

Pruebas de homogeneidad de varianza a series de precipitación y temperatura de estaciones del estado de Veracruz y áreas aledañas

Guajardo P., R. A.^{1*}; Granados R., G. R.²; Sánchez C., I.³; Díaz P., G.⁴

¹ Alumno de la Maestría en Geografía-UNAM. ² Investigador Titular del Instituto de Geografía-UNAM.

³ Investigador Titular del INIFAP CENID-RASPA. ⁴ Investigador Titular del C.E. Cotaxtla-INIFAP.

rafapanes@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La información climática puede no representar la variación del tiempo actual debido a fallas en los instrumentos de medición, errores ocasionados accidentalmente por la persona responsable en la toma de datos, la ubicación en la que se encuentra la estación, entre otras. Esto ocasiona variaciones en los datos reales, provocando que el usuario de información climática obtenga resultados o realice inferencias poco confiables. Es por ello que contar con conjunto de datos meteorológicos de largo plazo homogéneos es actualmente de interés para la comunidad científica (Cristina & Soares, 2006). La fiabilidad de la información climática, así como su precisión resulta de gran importancia en la actualidad para el desarrollo de estudios relacionados con el cambio climático, por ello esta debe ser validada para desarrollar cualquier aplicación. Para lograr este cometido es necesario aplicar metodologías de verificación y tratamiento que permitan establecer que estaciones cumplen el supuesto de homogeneidad en variables de temperatura mínima temperatura máxima y precipitación. En este trabajo se implementa una propuesta de tratamiento de información climática que permite verificar si los datos climáticos de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) del estado de Veracruz y área aledañas cuentan con un comportamiento homogéneo empleando tres pruebas: 1) Prueba de homogeneidad normal estándar (SNHT), por sus siglas en inglés, desarrollada por Alexandersson en 1986; 2) Prueba de Pettitt desarrollada en 1979, es una prueba no paramétrica que no requiere supuestos de la distribución de los datos y; 3) Prueba Buishand, desarrollada en 1982 y que puede ser empleada en variables con cualquier tipo de distribución. Cada prueba se realizó a partir de datos climáticos diarios de cada estación y en base al número de pruebas que rechazan la hipótesis nula se categorizaron en tres clases: Útil: con máximo una prueba de hipótesis nula rechazada; Dudosa: con dos pruebas de hipótesis nula rechazadas y; Sospechosa: con tres pruebas de hipótesis nula rechazadas.

II. OBJETIVOS

Describir la implementación de una propuesta metodológica para comprobar la homogeneidad de datos de precipitación y temperaturas registrados en estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en el estado de Veracruz y estaciones ubicadas a lo largo del límite territorial de ese estado.

III. METODOLOGÍA

III.1. Selección de estaciones con información mínima necesaria

Las estaciones seleccionadas provienen del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. La información se extrajo a través de la aplicación desarrollada para Google Earth¹ dicha aplicación despliega un total de 5,420 estaciones climatológicas clasificadas en dos categorías: estaciones operando (3,200) y estaciones suspendidas (2,220) las cuales pueden distinguirse en color amarillo y rojo, respectivamente (CNA-SMN, 2010). La información se extrajo en formato "kmz" para ser exportada en

¹ http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42:normales-climatologicas-por-estacion&catid=16:general&Itemid=75

formato "shape" para poder manejarlo en el programa ArcGis y facilitar su posterior manejo. Posteriormente, se clasificaron las estaciones tomando en cuenta los datos vectoriales de unidades climáticas (INEGI, 2014).

Dado que el estudio se centra en el estado de Veracruz, se consideró un área adicional de influencia de 20 km en relación con el límite político del estado para considerar estaciones de apoyo en los estados vecinos de Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Chiapas y Tabasco, ya que los datos de precipitación son representativos en una distancia de 10 km (Cruz T., 2013).

La información que se empleó en el estudio son los registros diarios de temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}), y precipitación (Pp), esta comprende todos los registros de cada una de las estaciones desde que inició operaciones hasta su última fecha de registro; la información se encontró disponible en la aplicación de Google Earth y se despliega en formato txt.

Para que la estación fuera considerada en el análisis, se seleccionaron aquellas estaciones que cumplieran los siguientes requisitos mínimos:

1. Contengan al menos 25 años de información;
2. No más del 20% de información faltante en su registro histórico; y
3. Que no hayan dejado de operar antes del año 2000.

III.2. Congruencia lógica o integridad de los datos

Una vez conformada la base de datos climatológica de las estaciones seleccionadas, se desarrollaron rutinas en macros de Excel con el compilador Visual Basic, en donde se verificó la integridad de la información empleando los siguientes criterios lógicos:

1. Precipitaciones (Pp) mayores o iguales a 0;
2. Temperaturas máximas (T_{max}) mayores a temperaturas mínimas (T_{min});
3. Temperaturas mínimas (T_{min}) menores a temperaturas máximas (T_{max}); y
4. Verificar que los registros se registren en fechas congruentes, (años bisiestos).

Los datos que no cumplieron estos criterios se reemplazaron con el valor -99, el cual se identifica como un valor faltante en procesos posteriores.

III.3. Validación espacial de la información

Otro filtro empleado para validar la información climática, fue la validación espacial, esta se realizó considerando lo expuesto en la norma UNE 500540:2004 (UNE 500540, 2004) y que describe (Estévez & Gavilán, 2008) como un nivel de validación opcional. Esta validación se aplica a los registros diarios de una estación y estos se comparan con los registros históricos de una variable climática de una estación de referencia, mediante la elaboración de un intervalo de confianza basado en la fórmula 1.

$$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Dónde: \bar{x} y s es el promedio y la desviación estándar de las variables T_{max} , T_{min} o Pp , respectivamente, n es el número de datos en la serie de datos climáticos y $z_{\alpha/2}$ es el valor estadístico $2.58 \approx 3.00$ de la curva normal de frecuencias asociado a un nivel de confianza del 99% o significancia del 1% ($\alpha = 0.01$) (Steel & Torrie, 1985).

Los datos de las variables T_{max} , T_{min} o Pp que no se encontraran dentro de los intervalos de confianza, se reemplazaron con el valor -99 para identificarlo como valor faltante en procesos posteriores.

Al igual que en el apartado anterior, para realizar la validación espacial se desarrollaron rutinas en macros de Excel con el compilador Visual Basic, se consideraron grupos de no más de cinco estaciones por cada estación de referencia ubicadas dentro de un perímetro de 50 km y situadas dentro de la misma unidad climática.

III.4. Aplicación de pruebas de homogeneidad

Las pruebas empleadas fueron Homogeneidad Normal Estándar (SNHT), Pettitt y Buishand, estas se describen brevemente a continuación junto con sus estadísticos de prueba de acuerdo a lo planteado por (Hainie A. & Mohd D., 2013):

1) Homogeneidad normal estándar (SNHT), por sus siglas en inglés, desarrollada por Alexandersson (Alexandersson, 1986) y que modificó con Moberg (Alexandersson & Moeberg, 1997); un valor $T(d)$ compara el promedio de los primeros d años registrados con los últimos $(n-d)$ este valor se obtiene con la expresión $T_d = d\bar{z}_1^2 + (n-d)\bar{z}_2^2$ para $d = 1, 2, \dots, n$, donde: $\bar{z}_1 = 1/d \sum_{i=1}^d (y_i - \bar{y})/s$ y $\bar{z}_2 = 1/n-d \sum_{i=d+1}^n (y_i - \bar{y})/s$. Un valor alto de T en un año d indica una variación “brusca”. El estadístico T_0 se define como $T_0 = \max_{1 \leq d \leq n} T(d)$.

2) Pettitt (Pettitt, 1979), esta prueba es no paramétrica se basa en rangos y hace caso omiso de la normalidad de la serie, se basa en el orden de rangos de los valores y_i . El estadístico que se emplea se define como $X_d = 2 \sum_{i=1}^d r_i - d(n+1)$ para $d = 1, 2, \dots, n$, donde la variación es detectada cuando el valor del año m cumple $X_m = \max_{1 \leq d \leq n} |X_d|$.

3) Buishand (Buishand, 1982), y que, por su origen bayesiano, puede ser empleada en variables con cualquier tipo de distribución y propone identificar un cambio en la media de la serie de datos. El estadístico se define como $S_0^* = 0$ y $S_d^* = \sum_{i=1}^d (y_i - \bar{y})$, para todo $d = 1, 2, \dots, n$. La prueba se define como $Q = \max_{0 \leq d \leq n} |s_d^*/s|$. Otro estadístico de prueba que puede emplearse es el rango que calcula la diferencia entre el valor mínimo y máximo de las sumas parciales ajustadas. La fórmula es $R = \left(\max_{0 \leq d \leq n} s_d^* - \min_{0 \leq d \leq n} s_d^* \right) / s$; es importante agregar que Buishand propone valores críticos Q/\sqrt{n} y R/\sqrt{n} para las pruebas de homogeneidad.

El juego de hipótesis planteadas en las tres pruebas son las siguientes:

$$H_0 : \text{Los datos son homogéneos.}$$

vs.

$$H_a : \text{Hay una fecha en la que hay un cambio en los datos.}$$

El nivel de significancia planteado es $\alpha = 0.05$, en decir, la probabilidad de rechazar la H_0 cuando esta es verdadera (error de tipo I) es del 5% (Ramirez G. & López T., 1993).

Las pruebas se realizaron a las variables $Tmax$, $Tmin$ y Pp de cada estación, se obtuvieron los valores p (p -value) correspondientes y los años en los que se presentó un cambio en los datos cuando la H_0 fue rechazada. Posteriormente, se realizó un concentrado de resultados, que permitió realizar la clasificación de estaciones en tres clases (Schonwiese & Rapp, 1997) y (Wijngaard, Klein T., & Konnen, 2003):

Clase 1: Cuando en una estación la prueba de hipótesis nula se rechaza a lo más una sola vez, la información se puede considerar como Útil.

Clase 2: Cuando en una estación la prueba de hipótesis nula se rechaza a lo más dos veces, la información se puede considerar como Dudosa.

Clase 3: Cuando en una estación la prueba de hipótesis nula se rechaza tres veces, la información se considera como Sospechosa.

IV. RESULTADOS

IV.1. Estaciones incluidas en el área de estudio

De acuerdo a la aplicación de lo planteado en la metodología se identificaron un total de 260 estaciones ubicadas en el área de estudio, de las cuales 162 estaciones se encuentran ubicadas en el estado de Veracruz, en tanto que 98 se encuentran en estados circunvecinos, las cuales se consideran de apoyo para procesos de validación y posteriores procesos geoestadísticos (Figura 1).

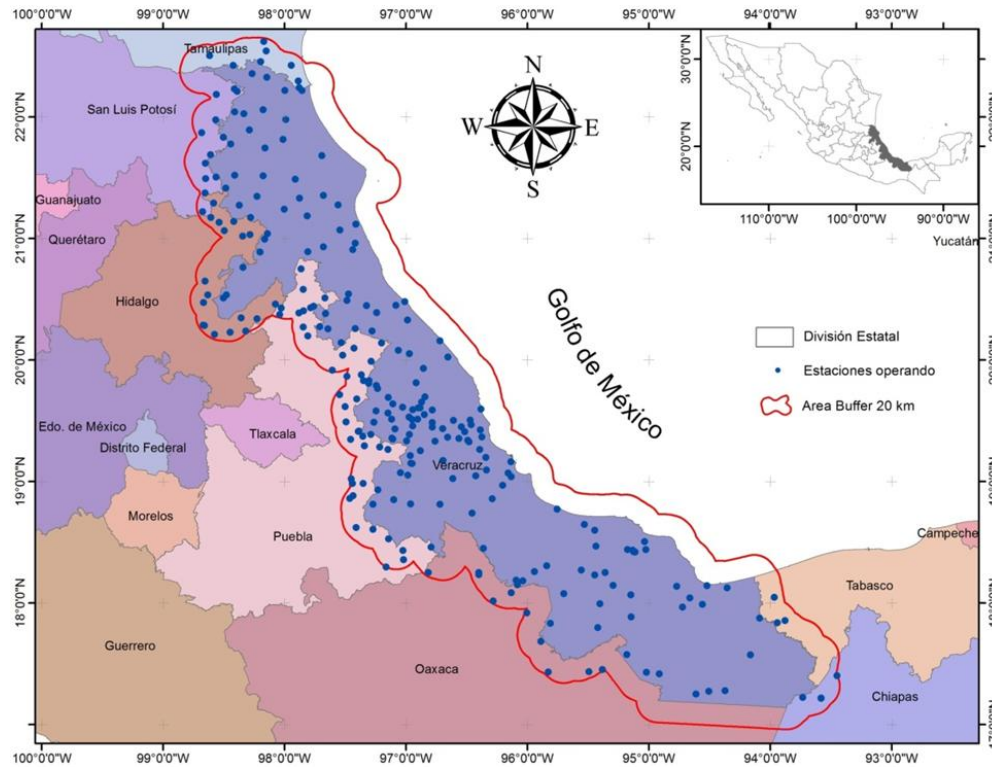


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones consideradas en el estudio.

Una vez ubicadas las estaciones se realizó la desagregación de estas por unidad climática, en donde el 35% de las estaciones se encuentran en climas subhúmedos, el 25% se encuentran en un clima húmedo y el 18% se encuentra en clima semicálido húmedo (Tabla 1). Esta desagregación se considera de importancia para realizar la validación espacial de los datos diarios.

Tabla 1. Desagregación de estaciones por estado y unidad climática de las estaciones consideradas en el estudio.

Clima	Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas	Veracruz	Total	%
Cálido húmedo	4		10	9		3		39	65	25.0
Cálido subhúmedo				1	6		9	77	92	35.4
Seco muy cálido									1	0.4
Seco semicálido		1							1	0.4
Semicálido húmedo		8	1	9	5			26	49	18.8
Semifrío subhúmedo				9				2	2	0.8
Semiseco templado		2						2	13	5.0
Templado húmedo		3		6				13	22	8.5
Templado subhúmedo		4		8				3	15	5.8
Total	4	18	11	42	11	3	9	162	260	100.0
%	1.5	6.9	4.2	16.2	4.2	1.2	3.5	62.3	100.0	

IV.2. Estaciones con información mínima necesaria

En la Tabla 2, se desagregan las estaciones que cumplieron los requisitos mínimos de información, es decir, contienen al menos 25 años de información, los registros faltantes no superan el 20% en su registro histórico y no han dejado de operar antes del año 2000.

Tabla 2. Desagregación de estaciones por estado y unidad climática (INEGI, 2014) de las 260 estaciones consideradas en el estudio.

Clima	Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas	Veracruz	Total	%
Cálido húmedo	3		8	8	2	1		31	53	23.5
Cálido subhúmedo					6		8	69	83	36.7
Seco muy cálido				1					1	0.4
Seco semicálido		1							1	0.4
Semicálido húmedo		8	1	7	5			20	41	18.1
Semifrío subhúmedo								2	2	0.9
Semiseco templado		2		9				2	13	5.8
Templado húmedo		3		6				10	19	8.4
Templado subhúmedo		3		8				2	13	5.8
Total	3	17	9	39	13	1	8	136	226	100.0
%	1.3	7.5	4.0	17.3	5.8	0.4	3.5	60.2	100.0	

Lo anterior, nos permite establecer que el 87% de las estaciones que se eligieron inicialmente cuentan con información suficiente para continuar con el análisis.

IV.3. Verificación de congruencia lógica y Validación espacial de la información

Se observó que la información que no fue congruente y que no válida en relación con sus estaciones de referencia, no sobrepasó el 2.83% para la variable T_{max} , para el caso de la T_{min} no superó el 1.54%, y finalmente para la variable Pp las incongruencia y los valores no válidos en relación con sus estaciones vecinas no superó el 4%.

IV.4. Aplicación de pruebas de homogeneidad

En lo correspondiente a esta etapa, se realizaron las pruebas de SNHT, Pettitt y Buishand a las variables T_{min} , T_{max} y Pp de las 226 estaciones, con los resultados obtenidos se clasificaron las estaciones en útiles², dudosas³ y sospechosas⁴. En la Tabla 3, se muestra la desagregación de los resultados obtenidos en la aplicación de las pruebas de homogeneidad.

Tabla 3. Resumen de resultados de las pruebas de homogeneidad de varianza.

Variable	Clasificación					
	Útil	%	Dudosa	%	Sospechoso	%
T_{min}	71	31.4	33	14.6	122	54.0
T_{max}	68	30.1	27	11.9	131	58.0
Pp	162	71.7	22	9.7	42	18.6

Para la variable Pp , se clasificó el 72% de las estaciones con información homogénea, en tanto que para la T_{min} y T_{max} se clasificaron el 31 y 30%, respectivamente. Al realizar la desagregación por estado se obtuvo el concentrado de la Tabla 4. Se observó que los datos correspondientes a la Pp , presentaron condiciones de homogeneidad, en tanto que, contrario a lo que se esperaba, los datos de T_{min} y T_{max} presentaron mayores condiciones de no homogeneidad.

Tabla 4. Resumen de resultados de las pruebas de homogeneidad desagregados por estado.

Clasificación	Variable	Estados								Totales
		Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas	Veracruz	
Útil	T_{min}		4	4	16	5	1	1	40	71
	T_{max}		4	3	18	6	1	1	35	68
	Pp	2	14	6	23	10	1	7	99	162
Dudosa	T_{min}		2	1	8	1		1	20	33
	T_{max}	1	3	1	2			3	17	27
	Pp	1		3	5				13	22
Sospechoso	T_{min}	3	11	4	15	5	2	6	76	122
	T_{max}	2	10	5	19	5	2	4	84	131
	Pp		3		11	1	2	1	24	42

² Máximo una prueba de hipótesis rechazada.

³ Dos pruebas de hipótesis rechazadas.

⁴ Tres pruebas de hipótesis rechazadas.

A continuación, se despliega una serie de tablas donde se ejemplifica⁵ la información disponible de los concentrados para la variable T_{min} (Tabla 5), T_{max} (Tabla 6) y P_p (Tabla 7), en donde se observan los valores p (p -value) correspondientes y los años en los que se presentó un cambio en los datos cuando la H_0 fue rechazada.

Tabla 5. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable T_{min} a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación
	Valor p	Punto de quiebre	Valor p	Punto de quiebre	Valor p	Punto de quiebre	
7020	0.032	1989	0.008	1993	0.010	1990	Sospechoso
7106	<0.0001	1979	<0.0001	1979	<0.0001	1979	Sospechoso
7112	<0.0001	1985	0.000	1985	<0.0001	1985	Sospechoso
13015			0.017	1967	0.009	1967	Dudosa
13034	<0.0001	1989	<0.0001	1995	<0.0001	1989	Sospechoso
13042	<0.0001	1976	<0.0001	1976	<0.0001	1976	Sospechoso
13061	0.0037	2004	<0.0001	2005	0.0021	2004	Sospechoso
13093	0.0004	1976	0.0023	1976	0.0007	1976	Sospechoso
13095	0.0001	1996	<0.0001	1997	<0.0001	1996	Sospechoso
13096	<0.0001	1989	<0.0001	1989	<0.0001	1989	Sospechoso
13098	<0.0001	1986	<0.0001	1986	<0.0001	1986	Sospechoso
13099							Útil
13135	0.0005	1998			0.0369	1998	Dudosa
13137							Útil
13139	<0.0001	1999	<0.0001	2008	0.0014	2001	Sospechoso
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
28016	0.0029	1979	<0.0001	1977	<0.0001	1978	Sospechoso
28055	0.0189	2001	0.0034	1963			Dudosa
28111	0.0001	1989	0.0066	2010	0.0367	1979	Sospechoso
28125	0.0004	1989	0.0301	2006	0.016	1989	Sospechoso
28138	0.0408	2001	0.0341	2001	0.0464	2001	Sospechoso
28147	<0.0001	1995	<0.0001	2005	<0.0001	1995	Sospechoso
28175			0.0222	2008			Útil
30003							Útil
30007	0.001	1997	0.0008	1997	0.0019	1997	Sospechoso
30008	0.0002	1980	0.0002	1960	0.0007	1980	Sospechoso
30011	<0.0001	1985	0.0001	1985	<0.0001	1985	Sospechoso
30012	0.0004	1970	<0.0001	1927	0.0094	1971	Sospechoso
30013	0.0003	1997	<0.0001	1998	0.0003	1998	Sospechoso
30016	0.0119	1994	0.014	2002	0.0124	1992	Sospechoso
30019	0.0013	1990	0.0438	2006	0.0002	1990	Sospechoso
30021							Útil
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21129							Útil
27003							Útil
30006							Útil
30041	0.0185	1993	0.0028	1971	0.003	1972	Sospechoso
30043	0.0009	1991	0.003	1991	0.0015	1991	Sospechoso
30047	0.0129	1992					Útil
30072							Útil
30097	0.0001	1989	<0.0001	1986	0.0004	1989	Sospechoso
30134	0.0107	1992	0.0222	1999	<0.0001	1999	Sospechoso
30137	<0.0001	1989	0.0013	1980	0.0001	1988	Sospechoso
30177	<0.0001	1987	<0.0001	1987	<0.0001	1987	Sospechoso
30178	<0.0001	2007					Útil
30195	0.0003	1992	0.0005	1979	0.0017	1989	Sospechoso
30209	0.0388	1998					Útil

⁵ Se realizó con la finalidad de ajustar el presente extenso a la Norma de presentación de resúmenes y trabajos extensos del XXIII Congreso Mexicano y VIII Congreso Internacional de Meteorología, 2014, en caso de requerir la información completa favor de contactar al autor.

Tabla 6. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable T_{max} a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación
	Valor p	Punto de quiebre	Valor p	Punto de quiebre	Valor p	Punto de quiebre	
7020			0.011	1992	0.017	1988	Dudosa
7106	0.000	1980	0.003	1980	0.001	1980	Sospechoso
7112	<0.0001	1982	<0.0001	1985	<0.0001	1985	Sospechoso
13015	<0.0001	1967	0.058	1967	<0.0001	1967	Sospechoso
13034	0.0029	1983	0.0018	1983	0.001	1983	Sospechoso
13042	0.0007	1962	<0.0001	1948	0.0009	1960	Sospechoso
13061	0.0231	2004	0.026	2005			Dudosa
13093	<0.0001	1976	<0.0001	1976	<0.0001	1976	Sospechoso
13095	0.0017	1992	0.0032	1997	0.0011	1997	Sospechoso
13096							Útil
13098	0.0013	1987	0.002	1987	0.0005	1987	Sospechoso
13099	0.0001	1992	<0.0001	2006	<0.0001	2001	Sospechoso
13135	0.0277	1993			0.0431	1993	Dudosa
13137	0.0278	2005	<0.0001	2005	0.0046	2005	Sospechoso
13139							Útil
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
28016	<0.0001	1992	<0.0001	1977	<0.0001	1981	Sospechoso
28055	0.0389	1986	0.0227	1965			Dudosa
28111	<0.0001	1989	0.0165	2010	0.028	1989	Sospechoso
28125	0.0008	1993	0.0226	1994	0.0104	1994	Sospechoso
28138							Útil
28147	0.0001	1992			0.0003	1992	Dudosa
28175	0.0064	1993	0.0298	1978			Dudosa
30003	<0.0001	1992	<0.0001	1996	<0.0001	1992	Sospechoso
30007	0.0028	1988	0.0107	1997	0.003	1988	Sospechoso
30008							Útil
30011	<0.0001	1988	0.0001	1958	<0.0001	1981	Sospechoso
30012	0.0044	1968	0.0044	1986	0.0051	1966	Sospechoso
30013	<0.0001	1970	<0.0001	1970	<0.0001	1970	Sospechoso
30016	0.0243	2001	0.0017	2008	0.0254	2001	Sospechoso
30019	<0.0001	1988	<0.0001	1992	<0.0001	1992	Sospechoso
30021	<0.0001	1981	<0.0001	1980	<0.0001	1980	Sospechoso
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21129							Útil
27003							Útil
30006	0.028	1999			0.037	1999	Dudosa
30041	0.003	1993	0.003	2000	0.010	1997	Sospechoso
30043							Útil
30047							Útil
30072	<0.0001	1993	<0.0001	1993	<0.0001	1993	Sospechoso
30097	<0.0001	1990	0.033	1964			Dudosa
30134	0.044	1992					Útil
30137	<0.0001	1997	<0.0001	2002	<0.0001	1998	Sospechoso
30177	<0.0001	1987	<0.0001	1987	<0.0001	1987	Sospechoso
30178	<0.0001	2008			<0.0001	2008	Dudosa
30195	0.000	1988	0.000	1979	0.000	1984	Sospechoso
30209	0.005	1997	0.042	1968			Dudosa
30327							Útil

Tabla 7. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable *Pp* a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación
	Valor p	Punto de quiebre	Valor p	Punto de quiebre	Valor p	Punto de quiebre	
7020			0.007	1992	0.019	1988	Dudosa
7106							Útil
7112							Útil
13015			0.033	1976			Útil
13034	0.0107	1985	0.0326	1941	0.0393	1978	Sospechoso
13042	0.0012	1976	0.0198	1976	0.0047	1976	Sospechoso
13061							Útil
13093							Útil
13095	< 0.0001	1996	< 0.0001	1997	< 0.0001	1996	Sospechoso
13096							Útil
13098			0.038	2010			Útil
13099							Útil
13135							Útil
13137							Útil
13139			0.0494	2010			Útil
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
28016							Útil
28055			0.0051	2008			Útil
28111			< 0.0001	2008			Útil
28125			0.0469	2006			Útil
28138							Útil
28147	0.0115	1994	0.0231	1994	0.0086	1994	Sospechoso
28175							Útil
30003							Útil
30007							Útil
30008			0.0103	1926			Útil
30011			0.047	1957			Útil
30012							Útil
30013			0.0019	1948			Útil
30016	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	Sospechoso
30019			0.0137	1961			Útil
30021							Útil
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21129							Útil
27003	0.000	1980	< 0.0001	1979	0.000	1980	Sospechoso
30006							Útil
30041							Útil
30043	0.041	1989					Útil
30047							Útil
30072			0.020	1946			Útil
30097							Útil
30134	0.004	1976	0.010	1993	0.008	1985	Sospechoso
30137	< 0.0001	1993			0.0001	1993	Dudosa
30177							Útil
30178							Útil
30195							Útil
30209	0.009	1987					Útil
30327							Útil

V. CONCLUSIONES

Los resultados expuestos en el presente trabajo, nos deja como experiencia que los datos de precipitación (Pp) pueden presentar comportamientos homogéneos sin considerar ciclos o condiciones estacionales, sin embargo estas condiciones deberán tomarse en cuenta para realizar estudios que impliquen mayor nivel de detalle, es decir, ciclos de cultivo (primavera-verano, otoño-invierno) o estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) o periodos de interés específico según sea el caso. En lo que corresponde a los datos de temperatura mínima ($Tmin$) y temperatura máxima ($Tmax$), el uso de ciclos o condiciones estacionales puede dar como resultado que las series de datos muestren comportamientos de mayor homogeneidad, ya que se estarían considerando periodos con semejantes comportamientos frío y/o calor.

Es importante señalar que, después de realizar las pruebas de homogeneidad, se debe considerar un proceso de homogeneización de bases de datos, el cual no se consideró en este trabajo y que será desarrollado en futuros trabajos.

Como se mencionó al principio de este trabajo, en el presente trabajo se muestra una propuesta que puede ser considerada en la validación de datos climáticos que no descarta la posibilidad de que sea complementaria o mejorada, ya que continuamente se cuenta con mayores conocimientos y recursos computacionales que permiten el manejo de grandes volúmenes de datos que hará de la información climática una base sólida y confiable para desarrollar trabajos de investigación con resultados e inferencias de mayor certitud.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate*(6), 661-675.
- Alexandersson, H., & Moeberg, A. (1997). Homogeneization 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.
- CNA-SMN. (2010). *Estaciones Climatológicas en Google Earth*. CONAGUA, Servicio Meteorológico Nacional. México: CONAGUA.
- Cristina, A. C., & Soares, A. (2006). Identification of inhomogeneities in precipitation time series using SUR models and the Ellipse test. *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences.*, 419-428.
- Cruz T., D. A. (2013). *Adaptación a cambio climático en el área protegida Sierra Gorda, Guanajuato*. México, D.F., México: UNAM.
- Estévez, J., & Gavilán, P. (2008). Procedimientos de validación de datos de estaciones meteorológicas automáticas. Aplicación a la red de información agroclimática de Andalucía. *Plataforma de asesoramiento y transferencia del conocimiento agrario y pesquero de Andalucía*, 1-12.
- Hainie A., N., & Mohd D., S. (2013). Homogeneity Test on Daily Rainfall Series for Malaysia. *Matematika*, 29(1c), 141-150.
- INEGI. (11 de Abril de 2014). Información vectorial de unidades climáticas, escala 1:1 000 000. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Pettitt, A. N. (1979). A nonparametric approach to the change point detection. *Applied Statistics*(28), 126-135.
- Ramirez G., M. E., & López T., Q. (1993). *Métodos estadísticos no paramétricos*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Schonwiese, C. D., & Rapp, J. (1997). Climate trend atlas of Europe based on observation 1891-1990. *International Journal Climatology*(18), 580-598.
- Steel, R. G., & Torrie, J. H. (1985). *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw-Hill Interamericana.
- UNE 500540. (2004). *Redes de estaciones meteorológicas automáticas: Directrices para la validación de registros meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas. Validación en tiempo real*. N/D: AENOR.

Wijngaard, J. B., Klein T., M., & Konnen, G. P. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal Climatology*(23), 679-692.