

## **Impacto del cambio climático en las tendencias de la evaporación en la presa La Vega, Teuchitlán, Jalisco, México\***

### **Climate change impact on the evaporation trends in the dam La Vega, Teuchitlán, Jalisco, Mexico**

**Celia De La Mora Orozco<sup>1§</sup>, Hugo Ernesto Flores López<sup>1</sup>, José Ariel Ruíz Corral<sup>1</sup>, Álvaro Agustín Chávez Durán<sup>1</sup> y Arturo Figueroa Montaña<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. INIFAP. Carretera Tepatitlán-Lagos, Tepatitlán de Morelos, Jalisco km 8. (flores.hugo@inifap.gob.mx; ruiz.ariel@inifap.gob.mx; chavez.alvaro@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Av. Revolución 1500. S. R. Guadalajara Jalisco. (arturo.figueroa@cucei.udg.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: delamora.celia@inifap.gob.mx.

#### **Resumen**

El impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos se predice como un problema potencial, reduciendo la cantidad de agua para la agricultura, la industria y el uso doméstico. Una serie de estudios se están llevando a cabo para entender mejor este problema. En ésta investigación cinco décadas de datos meteorológicos (1961-2009) fueron analizados para evaluar el efecto del cambio climático en las tendencias de la evaporación en la presa La Vega. Se utilizó la estadística de Mann-Kendall para identificar la tendencia de las variables meteorológicas; temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación, así como la evaporación potencial de la presa La Vega. Los resultados mostraron que el periodo 1961-1969 sólo la evaporación del reservorio presentó tendencia significativa al incremento con un valor de  $S$  de 24 y un coeficiente de correlación de 0.7015. El periodo de 1970-1979 presentó tendencias positivas y negativas, para la temperatura máxima el valor  $S$  correspondió a 24, con un coeficiente de correlación de 0.4613, lo cual representa tendencia significativa al incremento. La evaporación en este periodo presentó tendencia negativa con un valor  $S$  de -25, con coeficiente de correlación de 0.4877 y tendencia significativa a disminuir. En el periodo de 1980-1989 la precipitación mostró tendencia negativa con

#### **Abstract**

Climate change impact on water resources is predicted as a potential problem, reducing the amount of water for agriculture, the industry and domestic use as well. A number of studies are underway to better understand this problem. In this research, five decades of meteorological data (1961-2009) were analysed to assess the effect of climate change on evaporation trends in the dam La Vega. The Mann-Kendall statistic was used to identify the trend of the meteorological variables; maximum temperature, minimum temperature, precipitation and evaporation as well as the potential evaporation of the dam La Vega. The results showed that during the period 1961-1969, only the evaporation showed significant upward with a value of  $S$  of 24 and a correlation coefficient of 0.7015. The period 1970-1979 showed positive and negative trends, for the maximum temperature the  $S$  value corresponded to 24, with a correlation coefficient of 0.4613, which represents a significant upward trend. Evaporation in this period had a negative trend with an  $S$  value of -25, with a correlation coefficient of 0.4877, and a significant trend for decreasing. In the period of 1980-1989, the precipitation showed a negative trend with  $S$  value of -27 and correlation

\* Recibido: junio de 2014  
Aceptado: noviembre de 2014

valor de  $S$  de -27 y coeficiente de correlación de 0.5324 con tendencia significativa a disminuir. Los periodos 1990-1999 y 2000-2009, mostraron tendencias similares para el caso de temperatura máxima y evaporación del reservorio. Para 1990-1999 la temperatura máxima presentó tendencia positiva con valor de  $S$  de 25, coeficiente de correlación de 0.5447 y tendencia significativa al incremento. Para el mismo periodo la evaporación del reservorio también presentó tendencia positiva con valor  $S$  de 29, coeficiente de correlación de 0.6404 y tendencia significativa al incremento. En el periodo de 2000-2009 la temperatura máxima presentó un valor  $S$  de 24 con coeficiente de correlación de 0.6684 y tendencia significativa al incremento. La evaporación del reservorio presentó la misma tendencia con valor  $S$  de 25, coeficiente de correlación de 0.5911 y tendencia significativa al incremento. Se concluye que los periodos comprendidos entre 1961-1989 no mostraron tendencias notables en las variables meteorológicas, por el contrario el periodo comprendido entre 1990-2009 presentó tendencias claras al incremento para el caso de la temperatura máxima y la evaporación del reservorio. Sin embargo es un comportamiento esperado debido a que la evaporación de un cuerpo de agua depende en gran medida de la temperatura en el ambiente, así como otras variables ambientales y físicas propias de un cuerpo de agua superficial. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos el incremento de la temperatura puede afectar de manera negativa la pérdida por evaporación en la presa La Vega.

**Palabras clave:** cambio climático, evaporación, presa La Vega.

## Introducción

El clima es un factor de gran importancia para las actividades que se llevan a cabo en las comunidades (Charlton y Arnell, 2011; Murray *et al.*, 2013). Evidencia científica ha demostrado que el cambio climático se empieza a manifestar en diversas formas, entre las que se mencionan la intensidad de las lluvias así como el incremento de temperatura y el nivel del mar por el deshile de los glaciares (Koutroulis *et al.*, 2013; Dunn *et al.*, 2012). Cuando se habla de cambio climático la temperatura y la precipitación son los componentes más importantes con alteraciones en patrones de comportamiento (Chaouche *et al.*, 2010). Los impactos del cambio climático se pueden reflejar en cambios en los ecosistemas alterando la diversidad de plantas y animales (Ostendorf *et al.*, 2001; Gian-Reto *et al.*, 2002; Haines *et al.*, 2006; Heubes *et al.*, 2013).

coefficient of 0.5324 with a significant decreasing trend. The periods 1990-1999 and 2000-2009, showed similar trends for maximum temperature and evaporation of the reservoir. For 1990-1999, the maximum temperature showed a positive trend with  $S$  value of 25, and a correlation coefficient of 0.5447 and a significant upward trend. For the same period, the reservoir evaporation also showed a positive trend with  $S$  value of 29, correlation coefficient of 0.6404 and significant upward trend. In the period 2000-2009, the maximum temperature presented an  $S$  value of 24 with correlation coefficient of 0.6684 and significant upward trend. The evaporation of the reservoir had the same tendency with  $S$  value of 25, coefficient of correlation of 0.5911 and significant upward trend. We concluded that, the periods between 1961-1989 showed no significant trends in meteorological variables, on the contrary, the period 1990-2009 presented clear trends for the increasing maximum temperature and the evaporation of the reservoir. However, it is an expected behaviour due to the evaporation of a body of water depends largely on the ambient temperature and other environmental variables and characteristics of a natural water body. However, according to the results, the increased temperature might adversely affect evaporation loss in the dam La Vega.

**Keywords:** climate change, dam La Vega, evaporation.

## Introduction

Climate is a major factor for the activities that take place in the communities (Charlton and Arnell, 2011; Murray *et al.*, 2013). Scientific evidence has shown that climate change begins to manifest in various forms, including the intensity of rainfall and increased temperature and the sea level by the melting of glaciers (Dunn *et al.*, 2012; Koutroulis *et al.*, 2013). When talking about climate change, temperature and precipitation are the most important components with alterations in behaviour patterns (Chaouche *et al.*, 2010). The impacts of climate change can be reflected in changes in ecosystems by altering the diversity of plants and animals alike (Ostendorf *et al.*, 2001; Gian-Reto *et al.*, 2002; Haines *et al.*, 2006; Heubes *et al.*, 2013).

In addition, changes in temperature can also cause adverse effects on human health, higher numbers may result in heat waves causing illness and even death in susceptible communities (Paulin and Xiaogang, 2005; Onoz and

Además, los cambios en la temperatura también pueden provocar efectos negativos en la salud humana, los incrementos de la misma pueden resultar en ondas de calor causando enfermedades e incluso la muerte en comunidades susceptibles (Paulin y Xiaogang 2005; Onoz y Bayazit, 2012). El aumento en las tendencias de la precipitación también puede resultar en un incremento de la frecuencia de inundaciones impactando de manera negativa la calidad del agua Dore, 2005; Lensing y Wise 2007; Arnell *et al.*, 2011; Lal, 2013).

Se han realizado un gran número de investigaciones relacionadas con cambio climático en los países desarrollados los cuales han experimentado con herramientas de apoyo para el conocimiento oportuno de ciertos eventos. Por otro lado, es importante mencionar que son los países en desarrollo los que parecen más afectados por los cambios climáticos a nivel global. El afecto se ha observado en un contexto amplio que ha contribuido a cambios sociales (Gasper *et al.*, 2011; Brugger y Crimmins, 2013). Los efectos del cambio climático sobre los recursos acuáticos en los Estados Unidos de Norteamérica han sido estudiados por diversos autores. McBean y Motiee (2008) utilizaron bases de datos de 70 años y analizaron las tendencias de la precipitación, temperatura y los flujos en los grandes lagos de Norte América, utilizando regresión y estadísticas de Mann-Kendall. Los resultados demostraron incrementos estadísticamente significativos en la precipitación en el período de tiempo correspondiente a 1930-2000.

En México, De La Mora-Orozco *et al.* (2011) estimaron el efecto del cambio climático en la concentración del oxígeno disuelto (OD) en el lago de Chapala. Con base en datos de 1961-2003, se realizaron proyecciones para 2031-2014 y 2050-2060, utilizando el modelo de Thomas y Muller que incluye variables de altitud, coeficiente de reaeración, fotosíntesis y respiración. Los resultados de OD para 1961-2003 fueron homogéneos, sin embargo el modelo predice que el OD en el lago de Chapala será influenciado por el gradiente de temperatura y los patrones de circulación del agua en el lago de Chapala. Sin embargo el modelo no predice condiciones de anoxia en el lago para los años simulados. Además, Martínez-Austria (2007) menciona que los recursos hídricos en México ya se encuentran bajo gran presión debido principalmente al crecimiento poblacional, el desarrollo social y económico que han generado mayor demanda.

Bayazit, 2012). Increasing trends in precipitation may also result in an increase in the frequency of floods negatively impacting water quality (Dore, 2005; Lensing and Wise 2007; Arnell *et al.*, 2011; Lal, 2013).

There have been a large number of investigations related to climate change in developed countries which have experienced with supporting tools for the timely knowledge of certain events. On the other hand, it is important to note that, the developing countries are the ones that seem most affected by climate change globally. The affect has been observed in a broad context that has contributed to social changes (Gasper *et al.*, 2011; Brugger and Crimmins, 2013). The effects of climate change on water resources in the United States have been studied by several authors. McBean and Motiee (2008) used 70 year old databases and analysed the trends in precipitation, temperature and flows in the Great Lakes of North America, using regression and statistics by Mann-Kendall. The results showed statistically significant increases in precipitation in the 1930-2000 period.

In Mexico, De La Mora-Orozco *et al.* (2011) estimated the effect of climate change in the concentration of dissolved oxygen (DO) in the Lake Chapala. Based on data from 1961-2003, 2031-2014 and projections for 2050-2060 performed using the model of Thomas Muller and variables including altitude, coefficient of reaeration, photosynthesis and respiration. OD results for 1961-2003 were homogeneous, but the model predicts that the OD at the Lake Chapala will be influenced by the temperature gradient and water circulation patterns in Lake Chapala. However, the model does not predict anoxic conditions in the lake for the simulated years. In addition, Martínez-Austria (2007) mentioned that water resources in Mexico are already under great pressure mainly due to population growth, social and economic development that have generated an increased demand.

Changes in climate can cause a significant negative effect on the quality and quantity of water (Moghaddasi and Mushtaq, 2011; Luo *et al.*, 2013) and surface water bodies such as the dam La Vega are not exempt from the negative impacts that these changes may cause. As mentioned, the study of climate change impacts on water resources is of significant importance. This work focused on determining the annual trends in temperature and precipitation over a period of 5

Los cambios en el clima pueden ocasionar un efecto negativo significativo en la calidad y cantidad de agua (Moghaddasi y Mushtaq, 2011; Luo *et al.*, 2013) y los cuerpos de agua superficiales como es el caso de la presa La Vega no están exentos de los impactos negativos que éstos cambios puede ocasionar. Por lo mencionado anteriormente, el estudio de los impactos del cambio climático en el recurso agua es de importancia significativa. Este trabajo se enfocó en determinar las tendencias anuales de la temperatura y la precipitación en un periodo de 5 décadas (1961-2009), para determinar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos de la presa La Vega, en Teuchitlán Jalisco, México.

## Metodología

### Área de estudio

La Presa de La Vega se localiza en el municipio de Teuchitlán al centro del estado de Jalisco, en las coordenadas geográficas 20° 33' 50" y los 20° 47' 40" de latitud norte; y 103° 47' 30" a los 103° 51' 20" de longitud oeste, a una altura de 1 300 msnm. Limita al norte con los municipios, Tequila y Amatitán; al sur, Tala, Ameca y San Martín Hidalgo; al este, Tala y Amatitán; y al oeste, Ahualulco de Mercado y Ameca, fue construida con fines de riego y control de avenidas entre los años 1952 y 1956. La capacidad total del vaso es de 44 mm<sup>3</sup> y el área correspondiente del embalse es de 1 950 hectáreas. Es de vital importancia el servicio que la presa otorga a los productores agrícolas del área, ya que la principal actividad en las comunidades circundantes al embalse, es la agricultura, especialmente el cultivo de caña de azúcar, maíz y trigo (De La Mora-Orozco *et al.*, 2013). Los productores de caña de azúcar de los municipios de Teuchitlán, Ahualulco de Mercado y Ameca son los principales usuarios; sin embargo, los productores de Ameca en la parte baja de la presa ocupan la mayor extensión de cultivo de aproximadamente 10 000 hectáreas, siendo los principales usuarios y beneficiarios del embalse, la Figura 1 muestra el área de escurrimiento de la cuenca de la presa La Vega

### Recolección de datos

Las series de datos analizados incluidos en el trabajo, fueron recolectados de la estación meteorológica número 14089, siendo ésta la estación más cercana a la presa La Vega y que se localiza en las siguientes coordenadas: latitud 20° 35' 30" y longitud 103° 51' 30" a 1 260 msnm, . La pérdida por evaporación fue calculada partiendo de los datos

decades (1961-2009) to determine the impact of climate change on water resources of the dam La Vega in Teuchitlán Jalisco, Mexico.

## Methodology

### Study area

The dam La Vega is located in the municipality of Teuchitlán, in the centre of the State of Jalisco, in the geographical coordinates 20° 33' 50' and 20° 47' 40' north latitude; and 103° 47' 30' to 103° 51' 20' west longitude, at an elevation of 1 300 meters. Bordering at the north with the municipalities, Tequila and Amatitán; south, Tala, Ameca and San Martín Hidalgo; east, Tala and Amatitán; and west, and Ahualulco de Mercado and Ameca, built for irrigation and flood control between 1952 and 1956. The total capacity of the vessel is 44 mm<sup>3</sup> and the associated reservoir area is 1 950 hectares. It is vital that the dam service grants to agricultural producers in the area, as the main activity in the communities surrounding the reservoir is agriculture, especially the cultivation of sugarcane, maize and wheat (De La Mora-Orozco *et al.*, 2013). The producers of sugarcane of the municipalities Teuchitlán, Ahualulco de mercado and Ameca are the main users; however, the producers of Ameca in the lower part of the dam occupy the largest area of cultivation of about 10 000 hectares, the main users and beneficiaries of the reservoir, Figure 1 shows the runoff of the basin of the dam The Vega.



**Figura 1. Área de escurrimiento de la cuenca de la presa La Vega.**  
**Figure 1. Runoff area of the basin of the dam La Vega.**

### Data collection

The series of analysed data included in the work were collected from the weather station number 14089, which is the closest to the dam La Vega and located at the following

meteorológicos. Los parámetros meteorológicos fueron; precipitación (mm), temperatura máxima y mínima (°C), evaporación (mm) y pérdida por evaporación en la presa La Vega (mm/año), en el periodo 1961-2009.

### Análisis de datos

Todos los parámetros fueron sometidos a los siguientes análisis: análisis estadístico y análisis de Mann-Kendall. En el análisis estadístico se determinaron la media, mediana, desviación estándar y varianza, los parámetros se mencionan a continuación:

Media aritmética: la medida de tendencia central más conocida es la media aritmética. La media se obtiene sumando todas las observaciones divididas entre el número de  $n$  observaciones y se determina de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad 1)$$

Mediana: la mediana de un conjunto finito de valores es aquel valor que divide al conjunto en dos partes iguales, de forma que el número de valores mayores o iguales a la mediana es igual al número de valores menores o iguales a ésta. La mediana del conjunto de datos es la  $(n+1)/2$ -ésima observación, cuando las observaciones han sido ordenadas.

Varianza: cuando los valores de un conjunto de observaciones se encuentran ubicadas cerca de su media, la dispersión es menor que cuando están esparcidos. En consecuencia, se puede medir la dispersión en función del esparcimiento de los valores alrededor de su media.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad 2)$$

Desviación estándar: es una medida de la dispersión de los datos, para obtener la medida de dispersión simplemente se obtiene la raíz cuadrada de la varianza mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad 3)$$

Coefficiente de variación: la desviación estándar es útil como medida de variación en un determinado conjunto de datos. El coeficiente de variación se expresa la desviación estándar como un porcentaje de la media. La ecuación es la siguiente:

coordinates station: latitude 20° 35' 30' and longitude 103° 51' 30', 1 260 meters above sea level. Evaporation loss was calculated based on meteorological data. The meteorological parameters were; precipitation (mm), maximum and minimum temperature (°C), evaporation (mm) and evaporation loss in the dam La Vega (mm/year) in the period 1961-2009.

### Data analysis

All the parameters were subjected to the following tests: statistical analysis and Mann-Kendall analysis. In the statistical analysis the mean, median, standard deviation and variance were determined, the parameters are listed below:

Arithmetic mean: the measure of central trend better known is the arithmetic mean. The average is obtained by summing all the observations divided by the number of  $n$  observations determined as follows:

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad 1)$$

Median: The median of a finite set of values is the value that divides the set into two equal parts, so that the number of larger than or equal to the median value equals the number less than or equal to this value. The median of the data set is  $(n+1)/2$ -th observation, when the observations have been ordered.

Variance: when the values of a set of observations are located near the middle, the dispersion is less than when they are scattered. Accordingly, the dispersion can be measured based on the scattering of the values around their mean.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad 2)$$

Standard deviation: is a measurement of the dispersion of data, for obtain the dispersion measurement, the square root of the variance is obtained by the following equation:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad 3)$$

Coefficient of variation: the standard deviation is useful as a measure of variation in a given dataset. The coefficient of variation is the standard deviation expressed as a percentage of the average. The equation is:

$$C. V.=\frac{\sigma}{\bar{x}} \quad 4)$$

### Cálculo de la evaporación en la presa La Vega

Como no se cuenta con datos precisos de los afluentes a la presa La Vega para determinar la evaporación por balance de masas, se determinó utilizando los datos reales de temperatura y el cálculo de la radiación solar y humedad relativa. La evaporación se determinó utilizando la ecuación de Penman (1963) que se muestra a continuación:

$$E=\frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \pi r^2 \quad 5)$$

Donde: H= radiación solar (cal/cm<sup>2</sup>); para Ea, Penman (1963) desarrollo una relación empírica.

Donde: Ea= 0.47 (0.5 + 0.01 u<sub>2</sub>) (e<sub>a</sub>' - e<sub>2</sub>) (mm/día); u<sub>2</sub>= velocidad del viento (mi/día); e<sub>2</sub>= la presión de vapor en la superficie del agua (mb);  $\frac{\Delta}{\gamma}$  es en función a la temperatura.

### Método estadístico de Mann-Kendall

El método estadístico de Mann Kendall es ampliamente utilizado para el análisis de tendencias climatológicas así como series hidrológicas de tiempo (Chaouche *et al.*, 2010). Algunas ventajas del uso de esta metodología es que es un método no-paramétrico y por lo tanto no requiere que los datos tengan distribución normal. Otra ventaja es que tiene baja sensibilidad a los cambios bruscos debido a datos no homogéneos (Trajkovic y Gocic, 2013). Otra ventaja es que cualquier dato no detectado es incluido otorgándole un valor común menor al valor mas bajo medido en la serie de datos (Ay y Kisi, 2014). De acuerdo con este método la hipótesis nula H<sub>0</sub> asume que no hay tendencia y ésta es analizada contra la hipótesis alternativa H<sub>1</sub>, la cual asume que si existe tendencia (Ehsanzadeh *et al.*, 2013).

El procedimiento para el análisis de Mann Kendall considera series de tiempo de un número n de sitios de datos y T<sub>i</sub> y T<sub>j</sub> como dos subgrupos donde:

i= 1, 2, 3,....., n-1 y j= i + 1, i+2, i+3,.....,n cada dato de T<sub>i</sub> es utilizado como punto de referencia y es comparado con todos los puntos T<sub>j</sub> como:

$$\text{sing}(T)= \begin{cases} 1 \text{ para } T_j > T_i \\ 0 \text{ para } T_j = T_i \\ -1 \text{ para } T_j < T_i \end{cases} \quad 6)$$

$$C. V.=\frac{\sigma}{\bar{x}} \quad 4)$$

### Evaporation calculation in the dam La Vega

Since we have no precise data of the tributaries to the dam La Vega to determine the evaporation by mass balance, it was determined using actual temperature data and calculation of solar radiation and relative humidity. Evaporation was determined using the Penman equation (1963) shown below:

$$E=\frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \pi r^2 \quad 5)$$

Where: H= solar radiation (cal/cm<sup>2</sup>); for Ea, Penman (1963) developed an empirical relationship.

Where: Ea=0.47 (0.5 + 0.01 u<sub>2</sub>) (e<sub>a</sub>' - e<sub>2</sub>) (mm/day); u<sub>2</sub>= wind speed (mi/day); e<sub>2</sub>= vapour pressure of the water surface (mb);  $\frac{\Delta}{\gamma}$  is in function of temperature.

### Statistical method of Mann-Kendall

The statistical method of Mann Kendall is widely used for the analysis of climatic trends and hydrological time series (Chaouche *et al.*, 2010). Some advantages of using this method is that it is a non-parametric method and therefore requires data normally distributed. Another advantage is that it has low sensitivity to shocks due to inhomogeneous data (Trajkovic and Gocic, 2013). Another advantage is that any undetected data is included giving a common value lower than the lowest measured value in the data series (Ay and Kisi, 2014). According to this method, the null hypothesis H<sub>0</sub> assumes no trend and it is tested against the alternative hypothesis H<sub>1</sub>, assuming a tendency (Ehsanzadeh *et al.*, 2013).

The procedure for the analysis of Mann Kendall consider time series of a number n of data sites and T<sub>i</sub> and T<sub>j</sub> as two subgroups where:

i= 1, 2, 3, ..., n-1 and j= i + 1, i + 2, i + 3, ..., n each data of T<sub>i</sub> is used as a reference point and is compared with all points T<sub>j</sub> as:

$$\text{sing}(T)= \begin{cases} 1 \text{ para } T_j > T_i \\ 0 \text{ para } T_j = T_i \\ -1 \text{ para } T_j < T_i \end{cases} \quad 6)$$

The Mann-Kendall statistic (S) is given by:

La estadística de Mann-Kendall (S) está dada por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(T_j - T_i) \quad 7)$$

Un valor positivo muy alto de S es un indicador de una tendencia al incremento, y un valor muy bajo es un indicador de una tendencia decreciente. Sin embargo, es muy necesario calcular la probabilidad asociada con S de un número n de muestras, para así cuantificar estadísticamente las tendencias significativas (Hamed, 2008).

La varianza de S y  $\sigma$  se calculó con la siguiente ecuación:

$$\sigma^2 = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g (t_p-1)(2t_p+5)] \quad 8)$$

Donde n corresponde a un dato; g es el número de grupos unificados (un grupo unificado es un grupo de datos que tienen el mismo valor); y  $t_p$  es el número de datos en el grupo  $p^{\text{th}}$ .

En la secuencia (2,3, no detectado, 3, no detectado, 3), entonces se tienen  $n=6$ ,  $g=2$ ,  $t=2$  para los no detectados, y  $t=3$  para los 3 valores unificados.

El análisis normalizado de  $Z_s$  se calculó como sigue:

$$Z_s = \begin{cases} (S-1)/\sigma & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ (S-1)/\sigma & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad 9)$$

El análisis estadístico  $Z_s$  es utilizado como una medida de significancia de la tendencia. De hecho, este análisis estadístico es utilizado para el análisis de la hipótesis nula,  $H_0$ ; no existen tendencia en los datos. Si  $Z_s$  es mayor que  $Z_{\alpha/2}$ , donde  $\alpha$  representa el nivel de significancia elegida (usualmente 5% con  $Z_{0.025} = 1.96$ ) entonces la hipótesis se declara nula, esto significa que la tendencia es significativa, por lo tanto la causa de la tendencia no ocurre al azar u ocasionalmente si no que existe un factor que la ocasiona.

## Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra los resultados del análisis estadístico de la temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación para la serie de datos obtenidos de la estación meteorológica 14089, estación localizada en el área de influencia de la presa La Vega de 1961-2009. Se observó

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(T_j - T_i) \quad 7)$$

A very high positive value of S is an indication of an increasing trend, and a very low value is indicative of a downward trend. However, it is necessary to calculate the probability associated with S of n number of samples in order to quantify statistically significant trends (Hamed, 2008).

The variance of S and  $\sigma$  was calculated with the following equation:

$$\sigma^2 = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g (t_p-1)(2t_p+5)] \quad 8)$$

Where n corresponds to one data, g is the number of unified groups (a unified group is a group of data with the same value); and  $t_p$  is the number of data in the  $p^{\text{th}}$  group.

In the sequence (2,3, not detected, 3, not detected, 3), then  $n=6$ ,  $g=2$ ,  $t=2$  for the undetected, and  $t=3$  for the 3 values unified.

The normalized analysis of  $Z_s$  was calculated as follows:

$$Z_s = \begin{cases} (S-1)/\sigma & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ (S-1)/\sigma & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad 9)$$

The statistical analysis  $Z_s$  is used as a measure of significance to this trend. In fact, the statistical analysis is used to analyse the null hypothesis  $H_0$ ; there is no trend in the data. If  $Z_s$  is higher than  $Z_{\alpha/2}$ , where  $\alpha$  represents the chosen significance level (typically 5% at  $Z_{0.025} = 1.96$ ), then the hypothesis is null, this means that the trend is significant, therefore the cause of the tendency does not occurs randomly or occasionally if there is a factor that brings it.

## Results and discussion

The Table 1 shows the results of statistical analysis of the maximum temperature, minimum temperature, precipitation and evaporation for the series of data obtained from the weather station 14089, located in the area of influence of the dam "La Vega" from 1961 to 2009. We observed that the highest value corresponded to the years 1961-1969 to 31.3 °C and the lowest value of 30.2 °C, corresponding with the average for the decade 2000-2009. The range of the standard deviation varied between 3.54-3.93 °C. Ruíz *et al.* (2012) reported similar values of maximum temperature, minimum

que el valor más alto correspondió a los años 1961-1969 con 31.3 °C y el valor más bajo de 30.2 °C correspondiente al promedio de la década 2000-2009. El rango de la desviación estándar varió entre 3.54-3.93 °C. Ruíz *et al.* (2012) reportaron valores similares de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación promedio para la misma estación climatológica. El valor máximo y mínimo para los promedios de temperatura mínima correspondieron a la década de 1980-1989 y 2000-2009, con valores de 13.4 °C y 11.7 °C respectivamente. El rango de la desviación estándar correspondió a valores entre 4.93-7.89 (Cuadro 1). El promedio de la precipitación (mm) para las 5 décadas analizadas mostró que el promedio más alto observado correspondió al periodo de 1961-1969 con 2.63 mm, mientras que el valor más bajo correspondió a la década de 1980-1989 con 2.42 mm. La desviación estándar se presentó en un rango de 7.32-7.89.

El valor máximo de evaporación se presentó en el periodo de 1961-1969 con 4.97 mm, y el valor mínimo observado correspondió al periodo de 2000-2009 con 4.08 mm. El rango de la desviación estándar fluctuó entre 4.60-3.85. El Cuadro 1, muestra también la media de la evaporación de la presa La Vega para los años 1961-2009. El valor más alto se presentó en el periodo de 1980-1989, con un valor de 144 mm, mientras que el valor más bajo se presentó en los años 2000-2009. La desviación estándar fluctuó en un rango de 6.46-2.64.

temperature, precipitation and average evaporation for the same weather station. The maximum and minimum value for the average minimum temperature corresponded to the decade of 1980-1989 and 2000-2009, with values of 13.4 °C and 11.7 °C, respectively. The range of the standard deviation corresponded to 4.93-7.89 (Table 1). The average precipitation (mm) for the 5 decades analysed showed that, the highest average observed corresponded to the period of 1961-1969 with a 2.63 mm, while the lowest value corresponded to the decade 1980-1989 to 2.42 mm. The standard deviation is presented in a range of 7.32-7.89.

The maximum evaporation was made in the period 1961-1969 to 4.97 mm, and the minimum value observed corresponded to the period 2000-2009 to 4.08 mm. The range of the standard deviation ranged from 4.60-3.85. The Table 1 also shows the average evaporation of the dam La Vega for the years 1961-2009. The highest value was recorded in the period 1980-1989, with a value of 144 mm, while the lowest value was recorded in the years 2000-2009. The standard deviation fluctuated in a range of 6.46-2.64.

The results of the Mann-Kendall statistic ( $S$ ) and  $Z_s$  for the period 1961-1969 are presented in the Table 2. The results showed a positive value  $S$  of 24 and  $Z_s$  of 2.4, for the case of

### Cuadro 1. Estadísticas de la temperatura máxima promedio de 1961-2009, serie de datos de la estación meteorológica 14089 en Teuchitlán, Jalisco.

Table 1. Statistics of the average maximum temperature of 1961 to 2009, data series of the weather station 14089 in Teuchitlán, Jalisco.

	1961-1969	Temperatura máxima (°C)			
		1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009
Media	30.3	31.2	31.3	31	30.2
Desviación estándar	3.54	3.56	3.71	3.93	3.74
		Temperatura mínima (°C)			
Media	12.5	12.5	13.4	12.6	11.5
Desviación estándar	5.11	5.16	5.17	7.89	4.93
		Precipitación (mm)			
Media	2.63	2.50	2.42	2.5	2.44
Desviación estándar	7.39	7.32	7.71	7.89	7.33
		Evaporación (mm)			
Media	4.97	4.81	4.86	4.69	4.08
Desviación estándar	2.12	2.11	2.10	1.97	1.69
		Evaporación en la presa La Vega (mm/año)			
Media	137	138	144	139	120
Desviación estándar	2.64	2.3	6.46	3.58	1.95



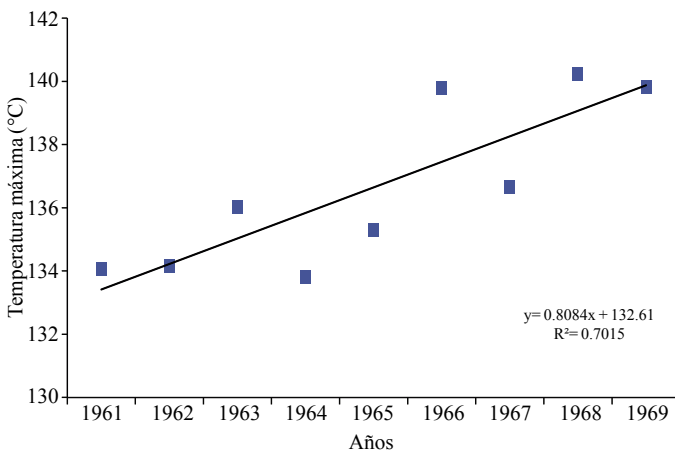
Los resultados de la estadística de Mann-Kendall ( $S$ ) y  $Z_s$  para el periodo de 1961-1969 se presentan en el Cuadro 2. Los resultados mostraron un valor positivo de  $S$  de 24 y  $Z_s$  de 2.4, para el caso de la precipitación en este periodo de tiempo, con un coeficiente de correlación de 0.7015. Estos valores indican un incremento significativo en la tendencia en la evaporación de la presa La Vega entre 1961 y 1969. Esta tendencia se muestra gráficamente en la Figura 2. La temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación no mostraron tendencia.

precipitation in this period, with a correlation coefficient of 0.7015. These values indicated a significant increase in the trend in evaporation of the dam La Vega between 1961 and 1969. This trend is shown graphically in Figure 2. The maximum temperature, minimum temperature, precipitation and evaporation showed no trend at all.

In the period comprising 1970-1979, we observed a significant upward trend in the maximum temperature, with a value  $S$  of 24 and  $Z_s$  of 2.06, with a correlation coefficient of 0.4613. While evaporation showed a significant

**Cuadro 2. Estadísticas de Mann-Kendall para el periodo 1961-1969.**  
**Table 2. Mann-Kendall statistics for the period 1961-1969.**

Parámetro	Mann-Kendall (S)	$Z_s$	Coefficiente de correlación	Tendencia
Temperatura máxima (°C)	4.00	0.31	0.2518	No existe tendencia
Temperatura mínima (°C)	2.00	0.24	0.1522	No existe tendencia
Precipitación (mm)	7.00	0.63	0.0751	No existe tendencia
Evaporación (mm)	-18.0		0.3567	No existe tendencia
Evaporación del reservorio (mm año <sup>-1</sup> )	24.0	2.40	0.7015	Incremento significativo



**Figura 2. Tendencia de la pérdida por evaporación en la presa La Vega en el periodo 1961-1969.**

**Figure 2. Trends in evaporation loss in the dam La Vega in the period 1961-1969.**

En el periodo que comprende de 1970-1979, se observó tendencia significativa al incremento de la temperatura máxima, con un valor  $S$  de 24 y  $Z_s$  de 2.06, con un coeficiente de correlación de 0.4613. Mientras que la evaporación mostró una tendencia significativa a disminuir con un valor  $S$  negativo de -25 y  $Z_s$  de -2.15. La precipitación y la evaporación del reservorio no presentaron tendencia, los resultados se muestran en el Cuadro 3.

tendency to decrease with a negative  $S$  value of -25 and  $Z_s$  -2.15. Precipitation and evaporation of the reservoir showed no trend, the results are shown in the Table 3.

The Table 4 shows the trend of the different meteorological variables included in the analysis for the period 1980-1989. Rainfall had a negative significant trend, indicating decreased rainfall in this period. The Mann-Kendall statistic showed a negative value  $S$  of -27 and  $Z_s$  of -2.33 with a correlation coefficient of 0.5324. The variables of maximum temperature, minimum temperature, evaporation, and evaporation of the reservoir showed no trend at all.

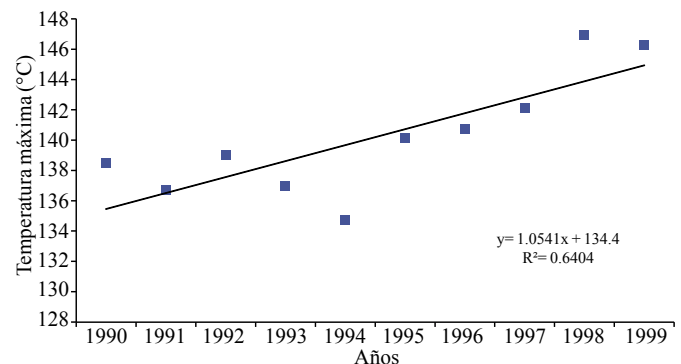
The Table 5 shows the trends of all the variables analysed for the period 1990-1999. During this period, positive values of  $S$  to the maximum temperature and evaporation of the reservoir 25 and 29, respectively with  $Z_s$  value of 2.15 for the maximum temperature and 2.50 for the evaporation of the reservoir. With correlation coefficient of 0.5447 for the maximum temperature and 0.6404 for the evaporation of the reservoir. The trend was presented as significant upward for maximum temperature and evaporation loss from the reservoir. The Figure 3 shows the trend of the evaporation of the reservoir for this period. The minimum temperature, precipitation and evaporation showed no trend at all.

**Cuadro 3. Estadísticas de Mann-Kendall para el periodo 1970-1979.**  
**Table 3. Mann-Kendall statistics for the period 1970-1979.**

Parámetro	Mann-Kendall (S)	$Z_s$	Coefficiente de correlación	Tendencia
Temperatura máxima (°C)	24	2.06	0.4613	Incremento significativo
Temperatura mínima (°C)	1	0	9.00E-05	No existe tendencia
Precipitación (mm)	8	0.63	0.0324	No existe tendencia
Evaporación (mm)	-25	-2.15	0.4877	Decrece significativamente
Evaporación del reservorio (mm año <sup>-1</sup> )	9	0.72	0.1237	No existe tendencia

El Cuadro 4 muestra la tendencia de las diferentes variables meteorológicas incluidas en el análisis en el periodo 1980-1989. La precipitación presentó tendencia significativa negativa, lo cual indica disminución de la precipitación en este periodo. La estadística de Mann-Kendall mostró un valor  $S$  negativo de -27 y  $Z_s$  de -2.33 con un coeficiente de correlación de 0.5324. Las variables de temperatura máxima, temperatura mínima, evaporación y evaporación del reservorio no presentaron tendencia.

En el Cuadro 5 se muestran las tendencias de todas las variables analizadas para el periodo de 1990-1999. En este periodo se obtuvo valores positivos de  $S$  para la temperatura máxima y la evaporación del reservorio 25 y 29 respectivamente con valor de  $Z_s$  de 2.15 para la temperatura máxima y 2.50 para la evaporación del reservorio. Con coeficiente de correlación de 0.5447 para temperatura máxima y 0.6404 para la evaporación del reservorio. La tendencia se presentó como significativa al incremento para la temperatura máxima y la pérdida por evaporación del reservorio. La Figura 3 muestra gráficamente la tendencia de la evaporación del reservorio para este periodo. La temperatura mínima, precipitación y evaporación no presentaron tendencia.



**Figura 3. Tendencia de la pérdida por evaporación en la presa La Vega en el periodo 1990-1999.**

**Figure 3. Evaporation loss trend in the dam La Vega in 1990-1999.**

The Table 6 shows the trends of weather variables over the period 2000-2009. There were similarities in trends with the period of 1990-1999, where only the maximum temperature and evaporation of the reservoir showed positive value  $S$  of 24 and 25, respectively. With correlation coefficient of 0.6684 and 0.5870 at the maximum temperature for the evaporation of the reservoir. Both variables showed significant upward trend. The minimum temperature, precipitation and evaporation showed no trend. The Figure 4 shows the trend of evaporative loss of the dam La Vega for the period 2000-2009.

**Cuadro 4. Estadísticas de Mann-Kendall para el periodo 1980-1989.**  
**Table 4. Mann-Kendall statistics for the period 1980-1989.**

Parámetro	Mann-Kendall (S)	$Z_s$	Coefficiente de correlación	Tendencia
Temperatura máxima (°C)	-3	-0.18	0.0247	No existe tendencia
Temperatura mínima (°C)	-1	0	0.0167	No existe tendencia
Precipitación (mm)	-27	-2.33	0.5324	Decrece significativamente
Evaporación (mm)	11	0.89	0.2091	No existe tendencia
Evaporación del reservorio (mm año <sup>-1</sup> )	-5	-0.36	0.0584	No existe tendencia

**Cuadro 5. Estadísticas de Mann-Kendall para el periodo 1990-1999.****Table 5. Mann-Kendall statistics for 1990-1999.**

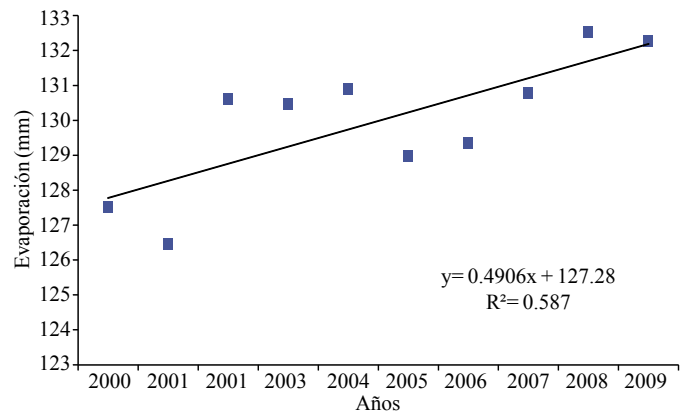
Parámetro	Mann-Kendall (S)	Z <sub>s</sub>	Coefficiente de correlación	Tendencia
Temperatura máxima (°C)	25	2.15	0.5447	Incremento significativo
Temperatura mínima (°C)	1	0	0.0649	No existe tendencia
Precipitación (mm)	-12	-0.98	0.2304	No existe tendencia
Evaporación (mm)	-6	-0.45	0.0342	No existe tendencia
Evaporación del reservorio (mm año <sup>-1</sup> )	29	2.5	0.6404	Incremento significativo

El Cuadro 6 muestra las tendencias de las variables meteorológicas en el periodo 2000-2009. Se presentó similitud en las tendencias con el periodo de 1990-1999, donde solo la temperatura máxima y la evaporación del reservorio presentaron valor positivo de S de 24 y 25 respectivamente. Con coeficiente de correlación de 0.6684 en la temperatura máxima y 0.5870 para la evaporación del reservorio. Las dos variables presentaron tendencia significativa al incremento. La temperatura mínima, precipitación y evaporación no presentaron tendencia. La Figura 4 muestra la tendencia de pérdida por evaporación de la presa La Vega para el periodo 2000-2009.

Es importante mencionar que no obstante en algunos casos los resultados mostraron un valor positivo de S, la tendencia no fue significativa, estos resultados coinciden con los encontrados por (Nalley *et al.*, 2013), al utilizar la metodología de Mann-Kendall para analizar las tendencias en la temperatura superficial en Ontario y Quebec Canadá. Por otro lado, Hamed (2008) mencionó que un valor alto de S es un indicador de una tendencia al incremento, por el contrario un valor bajo de S representa una tendencia a disminuir. Esta teoría se confirma en esta investigación, ya que los valores de S por encima de 24 correspondieron a las tendencias significativas al incremento. Por el contrario las variables que presentaron un valor de S por debajo de 20 no presentaron tendencia.

**Cuadro 6. Estadísticas de Mann-Kendall para el periodo 2000-2009.****Table 6. Mann-Kendall statistics for the period 2000-2009.**

Parámetro	Mann-Kendall (S)	Z <sub>s</sub>	Coefficiente de correlación	Tendencia
Temperatura máxima (°C)	24	2.06	0.6684	Incremento significativo
Temperatura mínima (°C)	-1	0	0.0038	No existe tendencia
Precipitación (mm)	0	0	0.0152	No existe tendencia
Evaporación (mm)	-13	-1.07	0.1065	No existe tendencia
Evaporación del reservorio (mm/año)	25	2.15	0.587	Incremento significativo

**Figura 4. Tendencia de la evaporación de la presa La Vega en el periodo 2000-2009.****Figure 4. Evaporation trend of the dam La Vega in the period 2000-2009.**

It is noteworthy that, even though in some cases the results showed a positive value of S, the trend was not significant, these results are consistent with those found by Nalley *et al.* (2013), using the Mann-Kendall method to analyse the trends in surface temperature in Ontario and Quebec, Canada. Furthermore, Hamed (2008) mentioned that a high value of S is an indicator of an increasing trend; however, a low value of S represents a downward of trend. This theory is confirmed in this investigation, since the values S of 24 corresponded to the increase significant trends. In contrast, the variables with a value S of 20 showed no trend at all.

Aunque los resultados obtenidos del análisis de la tendencia de la evaporación en la presa La Vega en esta investigación mostraron tendencia significativa a incrementar, Badawy (2009) menciona que la evaporación es también determinada por otras variables como la temperatura del aire y la humedad, así como la velocidad del viento. Badawy aplicó un modelo de predicción para 2050 y concluye que si bien se espera que la evaporación en 2050 aumente como resultado del incremento de la temperatura, sus resultados mostraron un incremento negativo de la evaporación. Por otro lado, Liu y Yang (2010) mencionan que la precipitación juega un papel determinante en la evapotranspiración.

## Conclusiones

La utilización del método Mann-Kendall permitió identificar las tendencias en la serie de datos de 1961-2009 de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, evaporación y evaporación de la presa La Vega. Los resultados mostraron que los periodos comprendidos entre 1961-1989 no presentaron tendencias claras en las variables analizadas, sin embargo se observó comportamiento diferente en el periodo de 1990-2009, donde las tendencias al incremento de la temperatura máxima se determinaron como significativas. Según los resultados obtenidos en esta investigación en el análisis de Mann-Kendall la pérdida por evaporación en la presa La Vega se incrementó en el periodo 1990-2009 al aumentar la temperatura máxima. Se recomienda la medición en campo de variables como velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar para su utilización como variables dinámicas, lo cual aumentará la certeza de las tendencias así como los modelos de predicción en futuras investigaciones. Por otro lado, el incremento en la temperatura afecta directamente la evaporación de los cuerpos de agua superficiales por lo tanto, el aumento de la evaporación como respuesta es una condición esperada. En general, de acuerdo con los resultados obtenidos los incrementos de temperatura pueden afectar de manera negativa a la evaporación en la presa La Vega.

## Literatura citada

- Arnell, N. W. 1999. Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9(1):31-49.
- Arnell, N. W.; Van Vuuren, D. and I. Morna, P. 2011. The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources. *Global Environmental Change*. 21(2):592-603.

Although the results from the analysis of the trend of evaporation at the dam La Vega in this study showed significant tendency to increase, Badawy (2009) mentioned that the evaporation is also determined by other variables such as air temperature and humidity as well as wind speed. Badawy applied a prediction model for 2050 and concludes that while evaporation is expected to increase in 2050 due to the increase of temperature, the results showed a negative increase for evaporation. Furthermore, Liu and Yang (2010) mentioned that precipitation plays a decisive role in evapotranspiration.

## Conclusions

The use of the Mann-Kendall method identified trends in data series from 1961-2009 of maximum temperature, minimum temperature, precipitation, evaporation and evaporation of the dam La Vega. The results showed that, the periods between 1961-1989 presented no clear trends in the variables analysed; however, a different behaviour was observed in the period 1990-2009, where the trends of increasing the maximum temperature is determined as significant. According to the results in this research in the analysis of Mann Kendall, the evaporation loss in the dam La Vega was increased in the period 1990-2009 due to the increased maximum temperature. Measurement is recommended in field for the variables such as wind speed, relative humidity and solar radiation for use them as dynamic variables, which will increase the certainty of the trends and forecast models in future researches. Furthermore, the increase in temperature directly affects the evaporation of surface water, thus, increasing evaporation as a response is a expected condition. In general, according to the results, increases in temperature might adversely affect evaporation at the dam La Vega.

*End of the English version*



- Ay, Murat and Kisi, O. 2014. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *J. Hydrol.* 513: 362-375.
- Badawy, H. A. 2009. Effect of expected climate changes on evaporation. Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC, Hurghada, Egypt. 10 p.
- Brugger, J. and Crimmins, M. 2013. The art of adaptation: living with climate change in the rural American Southwest. *Global Environmental Change*. 23(6):1830-1940.

- Chaouche, K.; Neppel, L.; Dieulin, C.; Pujol, N.; Ladouche, B.; Martin, E.; Salas, D. and Caballero, Y. 2010. Analyses of precipitation, temperature and evaporation in a French Mediterranean region in the context of climate change. *Comptes Rendus Geoscience*. 342 (3):234-243.
- Charlton, M. B. and Arnell, N. W. 2011. Adapting to climate change impacts on water resources in England and assessment of draft water resources management plans. *Global Environmental Changes*. 21(1):238-248.
- De La Mora-Orozco, C.; Flores-López, H. E. y Durán-Chávez, A. A. 2013. Calidad del agua del embalse de la presa La Vega y su impacto en las tierras agrícolas bajo riego. Libro técnico Núm. 6. INIFAP. 171 pp.
- De La Mora-Orozco, C., Flores-López, H. E.; Durán-Chávez, A. A. y Ruiz-Corral, J. A. 2011. Cambio Climático y el impacto en la concentración de oxígeno disuelto en el Lago de Chapala. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2:381-394.
- Dore, M. H. I. 2005. Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environ. Int.* 31(8):1167-1181.
- Dunn, S. M.; Brown, I.; Sample, J. and Post, H. 2012. Relationships between climate change, water resources, land use and diffuse pollution and the significance of uncertainty in climate change. *J. Hydrol.* 434-435:19-35.
- Ehsanzadeh, E.; Saley, H. M.; Ouarda, T. B. M. J.; Burn, D. H.; Pietroniro, A.; Seidou, O.; Charron, C. and Lee, D. 2013. Analysis of changes in the Great Lakes hydro-climatic variables. *J. Great Lakes Res.* 39(3):383-394.
- Gasper, R.; Blohm, A. and Matthias, R. 2011. Social and economic impacts of climate change on the urban environment. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 3(3):150-157.
- Gian-Reto, W.; Post, E.; Convey, E. P.; Menzel, A.; Parmesan, C.; Trevor, J. C.; Beebee, J. C.; Fromentin, J. M.; Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416:389-395.
- Haines, A., Kovats, R. S., Cambell-Lendrum, D. and Corvalan, C. 2006. Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. *Public Health*. 120(7):585-596.
- Hamed, K. H. 2008. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *J. Hydrol.* 349(3-4):350-363.
- Heubes, J.; Schmidt, M.; Stch, B.; García Marquez, J. R.; Witting, R.; Thiombiano, A.; Sinsin, B.; Schaldach, R. and Hahn, K. 2013. The projected impact of climate and land use change on plant diversity: An example from West Africa. *J. Arid Environ.* 96:48-54.
- Koutroulis, A. G.; Tsanis, L. K.; Daliakopoulos, L. N and Jacob, D. 2013. Impact of climate change on water resources status: a case study for Crete Island, Greece. *J. Hydrol.* 479:146-158.
- Lal, Rattan. 2013. Food security in a changing climate. *Ecophysiol. Hydrobiol.* 13(1):8-21.
- Lensing, J.R. and D.H. Wise. 2007. Impact of changes in rainfall amounts predicted by climate-change models on decomposition in a deciduous forest. *Appl. Soil Ecol.* 35(3):523-534.
- Liu, Q. and Yang, Z. 2010. Quantitative estimation of the impact of climate change on actual evapotranspiration in the Yellow River Basin, China. *J. Hydrol.* 395(3-4):226-234.
- Luo, Y.; Ficklin, D. L.; Liu, X. and Zhang, M. 2013. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling approach. *Science of the Total Environment*. 450-451:72-82.
- Martínez-Austria, P.F. 2007. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. SEMARNAT. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 61 p.
- McBean, E. And Motiee, H. 2008. Assessment of impact of climate change on water resources: a long term analysis of the Great Lakes of North America. *Hydrol. Earth System Sci.* 12:239-255.
- Moghaddasi, M. and Mushtaq, S. 2011. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. *Environ. Sci. Policy*. 14(8):1139-1150.
- Murray, S. J.; Foster, P. N. and Prentice, I. C. 2012. Future global water resources with respect to climate change and water withdrawals as estimated by a dynamic global vegetation model. *J. Hydrol.* 448-449:14-29.
- Nalley, D.; Adamowski, J. Khalil, B. and Ozga-Zielinski, B. 2013. Trend detection in surface air temperature in Ontario and Quebec, Canada during 1967-2006 using the discrete wavelet transform. *Atmospheric Res.* 132-133:375-398.
- Onoz, B. And Bayazit, M. 2003. The power of statistical test for trend detection. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 27:247-251.
- Ostendorf, B.; Hilbert, D. W. and Hopkins, M. S. 2001. The effect of climate change on tropical rainforest vegetation pattern. *Ecol. Modelling*. 145(2-3):211-224.
- Paulin, C., and Xiaogang, S. 2005. Identification of the effect of climate change on future design standards of drainage infrastructure in Ontario. Final report. cMaster University Department of Civil Engineering 1280 Main Street West Hamilton, Ontario, Canada L8S 4L7. 61 pp.
- Penman, H. L. 1963. Vegetation and hydrology. Tech. Comm. No. 533. Harpenden, England: Commonwealth Bureau of Soils. 125 pp.
- Ruiz-Corral, J. A.; Flores-López, H. E.; Regalado-Ruvalcaba, J. R. y Ramírez-Díaz, G. 2012. Estadísticas climáticas normales del estado de Jalisco. Libro técnico Núm. 2. INIFAP. 350 pp.
- Trajkovic, S. and Gocic, M. 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*. 100:172-182.