

Análisis de homogeneidad a los datos climatológicos del distrito de riego 034 Zacatecas

Manuel Zavala, Marco Flores, Fabiola Arellano y Carlos Bautista

M. Zavala, M. Flores, F. Arellano y C. Bautista.
Universidad Atonoma de Zacatecas, Cristobal De Onate 110, 98050 Zacatecas
mzavala73@yahoo.com.mx

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

The estimation of the effects of climate change on water resources is of great importance in regions with arid and semiarid climates where water availability is limited, such as 034 irrigation district of Zacatecas, Mex. The reliability of the estimate depends directly on the quality of each of the time series of weather variables to use, having to have continuous records and unaltered by anthropogenic conditions. In this paper we apply nonparametric tests Standard Normal Homogeneity (SNHT for its acronym in English), and Pettitt Buishand to determine the record length data homogeneous maximum temperature, and precipitation Miniña each weather station that dominates the six modules surface irrigation district 034. It identifies the homogeneous period of the three time series in each irrigation module which can be used with high certainty in future studies of the effects of climate change in this area.

2 Introducción

La superficie agrícola bajo riego en el estado de Zacatecas abarca 153,000 ha, de las cuales 18,230 ha están integradas al distrito de riego 034 estado de Zacatecas, conformado por seis módulos de riego (asociaciones civiles) que están distribuidos en el territorio estatal y el resto de la superficie se concentra en unidades de riego que en general carecen de organización formal. La agricultura de riego contribuye significativamente en el producto interno bruto estatal por lo que estudiar el impacto del cambio climático sobre esta actividad es importante para la región, siendo el distrito de riego 034 el que dispone de la estadística hidroagrícola y climatológica necesaria para realizar el estudio.

La agricultura de riego es afectada por las condiciones climatológicas, ya que estas definen la cantidad de agua que debe extraerse de los almacenamientos superficiales y subterráneos para satisfacer las demandas hídricas de los cultivos. Algunos elementos del clima que determinan las necesidades de riego son la temperatura máxima y mínima así como la precipitación, por lo que para analizar el impacto el impacto del cambio climático en esta actividad es indispensable primero modelar la evolución de estas variables.

Las series de tiempo de las variables climatológicas son básicas para modelar su comportamiento bajo escenarios de cambio climático, sin embargo se requiere que estos datos presenten homogeneidad estadística, ya que cualquier anomalía en la información que no sea causada por las condiciones meteorológicas producirá alteraciones en las proyecciones del clima y puede inducir interpretaciones erróneas sobre su evolución. Algunas causas frecuentes de variaciones abruptas en los registros de las variables climatológicas no relacionadas con fluctuaciones del clima son: a) cambios de ubicación de la estación climatológica; b) cambios de sensores o de métodos de medición; c) descalibración o falla de los instrumentos de medición; y d) modificación del entorno de la estación. A esto se suma la existencia de periodos en las series de tiempo donde no se tienen observaciones. Por tales causas, previo a realizar una modelación del clima, es indispensable verificar si la información disponible presenta o no condiciones de homogeneidad.

Un análisis de homogeneidad identifica si una serie de tiempo es estacionaria en la media (estacionariedad de primer orden) y en la varianza (estacionariedad de segundo orden), y en caso de no serlo ubica el punto de cambio en las tendencias para que el modelador del clima tome decisiones sobre la factibilidad de corregir la serie a partir de observaciones cercanas confiables o de trabajar sólo con la parte de la serie que le presente mayor confiabilidad. El análisis de homogeneidad de primer orden evalúa los cambios en la media y tendencia en la media de la serie de datos y el análisis de segundo orden los cambios en la tendencia de la varianza. En este trabajo se concentra en el análisis de primer orden ya que para analizar el segundo momento de manera confiable, se necesita más información de la que se tiene disponible.

Desde el punto de vista estadístico se dice que una serie de datos es homogénea si es una muestra de una población, y en tal caso es factible obtener resultados representativos de ella. En caso de no ser homogénea puede ser que los datos analizados correspondan a dos poblaciones diferentes. Se pueden aplicar pruebas estadísticas paramétricas o pruebas estadísticas no paramétricas para deducir si existe una tendencia estadísticamente significativa en el comportamiento de la serie. Las pruebas paramétricas presuponen una distribución de probabilidad dada para los datos (por ejemplo la prueba t de student) mientras que las no paramétricas no la presuponen y por ello se conocen también como pruebas de distribución libre. Si bien las pruebas no paramétricas manejan hipótesis sencillas de satisfacer, tienen la ventaja de ser de fácil aplicación y la de detectar cualquier forma de tendencia.

Existen diferentes pruebas estadísticas no paramétricas para evaluar cambios en la media y en la tendencia de la media de las series de tiempo, como las técnicas de Mann-Whitney, signo, Pettitt, Buishand, homogeneidad normal estándar (SNHT por sus siglas en inglés), etc., que han sido aplicadas para analizar series anuales, mensuales y diarias de temperatura y precipitación (Hanssen-Bauer y Forland, 1994; Wijngaard *et al.* 2003; Mihajlovic, 2006), sin embargo muy pocos estudios comparan la eficacia de estas pruebas. Una de las excepciones es el trabajo de Ducre-Robitaille *et al.* (2003) quienes evaluaron y compararon el desempeño de ocho técnicas para detección de discontinuidades en series de temperatura y concluyeron que la prueba que muestra el mejor desempeño es la SNHT. Martínez *et al.* (2009) establecieron que la prueba SNHT detecta más fácilmente rupturas en los extremos de las series de tiempo mientras que las técnicas de Buishand y Pettitt son más sensibles para localizar ruptura en la porción central de las series, por lo que el uso de estas tres pruebas en conjunto puede proporcionar indicadores confiables sobre la homogeneidad de primer orden de la series de datos.

El objetivo del estudio es realizar un análisis de homogeneidad de los registros históricos de la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial medidos en las estaciones climatológicas de los seis módulos del distrito de riego 034 estado de Zacatecas, aplicando las pruebas no paramétricas SNHT, Buishand y Pettitt.

2.1 Materiales y métodos

Pruebas estadísticas no paramétricas:

Las pruebas estadísticas consideradas en este trabajo son la de Homogeneidad Normal Estándar (SNHT), Buishand y Pettitt. En estas pruebas se manejan los conceptos clásicos estadísticos de la hipótesis nula H_0 , hipótesis alternativa H_1 y nivel de significación α .

La hipótesis nula es aquella idea que se asume verdadera hasta que la prueba estadística indique lo contrario; el nivel de significación representa la probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula, tradicionalmente se selecciona no mayor al 5%; y la hipótesis alternativa es el complemento de la hipótesis nula. Las tres pruebas detectan cuándo se produce el cambio o ruptura de la serie.

a) Prueba de Homogeneidad Normal Estándar (SNHT): Alexandersson (1986) desarrolló la prueba de homogeneidad normal estándar (SNHT) para el estudio de heterogeneidades en forma de cambios abruptos en el valor medio de las observaciones; Alexandersson y Moberg (1997) modificaron esta prueba para el estudio de heterogeneidades en forma de las tendencias temporales lineales en el valor medio de las observaciones. La prueba SNH se basa en el estadístico $T(k)$ que compara la media de las primeras k observaciones con la media de las restantes $n - k$ observaciones:

$$T(k) = kz_1^2 + (n - k)z_2^2 \quad k = 1, \dots, n \quad (2)$$

Donde:

$$z_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x} \quad (2.1)$$

$$z_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n \frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x} \quad (2.2)$$

Siendo n el tamaño total de la muestra; μ_x la media de los datos; y σ_x la desviación estándar de los datos.

La ruptura de la serie ocurre cuando $T(k)$ se localiza alrededor de la observación que maximiza la variable T ; y la hipótesis nula H_0 se rechaza si el indicador estadístico $T_0 = \max[T(k)]$ es mayor que un valor crítico que depende del tamaño de la muestra y del nivel de significación.

b) Prueba de Buishand: Esta prueba propuesta por Buishand (1982) es una prueba de origen bayesiano y hace referencia a un modelo simple que propone detectar un cambio en la media de la serie. La prueba define:

$$S(k) = \sum_{i=1}^k (x_i - \mu_x) \quad k = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

Con $S(k=0) = 0$.

La serie es homogénea si $S \cong 0$, porque la serie de tiempo se distribuye aleatoriamente alrededor de su valor medio. Si existe una discontinuidad en la posición K , entonces S tendrá un máximo o un mínimo alrededor de esa posición. La significancia del cambio se evalúa:

$$R = \frac{\max[S(k)] - \min[s(k)]}{\sigma_x} \quad (2.4)$$

El valor crítico para la razón R/\sqrt{n} depende del tamaño de la muestra y del nivel de significación. En esta prueba para ubicar la posición del punto de ruptura m , se define el estadístico B como para:

$$B = [n(n+1)]^{-1} \sum_{k=1}^{n-1} (S_k / \sigma_x)^2 \quad (2.5)$$

Los valores críticos del estadístico B fueron propuestos por Buishand (1982) a partir de un método de simulación de Monte Carlo.

c) Prueba de Pettitt: La prueba de Pettitt (1979) analiza los rangos de la serie $\{r_i : i = 1, \dots, n\}$. El rango se define como la posición del dato en la serie ordenada de menor a mayor; en caso de que haya observaciones con el mismo valor se les asigna a todas el mismo rango, correspondiente a la media aritmética de los rangos que corresponderían a los elementos. Los rangos r_1, \dots, r_n de x_1, \dots, x_n son usados para calcular el indicador estadístico:

$$Y(k) = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

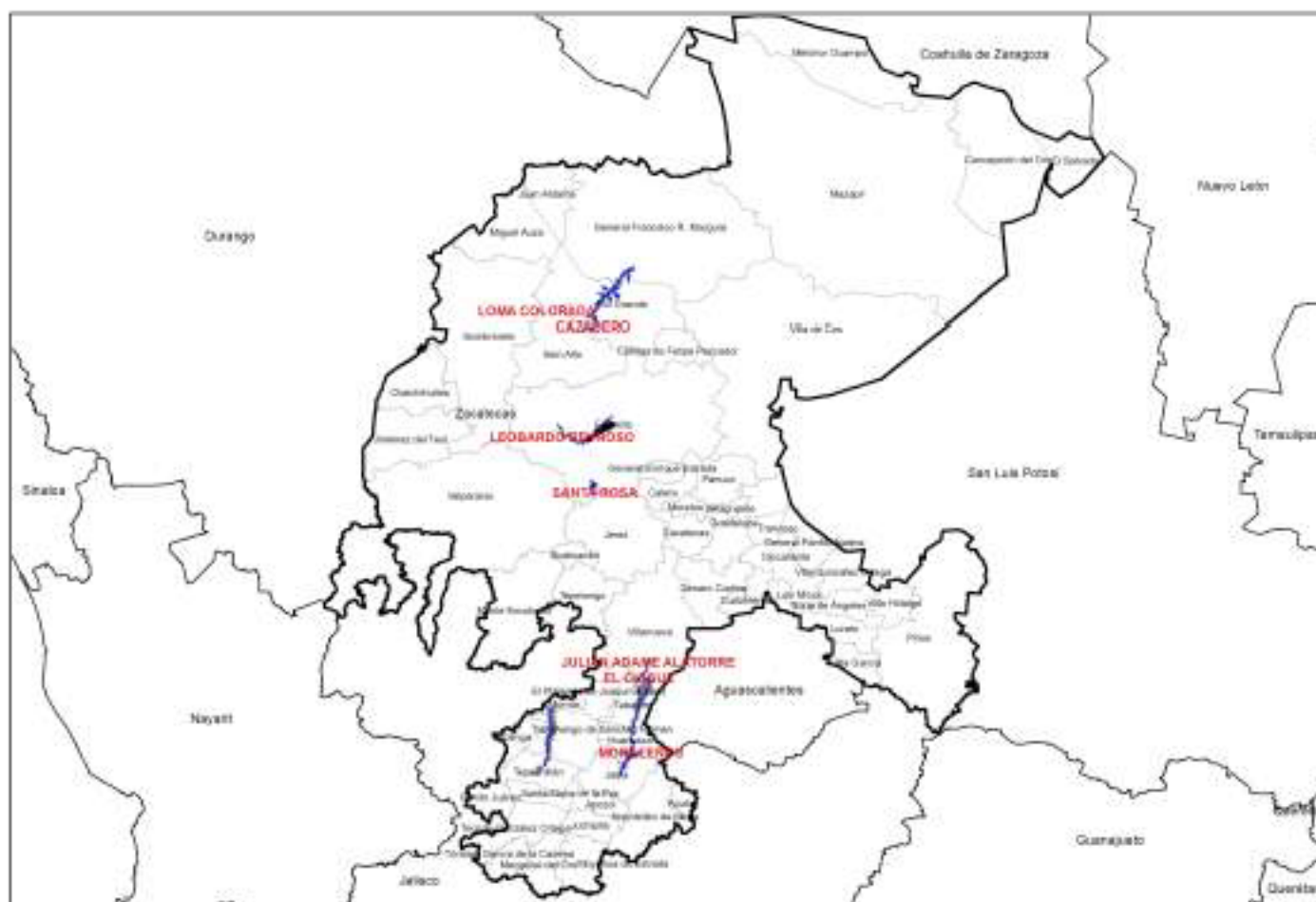
La ruptura de la serie se produce en la observación k cuando $Y(k)$ es máximo o mínimo. El valor crítico de la prueba depende del tamaño de la muestra y del indicador $Y_k = \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|$.

2.2 Resultados y discusión

Caso de estudio:

Los datos climatológicos a analizar, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, corresponden al distrito de riego 034 estado de Zacatecas conformado por seis módulos de riego, ubicándose tres de ellos en la zona norte del estado y tres más en la zona sur del mismo. Los módulos de riego que integran el distrito 034 son los siguientes: Módulo 1 Leobardo Reynoso; Módulo 2 Santa Rosa; Módulo 3 Excamé; Módulo 4 Ing. Julián Adame Alatorre; Módulo 5 El Chique; y Módulo 6 El Cazadero (ver Figura 2).

Figura 2 Ubicación geográfica de los módulos del distrito de riego 034 estado de Zacatecas



En cinco de los seis módulos de riego se cuenta con una estación climatológica convencional ubicada en la cortina de la presa que abastece a cada zona de riego y el módulo 1 "Leobardo Reynoso" carece de esta condición, pero dispone de una estación climatológica convencional dentro del polígono que delimita su superficie de riego.

Los datos generales de las seis estaciones base del estudio y sus registros históricos diarios corresponden a los reportados en la base CLICOM de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y se presentan en la Tabla 2 donde se remarcan en negritas.

De acuerdo a estos registros cuatro de las seis estaciones base presentan más del 90% de información climatológica en todo su periodo de operación y las dos restantes tienen más del 82% de datos. Sin embargo para realizar el análisis de homogeneidad se tiene que contar con series continuas, por lo que es necesario estimar la información faltante a partir de datos existentes.

Para este objetivo se ubicaron las estaciones climatológicas más cercanas a las estaciones base de cada módulo de riego y se seleccionaron aquellas que disponen de la información necesaria para completar los datos faltantes (ver Tabla 2).

Tabla 2 Estaciones climatológicas base en los módulos del distrito de riego 034

Clave Oficial	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud msnm	Fecha		Años	% datos
			G M S	G M S		Inicio	Final		
32018	El Sauz Módulo 1	Fresnillo	23 16 54	103 06 32	2,096	1939-06	2010-12	71.5	89.3
32020	Fresnillo	Fresnillo	23 10 26	102 53 27	2,201	1949-09	2010-12	61.2	78.4
32053	Santa Rosa	Fresnillo	22 55 33	103 06 46	2,236	1941-09	2010-12	69.2	90.4
32053	Santa Rosa Módulo 2	Fresnillo	22 55 33	103 06 46	2,236	1941-09	2010-12	69.2	90.4
32020	Fresnillo	Fresnillo	23 10 26	102 53 27	2,201	1949-09	2010-12	61.2	78.4
32018	El Sauz	Fresnillo	23 16 54	103 06 32	2,096	1939-06	2010-12	71.5	89.3
32019	Excamé Módulo 3	Tepechitlán	21 38 58	103 20 23	1,740	1946-05	2010-12	64.6	95.4
32057	Tlaltenango	Tlaltenango	21 46 25	103 18 34	1,685	1961-02	2010-12	49.8	89.9
32055	Tayahua Módulo 4	Villanueva	22 05 52	102 52 19	1,729	1965-05	2010-12	45.6	84.2
32013	El Chique	Tabasco	22 00 01	102 53 21	1,648	1961-01	2010-12	50.0	94.4
32013	El Chique Módulo 5	Tabasco	22 00 01	102 53 21	1,648	1961-01	2010-12	50.0	94.4
32055	Tayahua	Villanueva	22 05 52	102 52 19	1,729	1965-05	2010-12	45.6	84.2
32006	Cazadero Módulo 6	Sain Alto	23 41 35	103 5 37	1,862	1963-08	2010-12	47.3	82.9
32096	Río Grande	Río Grande	23 48 01	103 01 36	1,912	1974-10	1990-12	16.2	99.9
32045	Río Grande	Río Grande	23 49 01	103 01 33	1,902	1922-06	2010-12	88.5	60.3

El cálculo de datos de datos faltantes de la estación base “y” se realizó aplicando la siguiente relación:

$$y = ax + b \quad (2.7)$$

En donde: x es el vector que contiene los valores en los días de interés (estación de apoyo); y es el vector que contiene los valores calculados para la estación base; a y b son parámetros de ajuste que se obtienen a partir del análisis de regresión lineal del conjunto de datos medidos en las estaciones “y” y “x”. Las expresiones de cálculo de a y b son:

$$b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum y_i \sum x_i^2}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2} \quad (2.8)$$

$$a = \frac{\sum y_i - nb}{\sum x_i} \quad (2.9)$$

Donde n es el número de datos medidos en la misma fecha tanto en la estación base (y) como en la estación de apoyo x .

El procedimiento descrito permitió estimar datos faltantes de temperaturas máxima y mínima y precipitación para cada estación base de los módulos riego, en la Tabla 2 se presenta el periodo de tiempo en que fue posible tener datos diarios continuos en cada estación base.

Tabla 2.1 Periodos que se establecieron con datos continuos en las estaciones climatológicas base

Estación climatológica base	Periodo
El Sauz, Módulo 1 Leobardo Reynoso	enero 1940- diciembre 2010
Santa Rosa, Módulo 2 Santa Rosa	enero 1942- diciembre 2010
Excamé, Módulo 3 Excamé	mayo 1946- diciembre 2010
Tayahua, Módulo 4 Ing. Julián Adame	mayo 1965- diciembre 2010
El Chique, Módulo 5 El Chique	enero 1961- diciembre 2010
Cazadero, Módulo 6 Cazadero	agosto 1963- diciembre 2010

2.3 Análisis de las series de tiempo

Una vez completadas las series diarias de cada estación climatológica, tres por cada estación (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación), se realizaron las pruebas de homogeneidad para evaluar su consistencia y determinar el periodo de tiempo en el cual la información es confiable. El análisis de homogeneidad de datos diarios es un problema de solución complicada pues éstos exhiben distribuciones de extremos amplios que son de difícil estimación, siendo este tipo de análisis un área abierta a la investigación. Un enfoque comúnmente usado entre los analistas del clima es realizar el análisis de homogeneidad a las series mensuales derivadas de datos diarios y es el procedimiento que se adoptó en este trabajo.

La hipótesis nula H_0 considerada en las tres pruebas de homogeneidad fue que las observaciones son independientes e idénticamente distribuidas, por lo tanto, todas las permutaciones posibles son igualmente probables; mientras que la hipótesis alternativa H_1 fue que un cambio en el valor promedio ocurre.

El nivel de significación considerado fue $\alpha = 5\%$. Se seleccionaron series mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación de igual tamaño en cada estación climatológica aunque éste varía entre estaciones por el año en que iniciaron su operación. Se aplicaron las pruebas a cada estación sin considerar las condiciones y resultados de las otras estaciones, puesto que el objetivo es identificar información confiable para desarrollar estudios posteriores de cambio climático para cada módulo de riego. Los resultados de las pruebas de homogeneidad fueron clasificados de acuerdo a los siguientes criterios:

Clase A; Útil. La serie de tiempo que confirma la hipótesis nula en las tres pruebas o en dos de las tres pruebas se considera homogénea y útil para el desarrollo de estudios posteriores.

Clase B; Dudoso. La serie de tiempo que sólo confirma la hipótesis nula sólo en una de las tres pruebas, exhibe un comportamiento preferentemente no homogéneo y debe inspeccionarse cuidadosamente antes de su posterior análisis.

Clase C; Sospechoso. La serie de tiempo que rechaza la hipótesis nula en las tres pruebas, exhibe un comportamiento no homogéneo y no se recomienda usarse en la forma analizada en estudios posteriores.

Las pruebas estadísticas se desarrollaron aplicando la herramienta computacional XLStat cuya versión de prueba puede ser descargada del sitio <http://www.xlstat.com/es/>.

Comportamiento de la serie para la longitud máxima

La primera fase del análisis fue realizar las pruebas de homogeneidad a las series mensuales de temperaturas máxima, temperatura mínima y precipitación de cada estación base, considerando el periodo de tiempo presentado en la Tabla 2.1 En las Figuras 2-4 se muestran ejemplos de los resultados obtenidos para el módulo 1 y en la Tabla 2.2 se presentan los resultados para las tres variables climatológicas de los seis módulos, donde se tiene que sólo en dos de las seis estaciones climatológicas, que son las de los módulos Santa Rosa y Cazadero, sus tres series de tiempo alcanzan la categoría A.

Figura 2.1 Resultados de la prueba SNHT aplicada a los datos mensuales de temperatura máxima de la estación climatológica El Sauz (módulo 1 Leobardo Reynoso)

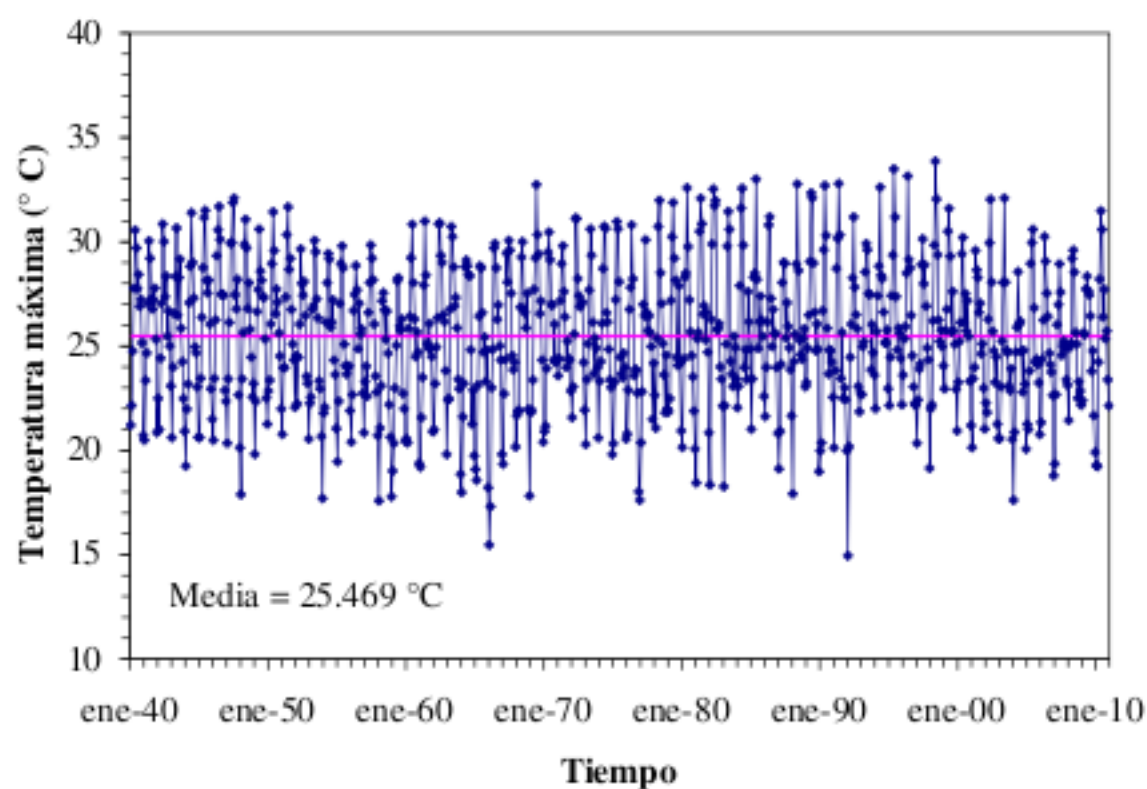


Tabla 2.2

Estadísticas descriptivas					
Observaciones	Obs. con datos perdidos	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Temperatura media	Desviación típica
852	0	14.947	33.855	25.469	3.364

Tabla 2.3

Prueba de homogeneidad normal estándar (SNHT)			
T_0	5.967		
0.352			
0.050			
Intervalo de confianza para el p-valor al 99%:] 0.339, 0.364 [
H_0 : Los datos son homogéneos; H_1 : Hay una fecha en la que hay un cambio en los datos			

Figura 2.2 Resultados de la prueba Buishand aplicada a los datos mensuales de temperatura mínima de la estación climatológica El Sauz (módulo 1 Leobardo Reynoso)

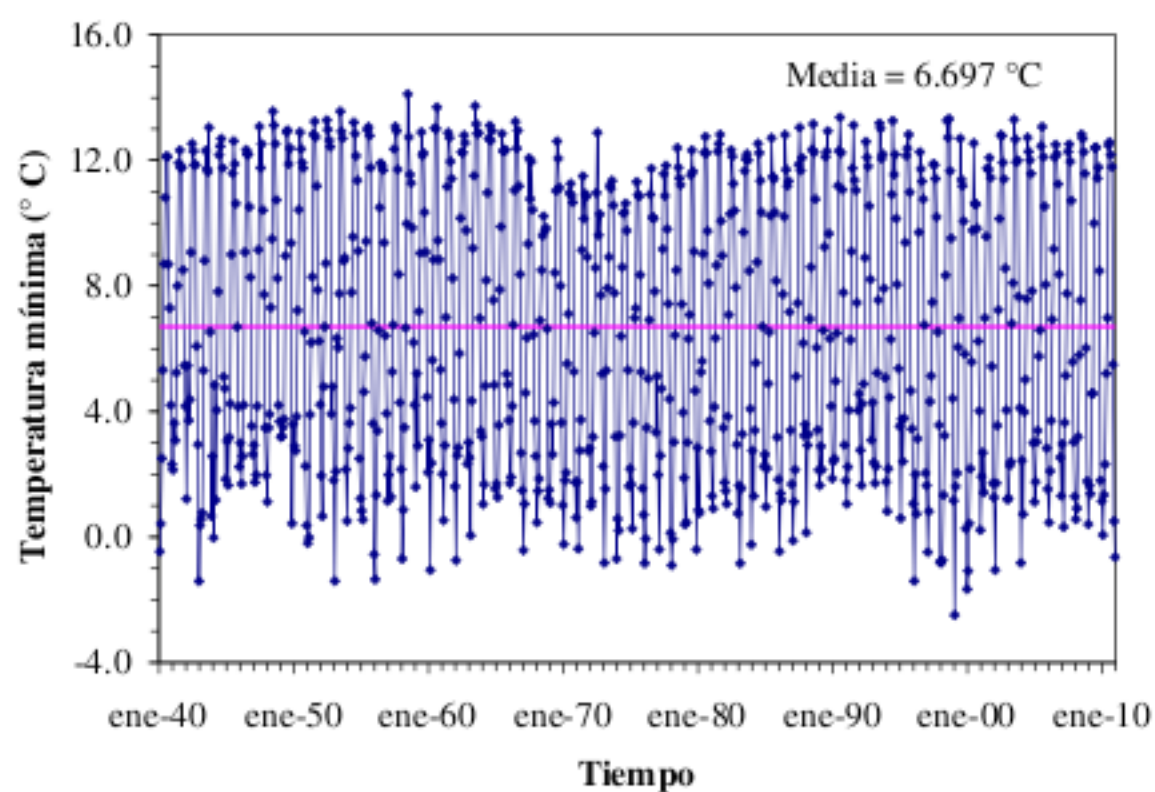


Tabla 2.4

Estadísticas descriptivas					
Observaciones	Obs. con datos perdidos	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Temperatura media	Desviación típica
852	0	-2.484	14.117	6.697	4.447

Tala 2.5

Prueba de de Buishand			
R	32.815		
p-valor (bilateral)	0.611		
α	0.050		
Intervalo de confianza para el p-valor al 99%:] 0.599, 0.624 [
H_0 : Los datos son homogéneos; H_1 : Hay una fecha en la que hay un cambio en los datos			

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 61.14%.

Figura 2.3 Resultados de la prueba de Pettitt aplicada a los datos mensuales de precipitación de la estación climatológica El Sauz (módulo 1 Leobardo Reynoso)

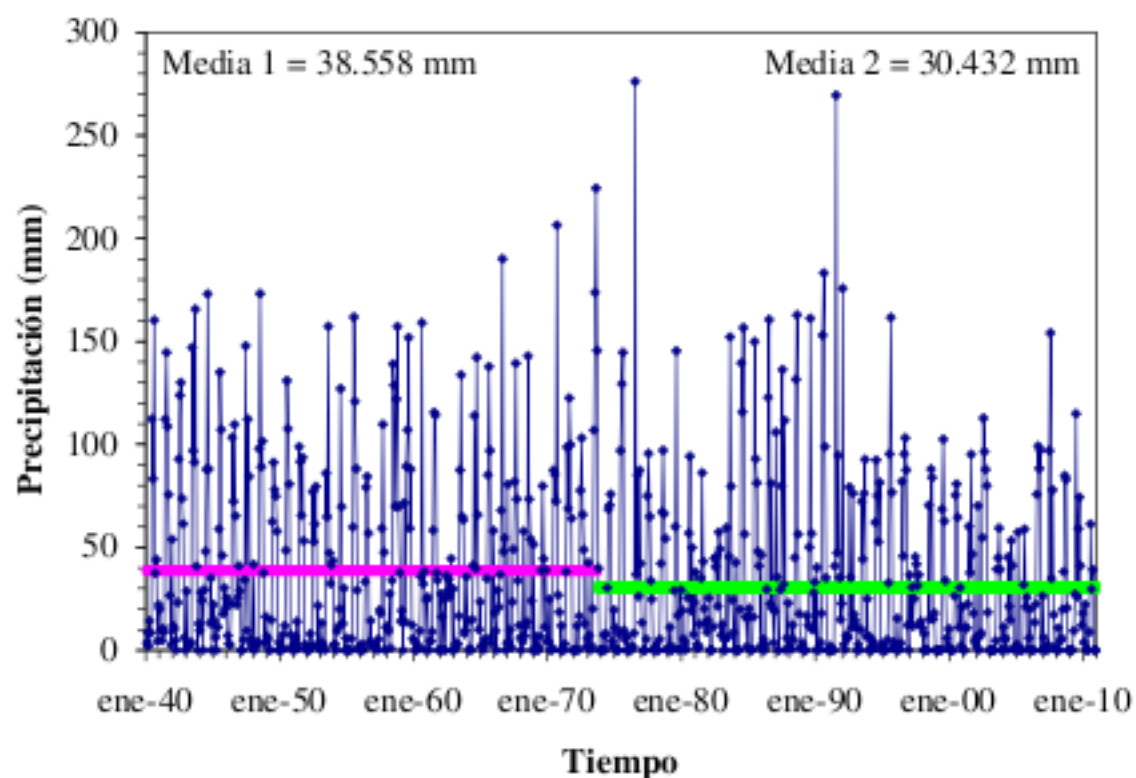


Tabla 2.6

Estadísticas descriptivas					
Observaciones	Obs. Con datos perdidos	Precipitación mínima	Precipitación máxima	Precipitación media	Desviación típica
852	0	0.000	276.200	34.272	44.131

Tabla 2.7

Prueba de Pettitt			
K	23197		
Punto de ruptura	oct-73		
p-valor (bilateral)	0.008		
α	0.050		
Intervalo de confianza para el p-valor al 99%:] 0.006, 0.011 [
H_0 : Los datos son homogéneos; H_1 : Hay una fecha en la que hay un cambio en los datos			

2.4 Determinación del periodo homogéneo de cada serie de tiempo

Finalmente se determinó el periodo de tiempo para el cuál el 100% de las series de cada módulo alcanzan la categoría A.

Esto se hizo recortando la longitud de la serie hasta alcanzar esta categoría, observándose que el periodo fuera el mismo para las tres variables climatológicas de la estación climatológica de cada módulo, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a las series de tiempo de las estaciones climatológicas de los módulos de riego del DR 034

Módulos	Periodo	Total de años	T. máx.	T. min.	Precipitación
M-1 Leobardo Reynoso	1940-2010	70	A	A	C
	1947-2010	63	A	A	A
M-2 Santa Rosa	1942-2010	68	A	A	A
M-3 Excamé	1946-2010	64	C	C	B
	1970-2010	40	A	A	A
M-4 Ing. Julián Adame	1965-2010	45	C	C	C
	1983-2010	27	A	A	A
M-5 El Chique	1961-2010	49	C	C	C
	1988-2010	22	A	A	A
M-6 Cazadero	1964-2010	46	A	A	A

A Útil; B Dudoso; C Sospechoso.

2.5 Conclusiones

El análisis de homogeneidad realizado a las series mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial medidas en las estaciones climatológicas de los seis módulos del distrito de riego 034, permitió determinar sus tendencias y comportamiento estadístico. Del análisis se tiene que sólo las series de los módulos Santa Rosa y Cazadero son homogéneas en todo su periodo de medición, 1942-2010 para el primero y 1964-2010 para el segundo. Mientras que los datos climatológicos de las estaciones pertenecientes a los cuatro módulos restantes, presentan rupturas o cambios abruptos en alguna o todas sus series de datos, siendo los casos críticos los módulos Ing. Julián Adame y El Chique ya que ninguna de sus tres series es homogénea y no es conveniente usar el 100% de sus registros para proyecciones de clima. El análisis de homogeneidad también permitió ubicar el periodo en el cual las series de tiempo de estos cuatro módulos presentan un comportamiento homogéneo: Leobardo Reynoso 1947-2010, Excamé 1970-2010, Ing. Julián Adame 1983-2010 y El Chique 1988-2010. Los resultados obtenidos son de gran utilidad para estudios que involucren las variables de clima evaluadas, como lo es el caso de estudios de cambio climático en la región del distrito de riego 034 Zacatecas.

2.6 Agradecimientos

El trabajo fue apoyado por el Fondo Mixto Zacatecas-CONACyT a través del proyecto ZAC-2011-C01-169367.

2.7 Referencias

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate*, 6, 661–675.
- Alexandersson H. & Moberg A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 17, 25-34.
- Buishand T. A., (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, 58, 11-27.
- Ducre-Rubitaille, J.-F., Vincent, L. A. & Boulet, G. (2003). Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 23, 1087–1101.
- Hanssen-Bauer, I. & Førland, E. (1994). Homogenizing long Norwegian precipitation series. *Journal of Climate*, 7, 1001–1013.
- Martínez M.D., Serra C., Burgueño, A. & Lana X. (2009). Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (NE Spain) for the period 1975–2004. *International Journal of Climatology*, 30(2), 267–290.
- Mihajlovic, D., (2006). Monitoring the 2003–2004 Meteorological Drought Over Pannonian Part of Croatia. *International Journal of Climatology*, 26, 2213–2225.
- Pettitt, A. N. (1979). A nonparametric approach to the change point detection. *Applied Statistics*, 28, 126–135.
- Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M.G., & Können, G.P. (2003). Homogeneity of 20th Century European Daily Temperature and Precipitation Series. *International Journal of Climatology*, 23, 679–692.