

# VALIDACIÓN ESPACIAL DE DATOS CLIMATOLÓGICOS Y PRUEBAS DE HOMOGENEIDAD: CASO, VERACRUZ, MÉXICO

Spatial validation of climatological data and homogeneity tests: Case, Veracruz, Mexico

Guajardo P., Rafael A.<sup>1</sup>; Granados R., Guadalupe R.<sup>2</sup>; Sánchez C., Ignacio<sup>3</sup>; Díaz P., Gabriel<sup>4</sup>, Barbosa M., Finlandia<sup>5</sup>

## Resumen

La fiabilidad de la información climática es substancial en cualquier tipo de investigación, por ello es importante implementar herramientas y metodologías que permitan identificar datos que contengan errores, ya sea por la toma de datos, fallas en los sensores de los instrumentos, por la transcripción de la información y/o por la reubicación de las estaciones. En el presente trabajo se describe una propuesta metodológica para validar e identificar registros anómalos de precipitación, temperatura mínima y máxima diaria. La propuesta detalla el desarrollo de una metodología que permitió seleccionar estaciones con información mínima necesaria, verificar su congruencia lógica, el proceso de un esquema de validación espacial y la aplicación de pruebas de homogeneidad normal estándar (SNHT), Pettitt y Buishand para validar datos climatológicos y comprobar la homogeneidad de datos de precipitación y

---

<sup>1</sup> INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. Km. 3.5 Carr. Xalapa-Veracruz. Col. Ánimas. Xalapa, Veracruz-México. C.P.91190. Tel.: 01 800 088 2222 Ext.: 87840. Maestro en Geografía. Correo-e: [guajardo.rafael@inifap.gob.mx](mailto:guajardo.rafael@inifap.gob.mx).

<sup>2</sup> UNAM. Instituto de Geografía. Circuito Exterior s/n. Cd. Universitaria. Del. Coyoacán. México, D.F.-México. C.P. 04510. Tel.: 01 55 5623 0222. Ext.: 45477. Doctora en Geografía. Correo e: [rebeca@igg.unam.mx](mailto:rebeca@igg.unam.mx).

<sup>3</sup> INIFAP-RASPA. Canal Sacramento Km. 6.5. Zona Industrial 4ta Etapa. Gómez Palacio, Durango-México. C.P. 35140. Tel.: 01 800 088 2222 Ext.: 80515. Doctor en Ciencias. Correo e: [sanchez.ignacio@inifap.gob.mx](mailto:sanchez.ignacio@inifap.gob.mx).

<sup>4</sup> INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. Km. 3.5 Carr. Xalapa-Veracruz. Col. Ánimas. Xalapa, Veracruz-México. C.P.91190. Tel.: 01 800 088 2222 Ext.: 87841. Doctor en Ciencias. Correo-e: [guajardo.rafael@inifap.gob.mx](mailto:guajardo.rafael@inifap.gob.mx).

temperaturas registrados en estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en el estado de Veracruz y en las áreas aledañas. Se observó que el 72% de las estaciones con información de precipitación cumplen el criterio de homogeneidad, en contraste, para la temperatura mínima y máxima solo el 31 y 30% de las estaciones cumplieron dicho criterio. Lo anterior, permitió fundamentar que es posible que los datos sean homogéneos sin considerar ciclos o condiciones estacionales, sin embargo es recomendable considerar el empleo de las pruebas sugeridas tomando en cuenta los periodos de frío y/o calor, o bien, de acuerdo con la relación que exista con la dependencia de la precipitación (periodos húmedos y/o secos).

**Palabras clave:** Pruebas de homogeneidad de varianza, prueba de homogeneidad normal estándar (SNHT), Pettitt, Buishand, precipitación, temperatura y validación.

#### Abstract

The reliability of climate information is essential in any research, so it is important to implement tools and methodologies to identify corrupt data for data collection, faulty instruments sensors, for transcription of information and / or relocation of stations. In this paper, a methodology to validate and identify anomalous records of rainfall, and low and high daily temperatures is proposed. The method describes a methodology that allows to select stations with few information, verify it is logical consistency, and the process of a scheme of spatial validation and the use of a Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) Pettitt y Buishand in order to validate climatological data and to test data homogeneity recorded at stations of the National Weather Service (SMN) which are located at Veracruz state and nearby areas. We observed that 72% of the stations with rainfall data are positive with homogeneity criterion, in contrast, for minimum and maximum temperatures only 31 to 30% of the stations were positive. This allowed to support that it is possible that the data are homogeneous regardless of cycles or seasonal conditions, however it is recommended to take into account the cold and/or heat periods or in accordance with the possible relationship with rainfall dependence (wet and / or dry periods).

---

<sup>5</sup> INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Melchor Ocampo No. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca-México. CP. 68200. Tel.: 01 800 088 2222 Ext.: 86208. Maestra en Ciencias. Correo e:

**Keywords:** Homogeneity of Variance Test, Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Pettitt, Buishand, Rainfall, Temperature and Validation Data Weather.

## **Introducción**

La información climática debe ser representativa y precisa del lugar donde las estaciones climatológicas se encuentran ubicadas para realizar estudios relacionados con la predicción meteorológica y climática, permitiendo que se reduzcan los riesgos de desastre o realizar predicciones a diferentes plazos para minimizar los riesgos de desastre que pueden generarse por eventos de inundación, heladas, sequías o el cambio climático; los registros de información climática deben guardar comportamientos homogéneos (Cao & Yan, 2012). Los datos climáticos pueden no representar la variación del tiempo actual por fallas en los instrumentos de medición, errores que se ocasionan de forma accidental por la persona responsable en la toma de datos, la ubicación en la que se encuentra la estación, entre otras, dando a lugar a variaciones en datos reales y provocando que el usuario de información climática obtenga resultados o realice inferencias erróneas. Contar con series de datos meteorológicos de largo plazo bajo condiciones homogéneas resulta de interés en la actualidad para la comunidad científica (Cristina & Soares, 2006), por ello esta debe ser validada para desarrollar cualquier aplicación. Para alcanzar este objetivo, es necesario aplicar metodologías de verificación y tratamiento que permitan identificar las estaciones que cumplen el supuesto de homogeneidad en variables de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación.

## **Objetivo**

En este trabajo se desarrolla una propuesta metodológica para verificar que datos climáticos diarios registrados por estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) del estado de Veracruz y estados

aledaños cuentan con un comportamiento homogéneo mediante la implementación de tres pruebas: Homogeneidad normal estándar (SNHT), Pettitt y Buishand.

### **Antecedentes**

Los investigadores con experiencia en el análisis de datos, han citado el uso de estas pruebas que han hecho uso de información climática en diversas latitudes del planeta, tal es el caso de Dhorde y Zarenistanak (2013) que emplearon las pruebas de Pettitt, la Prueba de Homogeneidad Normal Estándar y la Prueba de Homogeneidad Normal Estándar desarrollada por Alexanderson y Moberg para determinar la homogeneidad en series de temperatura y precipitación tanto en periodos estacionales como anuales en la República Islámica de Irán. La aplicación de estas pruebas permitió clasificar las estaciones en útiles, dudosas y sospechosas. Las estaciones clasificadas como útiles presentaron como máximo una inhomogeneidad en las tres pruebas aplicadas; las que se especificaron como dudosas fueron aquellas que registraron dos condiciones de inhomogeneidad; y las catalogadas como sospechosas contaron con tres condiciones de inhomogeneidad. Se estableció como conclusión que las series de precipitación y temperatura de las 20 estaciones consideradas en el estudio, presentaron condiciones homogéneas. Ahmad y Deni (2013), reportan haber empleado pruebas de Homogeneidad Normal Estándar; rangos de Buishand, de Pettitt y de razón de Von Neumann para probar homogeneidad en datos diarios de precipitación en series registradas de estaciones ubicadas en la Malasia Peninsular y detectaron que de las 59 estaciones consideradas en el estudio, el 22% presentó condiciones de inhomogeneidad y el 78% fueron homogéneos. En el continente europeo, Stepánek *et al.* (2013) llevaron a cabo todo un proceso completo de verificación de calidad de información y homogeneización de registros del tiempo en estaciones ubicadas en la República Checa, se aplicó la prueba de homogeneidad normal

estándar, la prueba bivariada de Maronna y Yohai y la prueba de Easterling y Peterson. Estas pruebas consideraron los registros mensuales, estacionales y anuales de precipitación, el empleo de estos intervalos permitió contar con diversidad de resultados. En la zona del Mar Mediterraneo, específicamente en la región de la Campania al sur de Italia, Longobardi y Villani (2009) aplicaron las pruebas  $t$  de Student y una modificación de la prueba de Ward para comprobar la homogeneidad en series de precipitación en el periodo 1981-1999 para estudiar tendencias de variación. En el sur de Portugal, Costa y Soares (2006) implementaron las pruebas de homogeneidad normal estándar, de rangos de Buishand y de Pettitt a datos de precipitación, como resultado 13 estaciones cuentan con información homogénea, mientras que otras 15 no cuentan con esta condición. En 2001, Tuomenvirta empleó la prueba de homogeneidad normal estándar desarrollado por Alexandersson (1986) para analizar tres conjuntos de datos: medias anuales de temperatura para el periodo 1961-1990 en Finlandia, series de temperatura y precipitación monitoreadas en el Atlántico Norte y series de temperatura mínimas y máximas diarias correspondientes al periodo 1910-1995. Se encontró que los registros de medias anuales de temperatura y las series diarias de temperaturas mínimas y máxima no mostraron comportamientos homogéneos, debido a la reubicación de estaciones sin considerar el sitio original de su ubicación para minimizar dichos cambios. Sin embargo para el conjunto de datos de precipitación y temperatura registrados en el Atlántico Norte, no se presentaron cambios significativos en los registros. Pérez *et al.* (2011) en Argentina, comprobaron la existencia de cambios abruptos en series de precipitación anual en el periodo 1921-2004 de 17 estaciones en un área de transición de clima templado húmedo en el este y estepa en el oeste. Las pruebas empleadas fueron Buishand y Pettitt, sus resultados mostraron que se registró un aumento de la precipitación anual en la década de los 60's en estaciones ubicadas en el sur de la zona de estudio, mientras que en el norte se presentaron aumentos en la década de los 70's. Guentchev *et al.* (2010), dieron a conocer una opción metodológica en donde se emplean las pruebas de Alexandersson, la prueba de rangos de Buishand, la prueba de Pettitt y la prueba de Von Neuman para verificar tres conjuntos de

datos precipitación reticulares en los estudios de la cuenca superior del río Colorado. Los resultados indicaron que las series de tiempo son suficientemente homogéneas para el análisis de la variabilidad en el período 1950-1999 cuando se agrega en una escala subregional. Naulier *et al.* (2015), empleó la prueba de Buishand para analizar las tendencias de temperatura en Canadá nororiental a registros dendrocronológicos y encontró que los veranos se volvieron más cálidos después de 1975 y el incremento de los grados día durante la última década (2000-2010). En México, López *et al.* (2013), emplearon la Prueba de Pettitt, la de homogeneidad normal estándar (SNHT), Buishand y la de Von Neumann, para verificar la homogeneidad de los datos empleados en la caracterización climatológica de la cuenca baja del Río Bravo, Tamaulipas. Por otro lado García (2013), utilizó las pruebas Pettitt, Homogeneidad Normal Estandar, Buishand, Von Neumann y t de Student para probar homogeneidad y detectar puntos de cambio en la media para el análisis de la distribución de gastos máximos anuales en la República Mexicana. Dada la importancia que implica el contar con información climática confiable, el presente trabajo tiene como objetivo describir una propuesta metodológica para validar datos climatológicos y comprobar la homogeneidad de datos de precipitación y temperatura, registrados en estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en el estado de Veracruz y en las áreas aledañas.

## **Metodología**

### **Delimitación geográfica del área de estudio**

Se utilizaron datos de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local de México. La información se obtuvo a través de la aplicación desarrollada por dicho organismo para Google Earth (CONAGUA-SMN, 2014), en ella se despliegan en total 5,420 estaciones climatológicas clasificadas en dos categorías: en operación (3,200) y suspendidas (2,220) las cuáles se distinguen en color amarillo y rojo, respectivamente. La información se extrajo en formato "kmz" y se exportó a formato "shape" para

facilitar su manejo en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se clasificaron las estaciones de acuerdo a su incidencia dentro de la cobertura vectorial de las unidades climáticas (INEGI, 2014). Dada la importancia de incluir en su totalidad el territorio de Veracruz, se delimitó un área adicional de 20 km en relación con el límite político del estado para incluir estaciones de apoyo ubicadas en los estados vecinos de Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Chiapas y Tabasco, así como considerar un área representativa de la precipitación en dichos estados ya que de acuerdo a Cruz (2013) los datos de precipitación son representativos en una distancia de 10 km.

#### **Selección de estaciones con información mínima necesaria**

Se emplearon registros diarios de temperatura máxima ( $T_{max}$ ), temperatura mínima ( $T_{min}$ ), y precipitación ( $Pp$ ), de cada una de las estaciones, el período de tiempo considerado es desde que inició operaciones hasta su última fecha de registro. Para que la estación fuera considerada en el análisis, se seleccionaron aquellas estaciones que cumplieran los siguientes requisitos mínimos: 1) Contar con al menos 25 años de información; 2) al menos 80% de registros históricos; y 3) la estación no haya dejado de operar antes del año 2000.

#### **Congruencia lógica o integridad de los datos**

Conformada la base de datos climatológica de las estaciones de interés, se desarrollaron rutinas en macros de Excel con el compilador Visual Basic para verificar los siguientes criterios lógicos: 1)  $Pp$  mayores o iguales a 0; 2)  $T_{max}$  mayores a temperaturas mínimas ( $T_{min}$ ); 3)  $T_{min}$  menores a temperaturas máximas ( $T_{max}$ ); y 4) verificar que los registros se registren en fechas congruentes.

Los datos que no cumplieron los criterios fueron reemplazados con el valor -99, el cual se identifica como valor faltante en procesos posteriores.

### Validación espacial de la información

Otro filtro empleado para verificar la información climática fue la validación espacial, esta se realizó considerando lo expuesto en la norma UNE 500540:2004 y que describe Estévez y Gavilán (2008) como un nivel de validación opcional. El procedimiento consistió en identificar las estaciones vecinas más cercanas a una estación de referencia (Figura 1), a cada estación de referencia se calculó un intervalo de confianza a los registros diarios históricos de cada variable climática en base a la expresión:

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

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

Los valores registrados en las variables  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  o  $Pp$  que no se encontraron dentro de los intervalos de confianza se reemplazaron con el valor -99 para identificarlo como valor faltante en procesos posteriores (Figura 1 y Cuadro 1).

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.

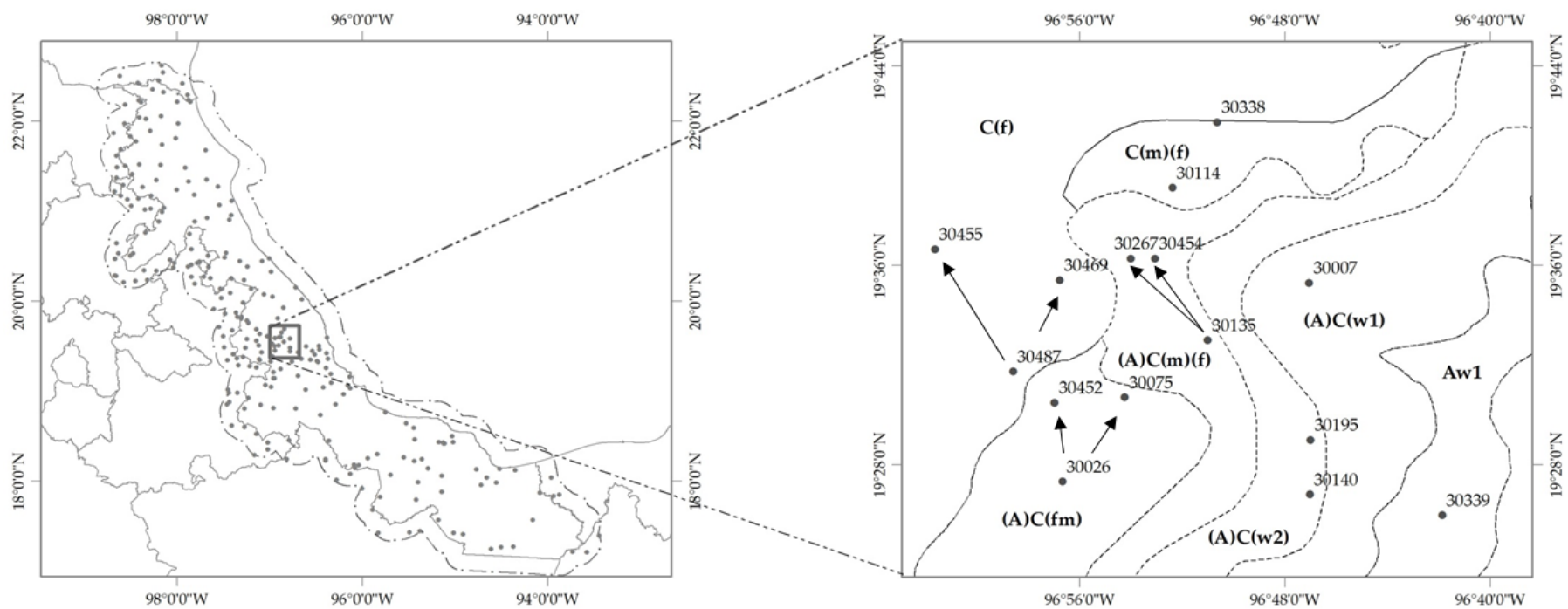


Figura 1. Identificación de estaciones vecinas cercanas a una estación de referencia.

**Cuadro 1.** a) Registro histórico diario de una estación de referencia de las variables  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  y  $P_p$  y b) Registros diarios de las estaciones vecinas.

Estación	Histórico		Tmax		Tmin		Pp	
	Mes	Día	LI	LS	LI	LS	LI	LS
30026	1	1	15.13	39.46	6.04	26.79	0.00	8.53
30026	1	2	16.15	39.63	6.95	25.25	0.00	6.03
30026	...	...	...	...	...	...	...	...
30026	1	30	17.26	39.04	4.84	27.38	0.00	13.94
30026	1	31	18.00	39.39	5.69	26.08	0.00	7.75
30026	2	1	17.55	39.34	6.80	25.62	0.00	0.00
30026	2	2	16.64	40.45	6.10	25.48	0.00	0.47
30026	...	...	...	...	...	...	...	...
30026	2	28	16.81	40.70	5.77	26.23	0.00	3.10
30026	2	29	17.38	40.72	5.83	26.79	0.00	2.10
30026	.	.	.	.	.	.	.	.
30026	.	.	.	.	.	.	.	.
30026	.	.	.	.	.	.	.	.
30026	12	1	18.54	38.61	6.98	27.59	0.00	11.20
30026	12	2	18.15	38.88	5.68	28.45	0.00	21.50
30026	...	...	...	...	...	...	...	...
30026	12	30	13.58	41.47	4.67	26.97	0.00	5.05
30026	12	31	15.71	39.54	4.57	26.68	0.00	5.16

Estación	Año	Mes	Día	Tmax	Tmin	Pp
30075	1961	1	1	23.50	20.00	0.00
30075	...	...	...	...	...	...
30075	2009	1	1	26.00	15.50	0.00
30075	1961	1	2	25.50	19.00	0.00
30075	...	...	...	...	...	...
30075	2009	1	2	27.50	15.50	0.00
30075	...	...	...	...	...	...
30075	1961	1	31	23.00	16.00	0.00
30075	...	...	...	...	...	...
30075	2009	1	31	22.00	18.00	0.00
30075	...	...	...	...	...	...
30075	1961	12	1	26.00	18.50	0.90
30075	...	...	...	...	...	...
30075	2009	12	31	27.00	16.50	0.00
30452	1956	1	1	26.50	20.00	0.00
30452	...	...	...	...	...	...
30452	2007	1	1	29.00	15.00	5.50
30452	1955	1	2	23.00	16.00	9.20
30452	...	...	...	...	...	...
30452	2007	1	2	31.50	12.50	0.00
30452	1955	1	31	25.50	15.50	61.80
30452	...	...	...	...	...	...
30452	2007	1	31	30.00	19.00	0.00
30452	1955	12	1	30.00	20.00	0.00
30452	...	...	...	...	...	...
30452	2005	12	31	29.00	17.00	3.50

## Aplicación de pruebas de homogeneidad

Las pruebas empleadas en este trabajo fueron: 1) Homogeneidad Normal Estándar (SNHT), 2) Pettitt y 3) Buishand; estas se describen brevemente a continuación junto con sus estadísticos de prueba de acuerdo a lo planteado por Hainie & Mohd (2013):

**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:

$$T_d = d\bar{z}_1 + (n-d)\bar{z}_2 \quad \text{para } d = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

dónde:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{d} \frac{\sum_{i=1}^d (y_i - \bar{y})}{s} \quad \text{y} \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n-d} \frac{\sum_{i=d+1}^n (y_i - \bar{y})}{s} \quad (3)$$

Un valor alto de  $T$  en un año  $d$  indica una variación “brusca”. El estadístico de prueba  $T_0$  se define como:

$$T_0 = \max_{1 \leq d \leq n} T(d) \quad (4)$$

**Pettitt**, prueba no paramétrica que 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:

$$X_d = 2 \sum_{i=1}^d r_i - d(n+1) \quad \text{para } d = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

y un valor en el año  $m$  que cumple la condición:

$$X_m = \max_{1 \leq d \leq n} |X_d| \quad (6)$$

es una variación fuerte en la serie (Pettitt, 1979).

**Buishand**, 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:

$$S_0^* = 0 \quad \text{y} \quad S_d^* = \sum_{i=1}^d (y_i - \bar{y}) \quad \text{para} \quad d = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

La prueba se define como:

$$Q = \max_{0 \leq d \leq n} \left| \frac{s_d^*}{s} \right| \quad (8)$$

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:

$$R = \frac{(\max_{0 \leq d \leq n} s_d^* - \min_{0 \leq d \leq n} s_d^*)}{s} \quad (9)$$

es importante agregar que Buishand propone valores críticos  $Q/\sqrt{n}$  y  $R/\sqrt{n}$  para las pruebas de homogeneidad (Buishand, 1982).

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

$H_o$  : Los datos son homogéneos.

vs.

$H_a$  : 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  $H_o$  cuando esta es verdadera (error de tipo I) es del 5% (Ramírez y López, 1993).

Las pruebas se realizaron a las variables  $Tmax$ ,  $Tmin$  y  $Pp$  de cada estación con la aplicación XLSTAT en su versión de prueba, mediante el cual se obtuvieron los valores  $p$  ( $p$ -value) correspondientes, se identificaron los años en los que se presentó un cambio abrupto en los datos cuando la  $H_o$  fue rechazada y se realizó un concentrado de resultados para clasificar las estaciones en tres clases, como lo llevaron a cabo Schonwiese y Rapp (1997) y Wijngaard *et al.* (2003).

En la Clase 1, se agrupan estaciones cuyas pruebas de hipótesis nula fueron rechazadas a lo más en una de las tres pruebas por lo que se considera que la información es confiable. Cuando las estaciones presentaron como máximo dos hipótesis nulas, las estaciones se consideraron en la Clase 2 y la información se puede considerar como medianamente confiable. En la Clase 3, se agruparon

estaciones en que se rechazaron tres hipótesis nulas, por lo que la información se consideró como no confiable.

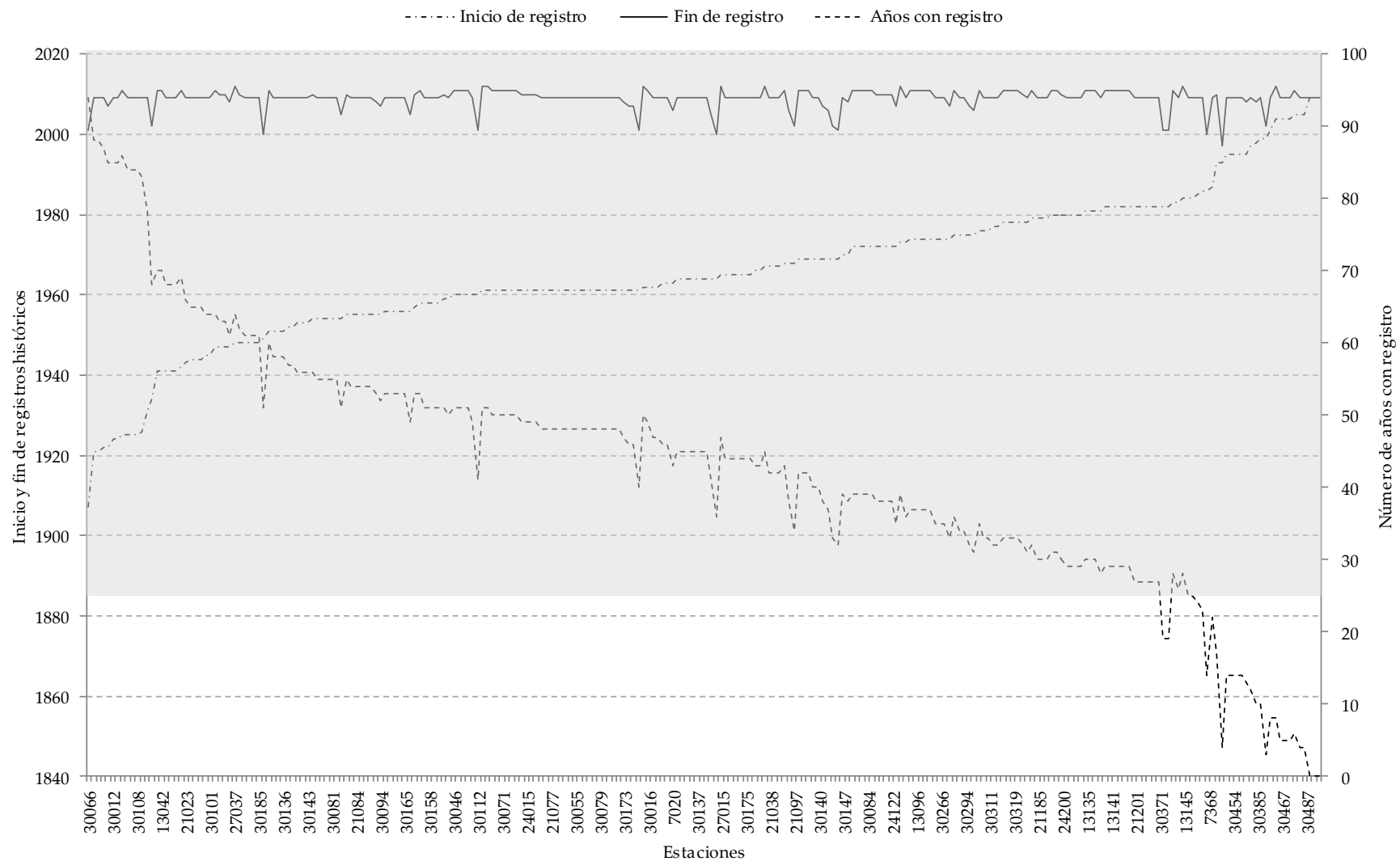
## **Resultados**

### **Estaciones incluidas en el área de estudio**

En el estudio se incluyeron 260 estaciones ubicadas en el área de estudio, 162 son del estado de Veracruz y 98 en estados circunvecinos, las cuales se consideran de apoyo para procesos geostatísticos y de validación. Estas estaciones fueron clasificadas de acuerdo a su ubicación en unidades climáticas observando que el 35% de las estaciones inciden en climas subhúmedos, el 25% en climas húmedos y el 18% en climas semicálidos húmedos. Esta clasificación fue considerada en la validación espacial de los datos diarios.

### **Estaciones con información mínima necesaria**

En cuanto a la verificación de información mínima necesaria se observó que 226 (87%) no han dejado de operar antes del año 2000, contienen al menos 25 años de información y los registros históricos no superan el 20%. La Figura 2 muestra un panorama general de las condiciones de las estaciones climáticas en cuanto al inicio (línea punteada) y fin (línea continua) de los registros históricos (línea discontinua), y el total de años con información de  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  y  $P_p$  (área sombreada).



**Figura 2.** Representación del inicio y fin de registros históricos y número de años con información climática en las estaciones consideradas del área de estudio.

### **Verificación de congruencia lógica y Validación espacial de la información**

Se observó que la información no congruente y 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  $Pp$  la incongruencia y los valores no válidos en relación con sus estaciones vecinas no superó el 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 confiables, medianamente confiables y no confiables. 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. 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. El Cuadro 2, muestra las estaciones desagregadas en cuanto a su confiabilidad, por variable climática y el estado donde estas se encuentran ubicadas.

**Cuadro 2.** Resultados de pruebas de homogeneidad de varianza por estado.

Variable	Clasificación	Estados							Totales	
		Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas		Veracruz
Tmin	Confiable		4	4	16	5	1	1	40	71
	Medianamente confiable		2	1	8	1		1	20	33
	No confiable	3	11	4	15	5	2	6	76	122
Tmax	Confiable		4	3	18	6	1	1	35	68
	Medianamente confiable	1	3	1	2			3	17	27
	No confiable	2	10	5	19	5	2	4	84	131
Pp	Confiable	2	14	6	23	10	1	7	99	162
	Medianamente confiable	1		3	5				13	22
	No confiable		3		11	1	2	1	24	42

Con el fin de mostrar los resultados generados de las pruebas de homogeneidad para las tres pruebas empleadas se conformaron tres tablas donde es posible consultar los valores  $p$  ( $p$ -value) y los años en los que se presentó un cambio abrupto en las variables de  $T_{min}$  (Cuadro 4),  $T_{max}$  (Cuadro 5) y  $Pp$  (Cuadro 6), así como la clasificación de la estación de acuerdo al número de  $H_o$  que fueron rechazadas.

En un sentido estricto, fueron seleccionadas aquellas estaciones que cumplieron con la condición de información confiable en donde se observó que para el estado de Veracruz, tan solo 11 estaciones mostraron comportamientos homogéneos en las tres variables analizadas, en tanto que para el estado de Puebla fueron seis, para San Luis Potosí se registraron solo 3 y para el estado de Hidalgo y Oaxaca fueron 2 y una, respectivamente (Cuadro 3 y Figura 3).

**Cuadro 3.** Estaciones con información homogénea en la zona de estudio en las variables de  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  y  $P_p$ .

Estación	Estado	Municipio	Longitud	Latitud	Altitud
13140	Hidalgo	Jaltocan	98° 32' 18"	21° 07' 56"	232
13144		Huehuetla	98° 04' 34"	20° 27' 36"	466
20294	Oaxaca	San Juan Bautista Tuxtepec	96° 07' 59"	18° 04' 59"	37
21038	Puebla	Guadalupe Victoria	97° 17' 21"	19° 23' 07"	2,481
21072		Chalchicomula de Sesma	97° 27' 02"	19° 01' 11"	2,586
21129		Cuyoaco	97° 30' 04"	19° 36' 53"	2,574
21142		Venustiano Carranza	97° 40' 05"	20° 30' 37"	161
21154		Esperanza	97° 26' 07"	18° 52' 51"	2,433
21201		Hueytamalco	97° 17' 14"	19° 59' 14"	593
24009		San Luis Potosí	San Martin Chalchicuautila	98° 39' 19"	21° 22' 22"
24053	San Martin Chalchicuautila		98° 33' 53"	21° 30' 15"	95
24113	San Vicente Tancuayalab		98° 36' 33"	21° 41' 21"	40
30047	Veracruz	Comapa	96° 41' 47"	19° 10' 20"	550
30089		Las Minas	97° 08' 51"	19° 41' 23"	1,459
30125		Papantla	97° 19' 30"	20° 26' 45"	200
30147		San Juan Evangelista	95° 08' 45"	17° 53' 00"	29
30180		Chicontepepec	98° 08' 28"	21° 02' 17"	130
30327		Las Choapas	94° 09' 48"	17° 34' 19"	39
30345		Tantoyuca	98° 10' 39"	21° 30' 48"	94
30350		Citlaltepetl	97° 52' 39"	21° 19' 45"	210
30371		Gutierrez Zamora	97° 05' 02"	20° 26' 57"	5
30377		Tamiahua	97° 24' 48"	21° 06' 59"	7
30384		Jalacingo	97° 18' 14"	19° 49' 42"	1,749

**Cuadro 4.** Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable *Tmin* a las estaciones consideradas en el estudio

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación	Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación	Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación
	Valor <i>p</i>	Año de cambio	Valor <i>p</i>	Año de cambio	Valor <i>p</i>	Año de cambio			Valor <i>p</i>	Año de cambio	Valor <i>p</i>	Año de cambio	Valor <i>p</i>	Año de cambio			Valor <i>p</i>	Año de cambio	Valor <i>p</i>	Año de cambio	Valor <i>p</i>	Año de cambio	
7020	0.032	1989	0.008	1993	0.010	1990	NC	24113			0.0121	1973			C	30132	0.0273	1989	< 0.0001	2006	0.0159	1989	NC
7106	< 0.0001	1979	< 0.0001	1979	< 0.0001	1979	NC	24122	0.0309	1990			0.0346	1990	MC	30134	0.0107	1992	0.0222	1999	< 0.0001	1999	NC
7112	< 0.0001	1985	0.000	1985	< 0.0001	1985	NC	24200						C	30136	0.0035	1997	0.0004	2000	0.005	1997	NC	
13011	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	NC	27003						C	30137	< 0.0001	1989	0.0013	1980	0.0001	1988	NC	
13015			0.017	1967	0.009	1967	MC	27015	0.0075	1992	0.0013	2002	0.002	1992	NC	30140	0.0385	1995			0.0201	1995	MC
13034	< 0.0001	1989	< 0.0001	1995	< 0.0001	1989	NC	27037	0.0201	1961	0.0056	1961	0.0096	1975	NC	30141	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	NC
13042	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	NC	28006	< 0.0001	1997	< 0.0001	1999	< 0.0001	1997	NC	30143	< 0.0001	1971	< 0.0001	1953	0.03	1972	NC
13061	0.0037	2004	< 0.0001	2005	0.0021	2004	NC	28016	0.0029	1979	< 0.0001	1977	< 0.0001	1978	NC	30147			0.0202	2004			C
13093	0.0004	1976	0.0023	1976	0.0007	1976	NC	28055	0.0189	2001	0.0034	1963			MC	30148	0.0012	1998	< 0.0001	1998	< 0.0001	1998	NC
13095	0.0001	1996	< 0.0001	1997	< 0.0001	1996	NC	28111	0.0001	1989	0.0066	2010	0.0367	1979	NC	30152	< 0.0001	1989	0.002	1994	0.0002	1989	NC
13096	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	NC	28125	0.0004	1989	0.0301	2006	0.016	1989	NC	30158	< 0.0001	1979	< 0.0001	1977	< 0.0001	1978	NC
13098	< 0.0001	1986	< 0.0001	1986	< 0.0001	1986	NC	28138	0.0408	2001	0.0341	2001	0.0464	2001	NC	30160	0.0439	1970	0.0037	1968	0.0182	1970	NC
13099							C	28147	< 0.0001	1995	< 0.0001	2005	< 0.0001	1995	NC	30163	< 0.0001	1950	< 0.0001	1949	< 0.0001	1949	NC
13135	0.0005	1998			0.0369	1998	MC	28175			0.0222	2008			C	30165							C
13137							C	30003							C	30166	0.0015	1989	0.0487	1989	0.0004	1989	NC
13139	< 0.0001	1999	< 0.0001	2008	0.0014	2001	NC	30006							C	30167	0.0001	1985	0.0021	1985	0.0001	1978	NC
13140	0.0112	1992					C	30007	0.001	1997	0.0008	1997	0.0019	1997	NC	30169	0.0052	1971	0.0404	1971	0.007	1971	NC
13141	< 0.0001	1995	0.0008	1995	0.0006	1995	NC	30008	0.0002	1980	0.000	1960	0.0007	1980	NC	30171	0.023	1972					C
13144							C	30011	< 0.0001	1985	0.0001	1985	< 0.0001	1985	NC	30173							C
13145	< 0.0001	2000	< 0.0001	2001	< 0.0001	2001	NC	30012	0.0004	1970	< 0.0001	1927	0.0094	1971	NC	30175	0.004	1998	0.0017	1998	0.0062	1998	NC
20008	0.0001	1979			0.0467	1985	MC	30013	0.0003	1997	< 0.0001	1998	0.0003	1998	NC	30176	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	NC
20014	< 0.0001	1981	< 0.0001	1982	< 0.0001	1981	NC	30016	0.0119	1994	0.014	2002	0.0124	1992	NC	30177	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	NC
20017			0.0073	2008			C	30019	0.0013	1990	0.0438	2006	0.0002	1990	NC	30178	< 0.0001	2007					C
20029	0.0031	1969	0.0091	1969	0.009	1969	NC	30021							C	30179	0.0007	1978			0.0191	1990	MC
20084	0.0092	1980	< 0.0001	1980	0.0024	1980	NC	30022	0.0011	1979			0.019	1979	MC	30180	0.020	1990					C
20113	< 0.0001	1993	< 0.0001	1997	< 0.0001	1995	NC	30025	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	NC	30185			0.0001	2005	0.041	2005	MC
20152							C	30026							C	30187	< 0.0001	1984	< 0.0001	1990	< 0.0001	1984	NC
20189							C	30032	< 0.0001	1980	< 0.0001	1985	< 0.0001	1983	NC	30189	0.0086	2000					C
20294							C	30033	< 0.0001	1986	< 0.0001	1999	< 0.0001	1992	NC	30191	0.0001	1984	0.0001	1984	< 0.0001	1984	NC
21009	< 0.0001	1971	0.0001	1971	0.0001	1971	NC	30034	0.0117	2000	0.0056	2000	0.0303	2000	NC	30193	< 0.0001	1971	< 0.0001	1968	< 0.0001	1971	NC
21018	< 0.0001	1974	< 0.0001	1974	< 0.0001	1974	NC	30035			0.0003	2005	0.0429	1975	MC	30195	0.0003	1992	0.0005	1979	0.0017	1989	NC

21022						C	30037	0.0068	1986	0.0011	1986	0.0016	1986	NC	30198	0.0185	1973	<0.0001	1970	0.0038	1973	NC	
21023	0.0094	1996	0.0007	1997	0.0135	1995	NC	30041	0.0185	1993	0.0028	1971	0.003	1972	NC	30201	<0.0001	1975	<0.0001	1975	<0.0001	1975	NC
21026	<0.0001	1970	<0.0001	1968	<0.0001	1968	NC	30043	0.0009	1991	0.003	1991	0.0015	1991	NC	30209	0.0388	1998					C
21031							C	30046	0.0022	1980				C	30211	0.0002	1981	0.0002	1980	0.0004	1980	NC	
21032	0.0114	1972					C	30047	0.0129	1992				C	30216	<0.0001	1973	<0.0001	1973	<0.0001	1973	NC	
21038							C	30048	<0.0001	1995	<0.0001	1997	<0.0001	1997	NC	30220	0.0042	1995			0.0133	1995	MC
21040	0.0009	1985			0.0008	1985	MC	30049	0.0108	1976				C	30224	0.0151	1998					C	
21043	<0.0001	1987	<0.0001	1989	<0.0001	1989	NC	30051	<0.0001	1989	<0.0001	1972	0.0003	1973	NC	30264	0.0031	1977	0.0082	1977	0.004	1977	NC
21051	0.0016	1986			0.0009	1986	MC	30054						C	30265	0.0001	1985	0.0001	1985	<0.0001	1985	NC	
21052							C	30055	0.0044	2000	<0.0001	2001	0.0013	2000	NC	30266			0.0375	1974			C
21053	0.0265	2002	<0.0001	2003	0.0018	2002	NC	30056	0.0285	1989			0.0466	1989	MC	30267	<0.0001	1988	<0.0001	1988	<0.0001	1988	NC
21056	0.0237	1995			0.0334	1995	MC	30058	<0.0001	1977	<0.0001	1977	<0.0001	1977	NC	30268							C
21059	<0.0001	1995	<0.0001	1995	<0.0001	1995	NC	30059	0.0003	2000	0.0001	2000	0.0008	2000	NC	30281	<0.0001	1989	<0.0001	1985	<0.0001	1988	NC
21064							C	30066	0.0005	1978			0.0128	1978	MC	30285	0.0013	1983	0.0272	1976	0.0001	1983	NC
21067	<0.0001	1990	0.0009	1990	0.0002	1990	NC	30067	0.0015	1970	0.0025	1970	0.0007	1970	NC	30292	0.035	1989			0.0349	1989	MC
21072							C	30068			<0.0001	2005	0.0286	2005	MC	30294			0.0348	1975			C
21073	0.0293	2004	0.0354	2003	0.0354	2003	NC	30070	0.0377	1971				C	30301	0.0005	1990			0.0001	1990	MC	
21074	<0.0001	1990	<0.0001	1990	<0.0001	1990	NC	30071	0.029	1976	0.0053	1962	0.0391	1990	NC	30302	0.0001	1999	<0.0001	2000	<0.0001	1999	NC
21077							C	30072						C	30304	0.0053	2003	0.0003	2004	0.0008	2003	NC	
21084			0.0021	1955	0.0398	1978	MC	30074	<0.0001	1979	<0.0001	1979	<0.0001	1979	NC	30311	0.0145	1998	0.0264	1998	0.0194	1998	NC
21091	0.0133	1974	<0.0001	1923			MC	30076	0.0186	1972	0.0105	1969	0.0372	1972	NC	30317			0.0005	1979			C
21094	<0.0001	1973	<0.0001	1984	<0.0001	1973	NC	30077	0.0034	1980			0.0004	1980	MC	30319	0.0002	1990	0.0071	1990	0.0008	1990	NC
21097							C	30079			0.0192	2004			C	30325			<0.0001	2008	0.0132	2006	MC
21114	0.0023	1972	0.0036	1972	0.0019	1972	NC	30081	<0.0001	1982	<0.0001	1968	<0.0001	1981	NC	30327			0.011	2005			C
21117							C	30084	0.0168	2001				C	30336	0.0281	2000			0.0416	2000	MC	
21129							C	30089						C	30337	<0.0001	1994	<0.0001	1994	<0.0001	1994	NC	
21142							C	30090	<0.0001	1981	<0.0001	1981	<0.0001	1981	NC	30338	0.0201	2003	0.0039	2003	0.0187	2003	NC
21143							C	30093	0.0475	1983				C	30339	0.0007	1994			0.0125	1994	MC	
21147	0.0004	1992			0.0006	1992	MC	30094	0.0103	1975			0.0241	1982	MC	30340	0.0002	2000	0.0002	2001	<0.0001	2000	NC
21154							C	30097	0.0001	1989	<0.0001	1986	0.0004	1989	NC	30342	0.002	1995			0.0032	1995	MC
21185	0.0277	1988			0.0391	1988	MC	30098	<0.0001	1984	0.0001	1990	<0.0001	1984	NC	30345							C
21201							C	30100			0.0028	1999	0.0021	1995	MC	30350							C
21209							C	30101	<0.0001	1974	0.0162	1974	0.0019	1974	NC	30351	0.006	1988	0.0124	1988	0.0086	1988	NC
21211	0.0421	1989			0.0302	1989	MC	30102			0.0173	1954		C	30353	0.0022	1993	0.0139	1990	0.0027	1992	NC	
21212	0.0011	1987	0.0196	1987	<0.0001	1987	NC	30107						C	30357								C
21215	0.0025	2001	0.0022	1986	0.0085	1986	NC	30108	0.0077	1985	0.0003	1985	0.0057	1985	NC	30359	0.0019	1988	<0.0001	1988	0.0004	1988	NC
21244	0.0067	1969	<0.0001	1949	0.0002	1949	NC	30112	<0.0001	1981	<0.0001	1981	<0.0001	1981	NC	30361	<0.0001	1997	0.0005	1997	<0.0001	1997	NC
24009	0.0047	1985					C	30114	<0.0001	1980			0.001	1980	MC	30364	0.0012	1994	0.0055	1994	0.001	1994	NC
24015	0.0006	1980	<0.0001	1968	<0.0001	1968	NC	30115	0.0004	1979				C	30371								C



**Cuadro 5.** 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	Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación	Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación	
	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio			Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio			Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio		Valor $p$
7020			0.011	1992	0.017	1988	MC	24113	0.0081	1993					C	30132	< 0.0001	1981	< 0.0001	1979	< 0.0001	1979	NC	
7106	0	1980	0.003	1980	0.001	1980	NC	24122							C	30134	0.0443	1992					C	
7112	< 0.0001	1982	< 0.0001	1985	< 0.0001	1985	NC	24200	< 0.0001	1994	< 0.0001	1997	< 0.0001	1994	NC	30136	< 0.0001	1987	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	NC	
13011	0.0241	2005	0.0001	2005	0.0054	2005	NC	27003							C	30137	< 0.0001	1997	< 0.0001	2002	< 0.0001	1998	NC	
13015	< 0.0001	1967	0.058	1967	< 0.0001	1967	NC	27015	0.0048	1988	0.0128	1989	0.0032	1989	NC	30140	0.0255	1978			0.0359	1978	MC	
13034	0.0029	1983	0.0018	1983	0.001	1983	NC	27037	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	NC	30141	0.0039	1999	< 0.0001	2001	0.0018	1999	NC	
13042	0.0007	1962	< 0.0001	1948	0.0009	1960	NC	28006	< 0.0001	1999	< 0.0001	1999	< 0.0001	1999	NC	30143	0.0009	1976	0.0014	1953			MC	
13061	0.0231	2004	0.026	2005			MC	28016	< 0.0001	1992	< 0.0001	1977	< 0.0001	1981	NC	30147	0.0287	1998					C	
13093	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	NC	28055	0.0389	1986	0.0227	1965			MC	30148	0.0003	1981	0.0015	1987	0.0003	1987	NC	
13095	0.0017	1992	0.0032	1997	0.0011	1997	NC	28111	< 0.0001	1989	0.0165	2010	0.028	1989	NC	30152	< 0.0001	1993	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	NC	
13096							C	28125	0.0008	1993	0.0226	1994	0.0104	1994	NC	30158	0.0004	1982	0.0277	1982	0.0063	1982	NC	
13098	0.0013	1987	0.002	1987	0.0005	1987	NC	28138							C	30160	0.0039	1994	0.0017	1994	0.0046	1994	NC	
13099	0.0001	1992	< 0.0001	2006	< 0.0001	2001	NC	28147	0.0001	1992			0.0003	1992	MC	30163	0.0112	1988					C	
13135	0.0277	1993			0.0431	1993	MC	28175	0.0064	1993	0.0298	1978			MC	30165								C
13137	0.0278	2005	< 0.0001	2005	0.0046	2005	NC	30003	< 0.0001	1992	< 0.0001	1996	< 0.0001	1992	NC	30166			0.0044	2008				C
13139							C	30006	0.0277	1999			0.0372	1999	MC	30167	< 0.0001	1964	< 0.0001	1961	0.0001	1964	NC	
13140							C	30007	0.0028	1988	0.0107	1997	0.003	1988	NC	30169			0.0105	1976	0.0486	1976	MC	
13141	0.0086	1989			0.0035	1989	MC	30008							C	30171	0.0181	1985			0.0073	1985	MC	
13144							C	30011	< 0.0001	1988	0.0001	1958	< 0.0001	1981	NC	30173	0.0029	1984	0.0037	1984	0.0009	1984	NC	
13145	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	NC	30012	0.0044	1968	0.0044	1986	0.0051	1966	NC	30175	< 0.0001	1990	< 0.0001	1990	< 0.0001	1990	NC	
20008	0.0023	1985	0.0001	1997	0.0015	1985	NC	30013	< 0.0001	1970	< 0.0001	1970	< 0.0001	1970	NC	30176	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	< 0.0001	1992	NC	
20014							C	30016	0.0243	2001	0.0017	2008	0.0254	2001	NC	30177	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	NC	
20017	0.0001	1983	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	NC	30019	< 0.0001	1988	< 0.0001	1992	< 0.0001	1992	NC	30178	< 0.0001	2008			< 0.0001	2008	MC	
20029					0.0277	1978	C	30021	< 0.0001	1981	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	NC	30179	0.0004	1992	< 0.0001	2000	< 0.0001	1993	NC	
20084	0.0008	1965	0.0013	1967	0.0002	1967	NC	30022	0.0001	1974			0.0004	1976	MC	30180								C
20113	0.0006	1983	0.0081	1984	0.0031	1984	NC	30025	< 0.0001	1987	0.0002	1987	0.0001	1987	NC	30185								C
20152	< 0.0001	1988	< 0.0001	1996	< 0.0001	1988	NC	30026	0.0183	1968	0.0175	2001	0.0479	2001	NC	30187								C
20189	0.0027	1981			0.001	1981	MC	30032	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	NC	30189	0.0238	2000	0.0001	2000	0.009	2000	NC	
20294	0.0487	2003					C	30033	0.0002	1970	< 0.0001	1999	0.0003	1970	NC	30191	0.0137	1997	0.0117	1997	0.0261	1987	NC	
21009	0.0003	1967	< 0.0001	1961	< 0.0001	1967	NC	30034							C	30193	0.0133	1985	0.0329	1949	0.0059	1949	NC	
21018	0.0226	1992					C	30035	< 0.0001	1976	< 0.0001	1965	< 0.0001	1976	NC	30195	0.0001	1988	0.0002	1979	0.0002	1984	NC	

21022							C	30037	0.001	1978			0.0051	1979	MC	30198	0.0018	1981	0.0013	1981	0.0002	1981	NC
21023							C	30041	0.0033	1993	0.003	2000	0.0104	1997	NC	30201	0.0242	1968					C
21026	0.022	1992	< 0.0001	1992	0.0022	1992	NC	30043							C	30209	0.0054	1997	0.0418	1968			MC
21031	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	NC	30046	0.0123	1997	0.0008	2008	0.002	1997	NC	30211	< 0.0001	1978	< 0.0001	1978	< 0.0001	1977	NC
21032			0.013	2005			C	30047							C	30216							C
21038							C	30048	0.0147	2000	< 0.0001	2000	0.0004	2000	NC	30220	< 0.0001	1988	< 0.0001	1999	< 0.0001	1999	NC
21040	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	NC	30049	0.0177	1971	0.0434	1971	0.0225	1971	NC	30224	0.0417	1954	0.0002	1950	0.0004	1950	NC
21043	0.0002	1983	0.0002	1993	0.0002	1983	NC	30051	0.0016	1994	0.0044	2008	0.0014	1994	NC	30264	0.0035	1977	0.0011	1976	0.001	1977	NC
21051							C	30054	0.0199	1993	< 0.0001	2002	0.0019	2001	NC	30265	0.0003	1987	0.0049	1987	0.0006	1988	NC
21052	< 0.0001	1985	< 0.0001	1985	< 0.0001	1985	NC	30055	0.0001	1989	< 0.0001	2001	< 0.0001	1993	NC	30266	0.004	1988	0.006	1988	0.0022	1988	NC
21053	< 0.0001	1979	< 0.0001	1978	< 0.0001	1978	NC	30056	< 0.0001	1971	< 0.0001	1970	< 0.0001	1971	NC	30267							C
21056							C	30058	0.0006	1977	0.0026	1975	0.0014	1977	NC	30268	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	0.0001	1997	NC
21059	0.0021	1993					C	30059	0.0302	1993	0.0315	1993	0.0053	1993	NC	30281	< 0.0001	1987	0.0015	1987	0.0005	1987	NC
21064	0.0028	1993	0.0002	2002	0.0002	1999	NC	30066	< 0.0001	1951	< 0.0001	1925	< 0.0001	1950	NC	30285	0.0395	1996	< 0.0001	1976			MC
21067	0.0112	1993	0.0015	1993	0.0024	1993	NC	30067							C	30292	0.002	1988			0.0367	1988	MC
21072							C	30068	< 0.0001	1981	0.0035	1981	0.0003	1981	NC	30294	0.0001	1989	0.0316	1975	< 0.0001	1989	NC
21073			< 0.0001	2002	0.0326	2003	MC	30070							C	30301	0.0001	1993	< 0.0001	2006	0.0001	1993	NC
21074	0.0023	1996	0.0001	2004	0.0061	1997	NC	30071			0.0172	2003	0.043	2001	MC	30302	< 0.0001	1992	< 0.0001	1999	< 0.0001	1997	NC
21077	0.0127	2001	0.0183	2001	0.0114	2001	NC	30072	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	NC	30304			0.0089	1976			C
21084			0.0067	1955			C	30074	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	NC	30311			0.0333	1981			C
21091	0.0099	1962	0.008	1963	0.0007	1963	NC	30076	< 0.0001	1992	0.0027	1992	0.0001	1992	NC	30317	0.0147	1987	0.0223	1987	0.0137	1992	NC
21094							C	30077	0.029	1997					C	30319	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	NC
21097							C	30079							C	30325			0.0148	2003	0.0261	2003	MC
21114	0.0005	1977	0.0001	2006	0.0005	1998	NC	30081	0.0001	1992	0.0008	1992	0.0006	1992	NC	30327							C
21117	0.0003	1993	0.0153	1993	0.0019	1992	NC	30084	0.0001	1993	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	NC	30336	< 0.0001	1997	0.0003	1997	0.0002	1997	NC
21129							C	30089			0.0293	1951			C	30337	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	NC
21142							C	30090	0.0041	1980	0.013	1981	0.0024	1981	NC	30338	< 0.0001	1992	< 0.0001	1992	< 0.0001	1992	NC
21143	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	NC	30093	0.0003	1985	0.006	1997	0.0018	1985	NC	30339	0.0099	1988	0.0004	1980	0.0038	1988	NC
21147	0.0072	1995	0.002	1995	0.005	1986	NC	30094	0.0225	1991			0.0396	1991	MC	30340	0.0043	1992	0.0014	1986	0.0029	1992	NC
21154							C	30097	< 0.0001	1990	0.0333	1964			MC	30342			0.0339	1980			C
21185							C	30098	< 0.0001	1983	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	NC	30345					0.044	1996	C
21201					0.0338	1984	C	30100			0.005	1999			C	30350	0.0391	1992					C
21209	0.0074	2000	0.001	2004	0.0055	2000	NC	30101					0.0237	1975	C	30351	0.0249	1984	0.0424	1984	0.0316	1984	NC
21211							C	30102	0.0007	1992	0.0054	1997	0.0025	1988	NC	30353	0.0031	1993			0.0016	1993	MC
21212	0.0042	1987			0.0012	1987	MC	30107	0.0248	1954	0.0221	1954	0.0093	1954	NC	30357	0.0128	2000			0.0036	2000	MC
21215	0.0125	1986	0.0022	1986	0.0022	1986	NC	30108	0.0038	1973	0.0436	1930	0.0105	1975	NC	30359	< 0.0001	1991	< 0.0001	1991	< 0.0001	1991	NC
21244	0.0001	1972	< 0.0001	1949	0.0001	1972	NC	30112	< 0.0001	1984	< 0.0001	1986	< 0.0001	1986	NC	30361							C
24009					0.0042	1991	C	30114	0.0028	1975	0.0115	1975	0.0016	1975	NC	30364	0.0002	1994	0.0005	1994	0.0002	1994	NC
24015	0.0001	1994	< 0.0001	1994	0.0001	1994	NC	30115							C	30371							C

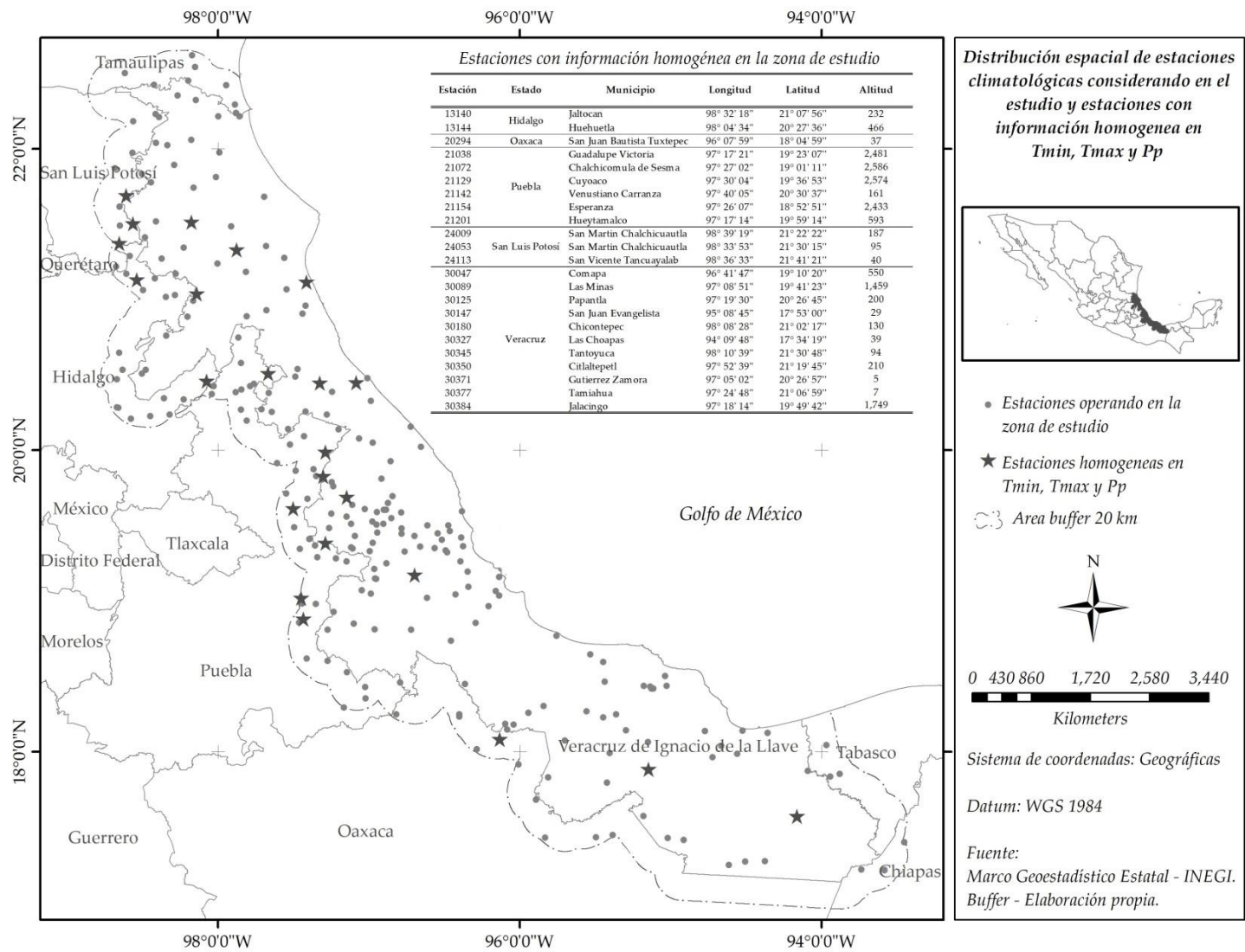


**Cuadro 6.** Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable  $Pp$  a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación	Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación	Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estandar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Clasificación				
	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio			Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio			Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio		Valor $p$	Año de cambio	Valor $p$	Año de cambio
	7020			0.007	1992	0.019			1988	MC	24113										30132						
7106							C	24122								30134	0.004	1976	0.0104	1993	0.0077	1985	NC				
7112							C	24200								30136			0.0019	2000	0.0529	1999	MC				
13011							C	27003	0.0002	1980	< 0.0001	1979	0.0001	1980	NC	30137	< 0.0001	1993			0.0001	1993	MC				
13015			0.033	1976			C	27015	0.0099	1984	0.0339	1984	0.0069	1984	NC	30140							C				
13034	0.0107	1985	0.0326	1941	0.0393	1978	NC	27037			0.0045	1948			C	30141							C				
13042	0.0012	1976	0.0198	1976	0.0047	1976	NC	28006			0.0049	2008			C	30143							C				
13061							C	28016							C	30147			0.0347	1970			C				
13093							C	28055			0.0051	2008			C	30148							C				
13095	< 0.0001	1996	< 0.0001	1997	< 0.0001	1996	NC	28111			< 0.0001	2008			C	30152							C				
13096							C	28125			0.0469	2006			C	30158							C				
13098			0.038	2010			C	28138							C	30160	0.0016	1993	0.0025	1993	0.0021	1993	NC				
13099							C	28147	0.0115	1994	0.0231	1994	0.0086	1994	NC	30163			0.0136	2003			C				
13135							C	28175							C	30165	< 0.0001	1987	< 0.0001	1989	<	1989	NC				
13137							C	30003							C	30166	0.002	1993	0.0003	2005	0.0013	1993	NC				
13139			0.0494	2010			C	30006							C	30167							C				
13140							C	30007							C	30169	0.0463	1972	0.0301	1972	0.0457	1972	NC				
13141							C	30008			0.010	1926			C	30171							C				
13144							C	30011			0.047	1957			C	30173							C				
13145							C	30012							C	30175			0.0032	1965			C				
20008							C	30013			0.0019	1948			C	30176							C				
20014			0.0012	1950			C	30016	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	NC	30177							C				
20017	0.0376	1983			0.0187	1983	MC	30019			0.0137	1961			C	30178							C				
20029							C	30021							C	30179					0.0129	1988	C				
20084			0.0033	1951			C	30022	0.022	1983					C	30180							C				
20113	0.03	1976			0.0391	1976	MC	30025							C	30185			0.0234	1948			C				
20152	0.0425	1981			0.0145	1981	MC	30026							C	30187					0.0144	1968	C				
20189					0.0171	1984	C	30032	0.0035	1995	0.0198	2007	0.011	1995	NC	30189							C				
20294							C	30033	0.0078	1983	0.0132	1983	0.0052	1983	NC	30191	0.0343	1968	0.021	1967	0.0278	1968	NC				
21009							C	30034	0.0477	1993	0.0009	2007	0.0313	1993	NC	30193			< 0.0001	1950	0.0026	1953	MC				

21018							C	30035			0.0352	1956		C	30195							C	
21022	0.0025	1982	0.0125	1982	0.006	1982	NC	30037	<0.0001	1982	0.0001	1985	<0.0001	1984	NC	30198		0.022	2008			C	
21023							C	30041							C	30201	0.0026	1981	0.0094	1981	0.001	1981	NC
21026	0.0072	1986	0.0095	1989	0.0219	1986	NC	30043	0.041	1989					C	30209	0.0094	1987				C	
21031	0.0261	1981			0.0178	1981	MC	30046							C	30211						C	
21032	0.005	1967	0.0168	1967	0.005	1967	NC	30047							C	30216						C	
21038							C	30048							C	30220						C	
21040			0.0033	2002	0.0494	2002	MC	30049							C	30224						C	
21043							C	30051							C	30264						C	
21051	0.0051	1984	0.0161	1986	0.0008	1986	NC	30054							C	30265						C	
21052							C	30055							C	30266		0.0004	1974			C	
21053					0.0446	1981	C	30056							C	30267		0.0149	1978			C	
21056							C	30058							C	30268	0.0191	1985	0.04	1985	0.0183	1985	NC
21059			0.0111	1954			C	30059			0.0236	1985	0.0117	1985	MC	30281						C	
21064	<0.0001	1993	0.0059	1997	0.0001	1993	NC	30066	0.0488	1954					C	30285						C	
21067							C	30067							C	30292						C	
21072			0.014	2007			C	30068	0.0071	1986			0.0066	1986	MC	30294		0.0075	1975	0.4119	1977	MC	
21073							C	30070			0.0034	1999	0.0097	1985	MC	30301	0.0119	1984	0.0359	1984	0.0175	1984	NC
21074							C	30071	<0.0001	1991	<0.0001	1991	<0.0001	1991	NC	30302						C	
21077	0.0283	1981	0.0496	1981	0.0158	1981	NC	30072			0.0197	1946			C	30304						C	
21084	0.0178	1991			0.0177	1991	MC	30074	0.0207	1965	0.0057	1958	0.0054	1963	NC	30311						C	
21091	0.0014	1944	0.0192	1944	0.0024	1961	NC	30076							C	30317						C	
21094							C	30077							C	30319						C	
21097	0.0015	1982	0.0032	1982	0.002	1982	NC	30079			0.0005	2003	0.0066	1995	MC	30325						C	
21114							C	30081	0.0002	1975	0.0003	1975	0.0001	1975	NC	30327						C	
21117	0.0218	1981			0.0421	1981	MC	30084	0.0001	1988	0.0003	1988	0.0002	1988	NC	30336						C	
21129							C	30089							C	30337		0.0003	2006	0.021	2005	MC	
21142							C	30090	0.0026	1983			0.0172	1983	MC	30338						C	
21143							C	30093							C	30339						C	
21147	0.0073	1986	0.0227	1986	0.0071	1986	NC	30094	<0.0001	1987	<0.0001	1987	<0.0001	1987	NC	30340						C	
21154							C	30097							C	30342						C	
21185	0.0126	1983	0.0049	1983	0.0054	1983	NC	30098							C	30345						C	
21201							C	30100	0.0125	1993	0.0001	1994	0.0006	1993	NC	30350						C	
21209	0.0445	1997			0.0192	1997	MC	30101							C	30351						C	
21211							C	30102			0.0209	1954	0.0342	1973	MC	30353						C	
21212							C	30107							C	30357						C	
21215	0.0114	1986	0.0027	1986	0.0089	1986	NC	30108			0.0038	1932			C	30359	0.0213	1999	0.0203	1986	0.0163	1999	NC
21244			0.0448	1949			C	30112	0.0418	1991	0.0047	1992	0.003	1991	NC	30361						C	
24009							C	30114							C	30364						C	





**Figura 3.** Distribución espacial de estaciones climatológicas consideradas en el estudio y estaciones con información homogénea en las variables de T<sub>min</sub>, T<sub>max</sub> y P<sub>p</sub>.

## Conclusiones

Si bien la implementación de pruebas fueron aplicadas a series de datos anuales, los resultados expuestos en el presente trabajo indican 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 con mayor nivel de detalle, es decir, para el caso en que se requieran estudios enfocados a una especie vegetal de interés deberán considerarse ciclos de cultivo (primavera-verano, otoño-invierno), en caso de realizar comparaciones de variación del clima a través de distintos años, lustros y/o décadas para identificar variaciones climáticas deberán considerarse periodos estacionales tales como primavera, verano, otoño e invierno, o bien, considerar periodos de interés específico en donde se requieran realizar estudios sobre alguno de los procesos que intervienen en el ciclo hidrológico tales como: evaporación, precipitación, transpiración, infiltración, percolación, afloramiento, almacenamiento y escurrimiento. En lo que corresponde a los datos de temperatura mínima ( $T_{min}$ ) y temperatura máxima ( $T_{max}$ ), el uso de ciclos o condiciones estacionales puede dar como resultado que las series de datos muestren comportamientos de homogeneidad, ya que se estarían considerando periodos con semejantes comportamientos de periodos de bajas y/o altas temperaturas.

Si bien las pruebas que aquí se desarrollaron para realizar la verificación de homogeneidad de las series climáticas del estado de Veracruz y estados vecinos han sido empleadas para el mismo fin en México, una aportación importante del presente trabajo, es la consideración de un proceso de validación espacial, el cual consistió en verificar registros de clima de cada estación con los de estaciones vecinas, siempre y cuando compartieran su ubicación con la misma unidad climática, proceso que es recomendable realizar previo a la aplicación de las pruebas de homogeneidad. Es importante señalar que, después de realizar las pruebas de homogeneidad, se debe considerar un proceso de homogeneización de bases de datos, especialmente a las estaciones que cuentan con datos Medianamente confiables y no confiables, cuyo proceso no fue abordado en este trabajo y que será desarrollado en el futuro junto con la identificación de una prueba de las abordadas en el presente

trabajo para identificar la de mayor potencia y robustez para el caso de información de clima en nuestro país.

En el presente trabajo se muestra como una propuesta que puede ser considerada en la validación de datos climáticos, no descarta la posibilidad de que sea complementaria o mejorada, incluso corregida, 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 certidumbre.

### **Agradecimientos**

Licenciado en Sistemas Computacionales Administrativos Moisés Fernando Cortina Cardaña. Por su apoyo en el desarrollo de las rutinas de programación para realizar la validación espacial de información climática.

Licenciada en Estadística Columba Falfán Castillo. Por el apoyo en el análisis de homogeneidad a las series de datos climáticos.

## Referencias

1. Ahmad, N.H. & Deni, S.M. (2013). Homogeneity test on daily rainfall series for Malaysia. *Matematika (Malaysia)*. 29; 141-150.
2. Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate*. 6, 661-675.
3. Alexandersson, H., & Moeberg, A. (1997). Homogeneization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*. 17, 25-34.
4. Buishand, T. A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*. 58, 11-27.
5. Cao, L.J. and Yan, Z.W. 2012. Progress in research on homogenization of climate data. *Advances in climate change research (China)* 3, 59-67.
6. CONAGUA -SMN. (2014). Estaciones Climatológicas en Google Earth. CONAGUA, Servicio Meteorológico Nacional. México: CONAGUA. Disponible en [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=42:normales-climatologicas-por-estacion&catid=16:general&Itemid=75](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42:normales-climatologicas-por-estacion&catid=16:general&Itemid=75).
7. Costa, A.C. & Soares, A. (2006). Identification in inhomogeneities in precipitation time series using SUR models an the Ellipse test. *In: Caetano, M. & Painho, M. (eds.). Proceedings of accuracy 2006. 7<sup>th</sup> International Syposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Enviromental Sciences*. Instituto Geográfico Portugues. p. 419-428.
8. 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.
9. Cruz T., D. A. (2013). Adaptación a cambio climático en el área protegida Sierra Gorda, Guanajuato. México, D.F., México: UNAM.
10. Dhorde, A.G. & Zarenistanak, M. (2013). Three-way approach to test data homogeneity: An analysis of temperatura and precipitation series over southwastern Islamic Republic of Iran. *Indian Geophysical Union (India)*. 17, 233-242.
11. 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.
12. García E., E. (2013). Analisis de la distribución de gastos máximos anuales. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Ingeniería Civil-Hidraulica. México, D.F. 197 p.
13. Guentchev, G.; Barsugli, J.J. & Eischeid, J. (2010). Homogeneity of gridded precipitation datasets for the Colorado river basin. *Journal of Applied Meteorology and Climatology (U.S.A)*. 49, 2404-2415.
14. INEGI. (2014). Información vectorial de unidades climáticas, escala 1:1 000 000. Aguascalientes, Aguascalientes, México.

15. Longobardi, A. & Villani, P. (2009). Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology* 30, 1538-1546.
16. López S., Y.; Sánchez T. E., G. y Vargas C., R. (2013). Caracterización climatológica de la cuenca baja del río bravo en Tamaulipas. 3er Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático, Tampico Tams., México. 12 p. Disponible en <http://cambioclimatico-tamaulipas.org/home/principal.php?page=congresos>
17. Naulier, M.; Savard, M.M.; Bégin, C.; Genanaretti, F.; Arseneault, D.; Marion, J.; Nicault, A. & Bégin, Y. (2015). A millennial summer temperature reconstruction for northeastern Canada using oxygen isotopes in subfossil trees. *Climate of the past (Germany)*. 11, 521-553.
18. Pérez, S.; Sierra, E.; López, E.; Nizzero, G.; Momo, F. & Massobrio, M. (2011). Abrupt changes in rainfall in the Eastern area of La Pampa Province, Argentina. *Theoretical and Applied Climatology (Germany)*. 103, 159-165.
19. Pettitt, A. N. (1979). A nonparametric approach to the change point detection. *Applied Statistics* 28, 126-135.
20. Ramirez G., M. E., & López T., Q. (1993). *Métodos estadísticos no paramétricos*. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
21. Schonwiese, C. D., & Rapp, J. (1997). Climate trend atlas of Europe based on observation 1891-1990. *International Journal Climatology*. 18, 580-598.
22. Steel, R. G., & Torrie, J. H. (1985). *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw-Hill Interamericana.
23. Stepánek, P.; Zahradnicek, P. & Farda, A. (2013). Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961-2010. *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (Hungary)*. 117, 123-141.
24. Tuomenvirta, H. (2001). Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series-Finnish and Nordic data. *International Journal of Climatology (England)*. 21, 495-506.
25. 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.
26. 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.