la estación El Ocote I, por su parte la menor tendencia negativa se dio en agosto con  $-0.14^{\circ}\text{C}$  década $^{-1}$  en la estación Calvillo. El promedio de todas las tendencias negativas significativas de los 12 meses fue

besides the average positive trend of each month varied between  $0.43$  and  $0.57^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$  for January and October, respectively.

Negative trends are also present in the twelve months of the year, but most of them concentrated in January, from April to September and December (Table 2). The month with the highest negative trend was December with  $-1.42^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$  in the station El Ocote I, meanwhile the lowest negative trend was in August with  $-0.14^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$  in the station Calvillo. The average of all significant negative trends of the 12 months was  $-0.59^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$ ; this value is similar to the average ( $-0.705^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$ ) that Santillán *et al.* (2011) reported for the neighboring state of Zacatecas. Meanwhile the average of the negative trends of each month ranged from  $-0.49$  in June and September to  $-0.81^{\circ}\text{C}$  decade $^{-1}$  in December.

### Maximum temperature

Table 3 shows the most outstanding parameter from the trend analysis in  $T_{\text{max}}$ . Of the total (672) series of  $T_{\text{max}}$  studied, 448 (66.67%) series had no statistically significant trend, the remaining 224 (33.33%) series had statistically significant trend ( $p \leq 0.05$ ). Of the total series with significant trend, 167 (24.85%) had positive trend and 57 (8.48%) had negative trend.

-0.59 °C década<sup>-1</sup>; este valor es similar al promedio (-0.705 °C década<sup>-1</sup>) que Santillán *et al.* (2011) reportan para el vecino estado de Zacatecas. Por su parte el promedio de las tendencias negativas de cada mes varió de -0.49 en junio y septiembre a -0.81 °C década<sup>-1</sup> en diciembre.

### Temperatura máxima

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros más sobresalientes del análisis de tendencia en  $T_{\max}$ . Del total (672) de series de  $T_{\max}$  estudiadas, 448 (66.67%) series no presentaron tendencia estadísticamente significativa, las 224 (33.33 %) series restantes si presentaron tendencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ). Del total de series con tendencia significativa, 167 (24.85%) tuvieron tendencia positiva y 57 (8.48%) negativa.

The months with fewer numbers of positive trends in  $T_{\max}$  were in September and November with seven and six series, respectively. The month with the highest positive trend was April with 1.59 °C decade<sup>-1</sup> in the station La Tinaja II, while the lowest positive trend was in December with 0.18 °C decade<sup>-1</sup> in the station Presa Plutarco Elías Calles. The average positive trend during the 12 months was 0.61 °C decade<sup>-1</sup>; this value is similar to the average (0.79 °C decade<sup>-1</sup>) that Santillán *et al.* (2011) report for the neighboring state of Zacatecas. Our average positive trend is slightly below to average (0.86 °C decade<sup>-1</sup>) of positive trends cited by Al-Hadhrani and Rehman (2012) for Saudi Arabia. The monthly average of the positive trend in maximum temperature was between 0.37 and 0.82 °C decade<sup>-1</sup> in November and April, respectively.

**Cuadro 3. Resumen de series de tiempo y tendencias (°C década<sup>-1</sup>) para temperatura máxima en Aguascalientes.**  
**Table 3. Summary of time series and trends (°C decade<sup>-1</sup>) for maximum temperature in Aguascalientes.**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T	(%)
T	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	672	100
NO SIG	41	38	35	30	32	38	43	37	39	36	43	36	448	66.67
SIG	15	18	21	26	24	18	13	19	17	20	13	20	224	33.33
SIG +	10	13	15	24	22	17	9	14	7	15	6	15	167	24.85
SIG -	5	5	6	2	2	1	4	5	10	5	7	5	57	8.48
MAX +	1.13	1.32	1.10	1.59	1.38	1.05	1.46	1.35	0.50	1.20	0.54	0.97	=	=
MIN +	0.31	0.26	0.22	0.25	0.25	0.24	0.36	0.31	0.33	0.24	0.23	0.18	=	=
MEDIA +	0.68	0.68	0.65	0.82	0.70	0.55	0.78	0.67	0.44	0.53	0.37	0.47	=	=
MAX -	-0.97	-1.12	-1.33	-0.74	-0.48	-0.67	-1.13	-0.87	-1.28	-1.51	-1.34	-1.28	=	=
MIN -	-0.38	-0.46	-0.24	-0.34	-0.28	-0.67	-0.42	-0.32	-0.19	-0.38	-0.30	-0.36	=	=
MEDIA -	-0.70	-0.77	-0.62	-0.54	-0.38	-0.67	-0.73	-0.56	-0.60	-0.86	-0.74	-0.81	=	=

T= total, (%) = porcentaje; NO SIG= series con tendencia no significativa; SIG = series con tendencia significativa, SIG+= series con tendencia positiva significativa; SIG- = series con tendencia negativa significativa, MAX + = tendencia positiva significativa máxima; MIN += tendencia positiva significativa mínima; MEDIA+= tendencia positiva significativa media; MAX-= tendencia negativa significativa máxima; MIN-= tendencia negativa significativa mínima y MEDIA- = tendencia negativa significativa media.

Los meses con menor número de tendencias positivas en  $T_{\max}$  fueron septiembre y noviembre con siete y seis series, respectivamente. El mes con mayor tendencia positiva fue abril con 1.59 °C década<sup>-1</sup> en la estación La Tinaja II, mientras que la menor tendencia positiva se dio en diciembre con 0.18 °C década<sup>-1</sup> en la estación Presa Plutarco Elías Calles. El promedio de las tendencias positivas durante los 12 meses fue 0.61 °C década<sup>-1</sup>; este valor es similar al promedio (0.79 °C década<sup>-1</sup>) que Santillán *et al.* (2011) reportan para el vecino estado de Zacatecas. Nuestra tendencia positiva promedio es ligeramente menor al promedio (0.86 °C década<sup>-1</sup>) de las

A relatively small proportion (57) of series with negative trends in  $T_{\max}$  was obtained. The month with the highest negative trend was October with -1.51 °C decade<sup>-1</sup> in the station in San Francisco de los Romo, meanwhile the less negative trend was in September with -0.19 °C decade<sup>-1</sup> in the station Campo Experimental Pavbellón. The average significant negative trend during the 12 months was -0.68 °C decade<sup>-1</sup>. The average value of the negative trend of  $T_{\max}$  was similar to that reported (0.648 °C decade<sup>-1</sup>) by Santillán *et al.* (2011) for the state of Zacatecas. Moreover, the average monthly negative trend ranged between -0.38 and -0.86 °C decade<sup>-1</sup> in May and October respectively.

tendencias positivas citadas por Rehman y Al-Hadhrami (2012) para Arabia Saudita. El promedio mensual de la tendencia positiva en temperatura máxima estuvo entre 0.37 y 0.82 °C década<sup>-1</sup> en noviembre y abril, respectivamente.

Se obtuvo una proporción relativamente pequeña (57) de series con tendencias negativas en  $T_{\max}$ . El mes con mayor tendencia negativa fue octubre con -1.51 °C década<sup>-1</sup> en la estación San Francisco de los Romo, por su parte la menor tendencia negativa se dio en septiembre con -0.19 °C década<sup>-1</sup> en la estación Campo Experimental Pabellón. El promedio de tendencias negativas significativas durante los 12 meses fue -0.68 °C década<sup>-1</sup>. El valor medio de las tendencias negativas de  $T_{\max}$  fue similar al reportado (0.648 °C década<sup>-1</sup>) por Santillán *et al.* (2011) para el estado de Zacatecas. Por su parte la tendencia negativa promedio mensual osciló entre -0.38 y -0.86 °C década<sup>-1</sup> en mayo y octubre, respectivamente.

La suma de series con tendencias positivas en  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  resultó en un total de 296, en tanto que la suma de series con tendencias negativas en ambas temperaturas produjo un total de 175; ello brinda una idea de que en Aguascalientes se presenta una condición más tendiente al calentamiento que al enfriamiento lo cual coincide con la situación que prevalece en Zacatecas (Santillán *et al.*, 2011) y en otras regiones de la República Mexicana (Pavia *et al.*, 2009).

### Origen de los cambios en la temperatura

Existen diferentes argumentos asociados al cambio en los patrones de temperatura. Algunas razones son el incremento de la cobertura de nubes, cambios en los patrones de evaporación y precipitación, absorción directa de la porción infrarroja de la radiación solar entrante, presencia de aerosoles, reacciones químicas del vapor de agua atmosférico y aumento de la humedad del suelo (Henderson, 1992; Hansen, 1995). McNider *et al.* (1995) comentan que otra causa podría ser el cambio en la rugosidad de la superficie debido a la aparición de árboles o establecimiento de edificios, esta alteración de rugosidad conduce a temperaturas más calientes debido a la disminución de la velocidad del viento. En los años 1980's ya existía evidencia de que algunas regiones de Aguascalientes presentaban reducción importante en la superficie de bosque y aparición de vegetación arbustiva, estos cambios de vegetación coincidieron con la época de incremento en la temperatura media de 0.4 °C (Lemus and Gay, 1988).

The sum of the series with positive trends in  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  resulted in a total of 296, while the sum of series with negative trends in both temperatures produced a total of 175; this gives an idea that in Aguascalientes there is an upward condition to warming than to cooling which agrees with the situation prevailing in Zacatecas (Santillán *et al.*, 2011) and in other regions of Mexico (Pavia *et al.*, 2009).

### Origin of temperature changes

There are different arguments associated to change in temperature patterns. Some reasons are the increased cloud cover, changes in evaporation and precipitation patterns, direct absorption of the infrared portion of the incoming solar radiation, the presence of aerosols, chemical reactions of atmospheric water vapor and increased soil moisture (Henderson, 1992; Hansen, 1995). McNider *et al.* (1995) comment that other cause could be the change in surface roughness due to the onset of trees or establishment of buildings, this alteration of roughness leads to warmer temperatures due to reduced wind speed. In the 1980's there was already evidence that some regions of Aguascalientes had significant reduction in forest area and the appearance of shrubs, these changes in vegetation coincided with the period of increase in the average temperature of 0.4 °C (Lemus and Gay, 1988).

### Environmental effects of temperature changes

According to Santillán *et al.* (2011) when  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  trends are analyzed there are nine possibilities: 1)  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  stable; 2)  $T_{\max}$  stable and negative trend of  $T_{\min}$ ; 3)  $T_{\max}$  stable and positive trend of  $T_{\min}$ ; 4) negative trend of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  stable; 5) Positive trend of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  stable; 6) negative trend of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$ ; 7) positive trend in  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$ ; 8) negative trend in  $T_{\max}$  and positive trend in  $T_{\min}$ ; and 9) positive trend in  $T_{\max}$  and negative trend in  $T_{\min}$ . When the possibilities two, five and nine are present; there is an increase of RTD by increasing RTD, it increases the evaporation capacity of the atmosphere, the relative humidity decreases, increases crop reference evapotranspiration (ETO), increases the actual crop evapotranspiration (ETC) and increases the irrigation water volume required (Tabari *et al.*, 2011; Xiaomang *et al.*, 2011). When the possibilities three, four and eight are present; there is a reduction in RTD by reducing RTD, decreases the evaporation capacity of the atmosphere, the relative humidity increases, decreases crop reference

### Efectos ambientales de los cambios en la temperatura

De acuerdo con Santillán *et al.* (2011) cuando se analizan tendencias de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  existen nueve posibilidades: 1)  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  estables; 2)  $T_{\max}$  estable y tendencia negativa de  $T_{\min}$ ; 3)  $T_{\max}$  estable y tendencia positiva de  $T_{\min}$ ; 4) tendencia negativa de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  estable; 5) tendencia positiva de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  estable; 6) tendencia negativa de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$ ; 7) tendencia positiva en  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$ ; 8) tendencia negativa en  $T_{\max}$  y tendencia positiva en  $T_{\min}$ ; y 9) tendencia positiva en  $T_{\max}$  y tendencia negativa en  $T_{\min}$ . Cuando se presentan las posibilidades dos, cinco y nueve; se produce aumento del RTD, al aumentar RTD, aumenta la capacidad de evaporación de la atmósfera, disminuye la humedad relativa, aumenta la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ), aumenta la evapotranspiración real del cultivo ( $ET_c$ ) y aumentan los volúmenes requeridos de agua para riego (Tabari *et al.*, 2011; Xiaomang *et al.*, 2011). Cuando se presentan las posibilidades tres, cuatro y ocho; se registra una reducción del RTD, al reducirse RTD, disminuye la capacidad de evaporación de la atmósfera, aumenta la humedad relativa, disminuye la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ), disminuye la evapotranspiración real del cultivo ( $ET_c$ ) y disminuyen los volúmenes de agua requeridos para riego. Cuando se presentan los casos seis y siete también puede haber aumento o reducción de RTD, esto dependerá de la tasa de cambio de cada una de las temperaturas.

En el Cuadro 4 se presentan los nueve casos posibles de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  obtenidos para Aguascalientes, en la columna del mes aparece el número de estaciones que presenta cada caso. Se aprecia que el caso uno tuvo el mayor número de estaciones (237). Nótese que al sumar las estaciones involucradas en los casos 5, 2 y 9 se obtienen 180 estaciones, todas ellas presentan la condición de aumento de RTD. Por otra parte, si se suman las estaciones involucradas en los casos 3, 4 y 8, se obtienen 110 estaciones, todas ellas presentan la condición de reducción de RTD. Es importante añadir que con los casos 7 y 6 también podría haber modificación de RTD puesto que las líneas de tendencias no son del todo paralelas, es decir difieren en la tasa de cambio, para estos casos son 67 las estaciones involucradas.

Finalmente, en la Figura 1 se presentan ejemplos de series de tiempo para  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  y RTD en la estación Sandoval. Para el caso de  $T_{\max}$ , hubo tendencia significativa en seis meses (febrero a junio y diciembre) mientras que la tendencia de

evapotranspiration (ETO), decreases the actual crop evapotranspiration (ETC) and decreases irrigation water volume required. When possibilities six and seven are present could be an increase or decrease in RTD, this will depend on the change rate of each of the temperatures.

Table 4 shows the nine possible cases of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  obtained for Aguascalientes; the month column appears the number of stations present for each case. It is appreciated that case one had the greatest number of stations (237). Note that adding stations involved in cases 5, 2 and 9, 180 stations are obtained, all of them show the condition of increased RTD. Moreover, if the stations involved in cases 3, 4 and 8 are added, 110 stations are obtained and all of them show the condition of reduced RTD. It is important to add that cases 7 and 6 could also have modifications of RTD as trend lines are not quite parallel, i.e. differ in the change rate, for these cases 67 stations are involved.

#### Cuadro 4. Casos de tendencia de temperatura máxima y mínima y número de estaciones por mes.

Table 4. Trend cases of maximum and minimum temperature and number of stations per month.

Escenario	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1	23	24	23	20	18	16	17	13	16	21	26	20	237
2	7	2	3	3	4	8	9	7	7	4	4	8	66
3	5	5	4	4	4	8	12	11	10	6	6	2	77
4	3	3	3	1	0	0	1	1	3	2	5	4	26
5	7	7	8	10	10	7	4	9	4	10	4	8	88
6	2	2	2	1	2	1	3	4	3	1	2	1	24
7	1	4	3	6	7	8	3	4	2	3	1	1	43
8	0	0	1	0	0	0	0	0	4	2	0	0	7
9	2	2	2	4	3	2	1	1	1	1	1	6	26
NO*	6	7	7	7	8	6	6	6	6	6	7	6	78

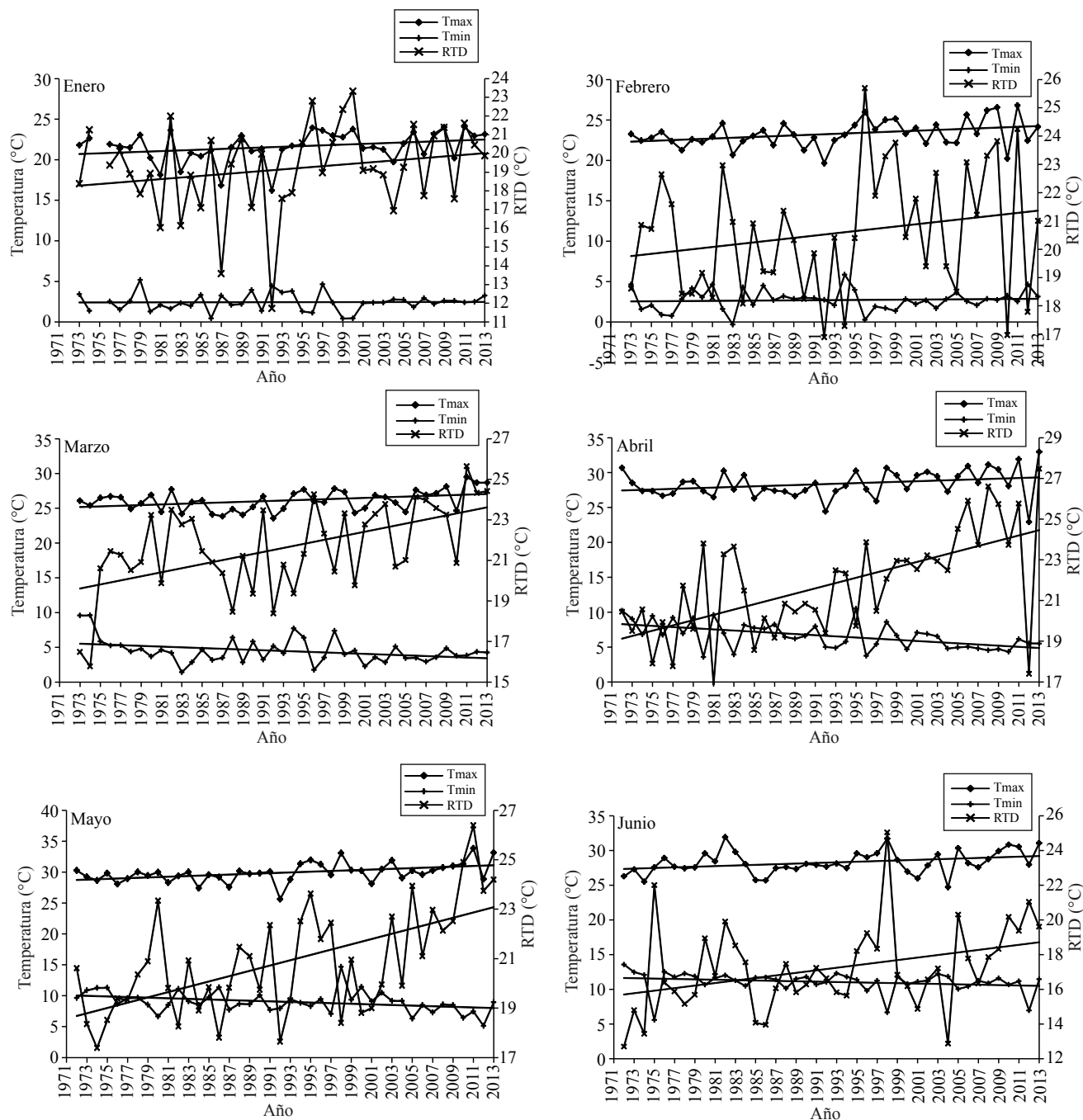
\*Se refiere al número de estaciones en cada mes que no contaron con temperatura mínima.

Finally, Figure 1 shows examples of time series for  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  and RTD in the station Sandoval. For  $T_{\max}$  case there was a significant trend for six months (February to June and December), while the trend in  $T_{\min}$  was significant for eight months (April to November). Consequently, RTD showed significant trend in 11 months (February to December), note that in those months the trend line is positive which gives an idea that the climate of the locality is more extreme and has more deficit of environmental humidity.

$T_{\min}$  fue significativa en ocho meses (abril a noviembre). En consecuencia, el RTD presentó tendencia significativa en 11 meses (febrero a diciembre), nótese que en esos meses la línea de tendencia es positiva lo cual da una idea de que el clima de la localidad es más extremo y presenta mayor déficit de humedad ambiental.

## Conclusions

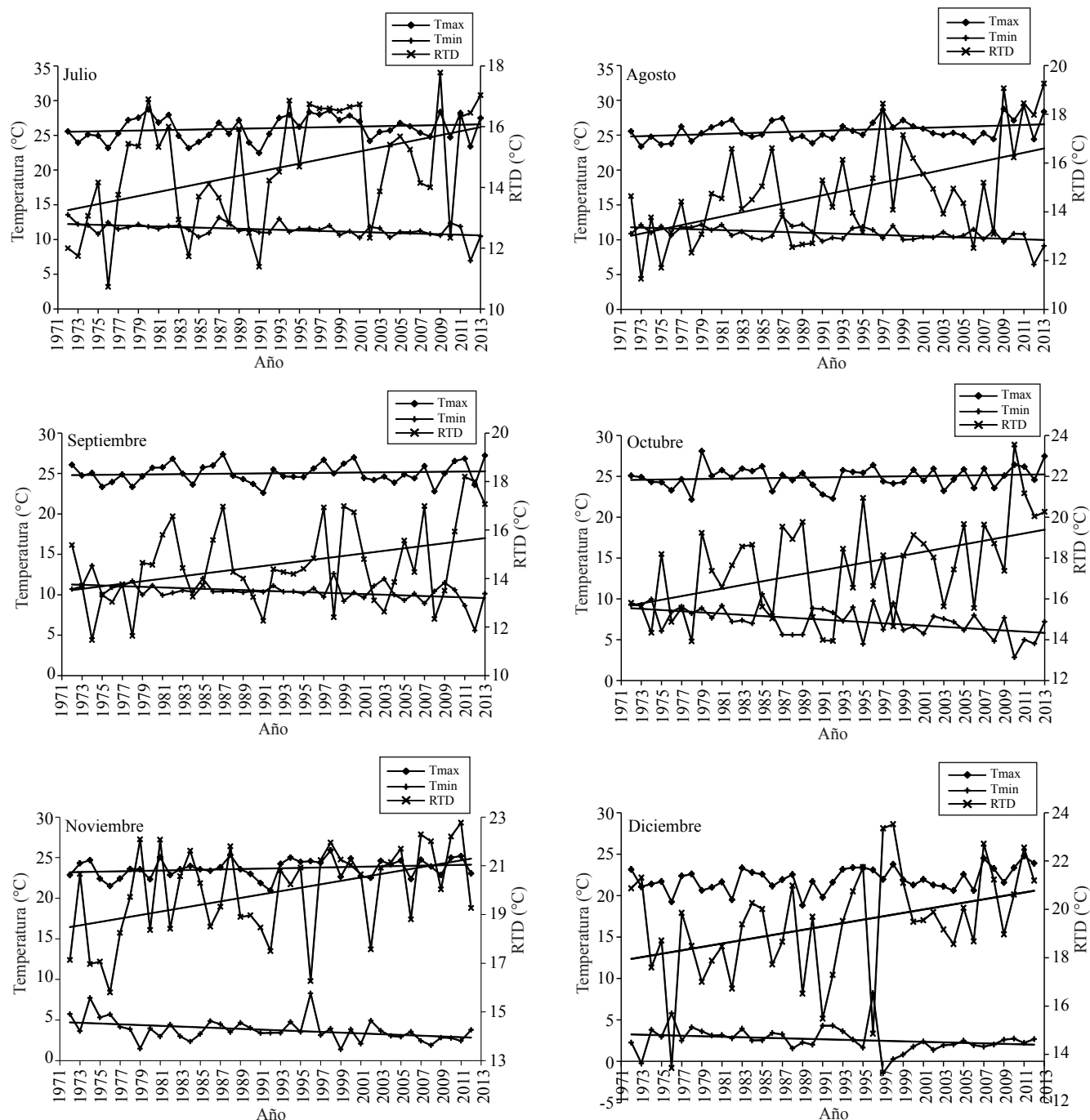
The monthly trends of  $T_{\max}$  and  $T_{\min}$  in weather stations from the state of Aguascalientes that count with time series  $\geq 30$  years were studied. In this state the trend



**Figura 1. Series de tiempo de  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  y RTD para enero-diciembre en la estación Sandoval.**

**Figure 1. Time series for  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  and RTD from January to December in the station Sandoval.**





**Figura 1. Series de tiempo de  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  y RTD para enero-diciembre en la estación Sandoval (Continuación).**

**Figure 1. Time series for  $T_{\max}$ ,  $T_{\min}$  and RTD from January to December in the station Sandoval (Continuation).**

## Conclusiones

Se estudió la tendencia de  $T_{\max}$  y  $T_{\min}$  mensual en estaciones meteorológicas del estado de Aguascalientes que cuentan con series de tiempo  $\geq 30$  años. En este estado la tendencia de estas temperaturas no es uniforme, existe variación por tipo de temperatura, localidad y mes.

of these temperatures is not uniform; there is temperature variation by temperature type, location and month.

There are increments of  $T_{\min}$  in the 12 months and in most stations; however the highest rate of increase occurs in spring (April), while the lowest in summer months (July to



Existen incrementos de  $T_{\min}$  en los 12 meses del año y en la mayoría de las estaciones; sin embargo la tasa más alta de incremento ocurre en primavera (abril), mientras que la menor en meses de verano (julio y septiembre). Las tendencias negativas de  $T_{\min}$  también están presentes los 12 meses del año; pero la mayor ocurre en invierno (diciembre) y la menor en verano (agosto).

Los incrementos de  $T_{\max}$  ocurren todo el año, no obstante el mes con mayor tendencia positiva es abril; y diciembre el mes con menor tendencia positiva. La mayor tendencia negativa está en octubre, y la menor en septiembre.

Una parte importante de Aguascalientes no presenta cambios en el tiempo atmosférico, lo cual está demostrado por las 237 series que presentan el caso uno de temperatura máxima y mínima. La mayor parte del estado presenta cambios, y la evidencia es que 290 series presentan uno de los casos 2, 3, 4, 5, 8 y 9 lo cual repercute en el RTD.

Se distingue que de la región del estado con cambios en el patrón atmosférico, un número pequeño de localidades presenta enfriamiento mientras que una parte importante presenta calentamiento.

## Literatura citada

- Al Buhairi, M. H. 2010. Analysis of monthly, seasonal and annual air temperature variability and trends in Taiz City-Republic of Yemen. *J. Environ. Protec.* 1:401-409.
- Braganza, K.; Karoly, D. J. and Arblaster, J. M. 2004. Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century. *Geophysical Research Letters*. 31:doi:10.1029/2004GL019998.
- DeGaetano, A. T. 1996. Recent trends in maximum and minimum temperatures threshold exceedences in the Northeastern United States. *Journal of Climate*. 9: 1646-1660.
- 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.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F., 246 p.
- Hamed, K. H. 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *J. Hydrol.* 349:350-363.
- September). Negative trends of  $T_{\min}$  are also present the 12 months; but highest occurs in winter (December) and the lowest in summer (August).
- The increments of  $T_{\max}$  occurs year round, despite the month with highest positive trend is April; and December is the month with the lowest positive trend. The highest negative trend is in October, and the lowest in September.
- An important part of Aguascalientes does not present changes in weather, which is demonstrated by the 237 series presenting case one of maximum and minimum temperature. Most of the state shows changes, and the evidence is that 290 series have one of the cases 2, 3, 4, 5, 8 and 9 which affects RTD.
- It is recognized that the region of the state with changes in atmospheric pattern, a small number of locations show cooling while an important part shows warming.

*End of the English version*



- Hansen, J.; Sato, M. and Ruedy, R. 1995. Long-Term changes of the diurnal temperature cycle: implications about mechanisms of global climate change. *Atmosphere Res.* 37:175-209.
- Henderson, S. A. 1992. Continental cloudiness changes this century. *GeoJournal*. 27: 255-262.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. Anuario estadístico del estado de Aguascalientes. Gobierno del estado de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 317 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2013. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos. Gobierno del estado de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 785 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *In Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. *In*: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M. and Miller, H. L. (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge, New York, 996.
- Knapp, W. W.; Eggleston, K. L.; De Gaetano, A. T.; Vreeland, K. and Schultz, J. D. 1993. Northeast climate impacts. *Northeast Regional Climate Center*. 93(7):1-7.
- Lee, K.; Baek, H. J. and Cho, Ch. 2013. Analysis of changes in extreme temperatures using quantile regression. *Asia-Pacific J. Atmospheric Sci.* 49:313-323.
- Lemus, L. and Gay, C. 1988. Temperature, precipitation variations and local effects Aguascalientes 1921-1985. *Atmósfera*. 1:39-44.
- McGuire, Ch. R.; Nufio, C. R.; Bowers, M. D. and Guralnick, R. P. 2012. Elevation-dependent temperature trends in the rocky mountain front range: changes over a 56- and 20- year record. *PLoS one*. 7(9):e44370. doi:10.1371/journal.pone.0044370.

- Nicholls, N. and Collins, D. 2006. Observed climate change in australia over the past century. *Energy and Environment*. 17:1-12.
- McNider, R. T.; England, D. E.; Friedman, M. J. and Shi, X. 1995. Predictability of the stable atmospheric boundary layer. *J. Atmospheric Sci.* 52:1602-1614.
- Pavia, E. G.; Graef, F. and Reyes, J. 2009. Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. *Int. J. Climatol.* 29:1324-1329.
- Price, C.; Michaelides, S.; Pashiardis, S. and Alpert, P. 1999. Long term changes in diurnal temperature range in Cyprus. *Atmospheric Research*. 51:85-98.
- Qu, M.; Wan, X. and Hao, X. 2014. Analysis of diurnal air temperature range change in the continental United States. *Weather and Climate Extremes*. 4:86-95.
- Rehman, S. and Al-Hadhrami, L. M. 2012. Extreme temperatures trends on the West Coast of Saudi Arabia. *Atmospheric and Climate Sciences*. 2:351-361.
- Santillán, E. L. E.; Blanco-Macías, F.; Magallanes-Quintanar, R.; García-Hernández, J. L.; Cerano-Paredes, J.; Delgadillo-Ruiz, O. y Valdez-Cepeda, R. 2011. Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2:207-219.
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Statistical Assoc.* 63:1379-1389.
- Skaggs, K. E. and Irmak, S. 2012. Long-term trends in air temperature distribution and extremes, growing degree-days, and spring and fall frosts for climate impact assessments on agricultural practices in Nebraska. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 51:2060-2073.
- Tabari, H.; Marofi, S.; Aeini, A.; Talaee, P. H. and Mohammadi, K. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agric. Forest. Meteorol.* 151:128-136.
- Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. Part 3. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Amsterdam*. 53:1397-1412.
- Xiaomang, L.; Hongxing, Z.; Minghua, Z. and Changming, L. 2011. Identification of dominant climate factor for pan evaporation trend in the Tibetan Plateau. *J. Geographical Sci.* 21:594-608.
- Zarazúa, V. P.; Ruiz-Corral, J. A.; González-Eguiarte, D. R.; Flores-López, H. E. y Ron-Parra, J. 2011. Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2:295-308.