

VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA REGIÓN PACÍFICO NORTE DE MÉXICO

VARIABILITY OF RAINFALL IN THE NORTH PACIFIC REGION OF MÉXICO

Fernando García-Páez*, Isidro R. Cruz-Medina

Instituto Tecnológico de Sonora. Cinco de Febrero 818. 85000. Obregón, Sonora. (garpaez@uas.
uasnet.mx) (rcruz@itson.mx)

RESUMEN

Los cambios climáticos anuales y de un periodo a otro se pueden atribuir tanto a la variabilidad natural del clima como al cambio ocasionado por las actividades antropogénicas. Para determinar la significancia de los cambios observados en la Región III Pacífico Norte (RPN) se analizó la variabilidad pluviométrica de las precipitaciones diarias, mensuales y anuales de los registros históricos depurados de 74 estaciones climatológicas ubicadas en las 13 regiones climáticas de la RPN en el periodo 1921-2004. Se usaron análisis de varianza y la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medias y medianas de la intensidad de las lluvias en los últimos 25 y 10 años, contra sus registros anteriores. Se compararon las lluvias máximas de verano en dos periodos, hasta 1979 y de 1980-2004. La prueba de McNemar muestra ($p \leq 0.05$) que en los dos periodos aumentó la intensidad media de precipitación, y que la región climática con mayores cambios es la Bs1(h)w que incluye cuatro municipios de Chihuahua y cinco de Sinaloa. La prueba de McNemar mostró que no hay cambios ($p > 0.05$) en las lluvias máximas de verano de la RPN.

Palabras clave: Intensidad media y mediana de la precipitación, análisis de varianza, pruebas de Kruskal-Wallis y McNemar.

INTRODUCCIÓN

Las sequías e inundaciones se han atribuido al cambio climático provocado por las actividades antropogénicas. El objetivo del presente trabajo fue determinar si existen cambios significativos en el régimen pluviométrico de la Región Pacífico Norte (RPN) en el noroeste de México, mediante el análisis de la intensidad y distribución de las precipitaciones. La importancia de este trabajo radica en que el sector rural mexicano es vulnerable al cambio climático. No se ha determinado la distribución espacial y temporal del impacto del cambio climático en México y las regiones del noroeste están bajo presión por la escasez de agua, la que puede agravarse por la variabilidad en las lluvias debida al cambio climático.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Enero, 2007. Aprobado: Julio, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 43: 1-9. 2009.

ABSTRACT

Annual climatic changes and those from one period to another may be attributed to natural climate variability as well as to the change caused by anthropogenic activities. In order to determine the significance of the changes observed in Region III of the North Pacific (RPN), pluviometric variability of daily, monthly, and annual rainfall of the selected historical records of 74 weather stations was analyzed, located in the 13 climatic regions of the RPN in the period 1921-2004. Analyses of variance and the Kruskal-Wallis test were used to compare the means and medians of rainfall intensity in the last 25 and 10 years to their previous records. The maximum summer rainfalls in two periods were compared until 1979, and from 1980 to 2004. The McNemar test shows ($p \leq 0.05$) that in the two periods, rainfall mean intensity increased, and that the climatic region with the greatest changes is the Bs1(h)w region which includes four municipalities of Chihuahua and five of Sinaloa. The McNemar test demonstrated that there are no changes ($p > 0.05$) in the maximum summer rainfalls of the RPN.

Key words: Mean and median rainfall intensity, analysis of variance, Kruskal-Wallis and McNemar tests.

INTRODUCTION

Droughts and floods have been attributed to the climatic change provoked by anthropogenic activities. The objective of the present study was to determine if there are significant changes in the pluviometric regime of the North Pacific Region (RPN) in the northwest of Mexico through analysis of intensity and distribution of precipitations. The importance of this work lies in the fact that the Mexican rural sector is vulnerable to climatic change. Spatial and temporal distribution of the impact of climatic change in Mexico has not been determined, and the regions of the northwest are under pressure because of water shortage, which may become worse by the variability in rainfalls due to the climatic change.

Mosiño and García (1974) mention that in most of the Mexican weather stations more than 70% of the annual rainfall is collected from May to October. They conclude that the country is characterized by a

Mosiño y García (1974) mencionan que en la mayoría de las estaciones climatológicas de México se recibe más de 70% de la precipitación anual de mayo a octubre. Ellos concluyen que el país se caracteriza por un régimen de precipitación estacional debido, entre otras causas, a la presencia de eventos climáticos como El Niño, La Niña, el monzón mexicano, la oscilación decadal del Pacífico, huracanes y tormentas tropicales. El Niño se manifiesta en Baja California Norte y Sonora con aumentos en las lluvias invernales; sin embargo, Magaña *et al.* (1999) mencionan que este fenómeno causa una disminución de la precipitación media en el verano en México, y Douglas y Englehart (1997) lo relacionan con las lluvias de verano en México.

El monzón mexicano en el noroeste de México se presenta de junio a septiembre. Esta actividad convectiva en los Golfos de California y México aumenta las lluvias en julio, con mayor incidencia al pie de la Sierra Madre Occidental y las disminuye en la zona costera (Douglas *et al.*, 1993). El aumento coincide con el del transporte vertical de humedad por convección (Douglas *et al.*, 1993) y con la presencia de vientos del sur que fluyen hacia la parte alta del Golfo de California (Badan-Dangon *et al.*, 1991).

La variabilidad interanual de la lluvia de verano en México se ha evaluado mediante la teleconectividad entre las series de lluvias regionales y varios índices de variabilidad oceanográfica y atmosférica de gran escala. Uno de ellos es un índice asociado a El Niño, y otros que describen la posición e intensidad del cinturón subtropical de altas presiones. Los análisis de teleconexión consideran el modo de variabilidad cuasi-decadal conocida como oscilación decadal del Pacífico (Englehart y Douglas, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

La superficie de la RPN es 152 000 km² (8% de la superficie mexicana), incluye al estado de Sinaloa y porciones de los estados de Durango, Chihuahua, Nayarit y Zacatecas, con una población de 3.8 millones de habitantes.

La RPN incluye 13 cuencas, desde el río Fuerte en el norte de Sinaloa hasta el río San Pedro en el norte de Nayarit. Para identificar cambios en el régimen pluviométrico se analizaron los datos de precipitación diaria de 74 estaciones. La base de datos se conformó con información digital del ERIC II (IMTA, 2000; Extractor Rápido de Información Climatológica), reportes mensuales de la Comisión Nacional del Agua y registros del Servicio Meteorológico Nacional. La información se depuró y actualizó hasta 2004. La depuración consistió en seleccionar sólo las series con 20 o más años de registros completos y verificar si los datos extraordinarios eran compartidos por estaciones cercanas, y si correspondían a la presencia de ciclones. La densidad de la

seasonal rainfall pattern, due, among other reasons, to the presence of climatic events like El Niño, La Niña, the Mexican monsoon, the Pacific decadal oscillation, hurricanes, and tropical storms. El Niño manifests itself in Baja California Norte and Sonora with increments in winter rainfalls; nevertheless, Magaña *et al.* (1999) state that this phenomenon causes a diminution of mean rainfall in the summer in Mexico, and Douglas and Englehart (1997) relate it with the summer rainfall in Mexico.

The Mexican monsoon appears in the northwest of Mexico from June to September. This convective activity in the Gulfs of California and Mexico increases the rainfalls in July with higher incidence at the foot of the Sierra Madre Occidental and diminishes them in the coastal zone (Douglas *et al.*, 1993). The increase coincides with the vertical transport of humidity by convection (Douglas *et al.*, 1993) and with the presence of southern winds, which flow towards the high part of the Gulf of California (Badan-Dangon *et al.*, 1991).

The interannual variability of summer rain in Mexico has been evaluated by teleconnectivity among the series of regional rainfalls and various indices of oceanographic and atmospheric variability on a large scale. One of them is an index associated to El Niño, and others that describe position and intensity of the subtropical belt of high pressures. The analyses of teleconnection consider the way of quasi-decade variability, known as Pacific decadal oscillation (Englehart and Douglas, 2002).

MATERIALS AND METHODS

The area of the RPN covers 152 000 km² (8% of the Mexican surface area), including the state of Sinaloa and portions of the states of Durango, Chihuahua, Nayarit, and Zacatecas with a population of 3.8 million inhabitants.

The RPN includes 13 basins, from the river Fuerte in the North of Sinaloa to the river San Pedro in the North of Nayarit. In order to identify changes in the pluviometric pattern, the data of daily rainfalls of 74 stations were analyzed. The data base was made up of digital information of the ERIC II (IMTA, 2000: Extractor Rápido de Información Climatológica or Fast Extractor of Climatologic Information), monthly reports of the National Water Commission and records of the National Meteorological Service. The information was selected and brought up to date until 2004. The selection process consisted in selecting only the series with 20 or more years of complete records and verifying if the outliers were shared by close stations and if they corresponded to the presence of cyclones. Information density in the RPN stations was analyzed with respect to the number of months with complete records per year (Figure 1) and to the number of years with complete records (stations with fewer than 20 years of complete

información en las estaciones de la RPN fue analizada con respecto al número de meses con registros completos por año (Figura 1) y al número de años con registros completos (las estaciones con menos de 20 años de registros completos fueron eliminadas). En la Figura 2 se muestran los años de registros completos por estación para Sinaloa.

Las estaciones se clasificaron de acuerdo con las regiones climáticas de la RPN (Cuadros 1 y 2). Para cada estación se calcularon las medias, medianas y varianzas de las lluvias diarias, mensuales, anuales, y la intensidad de la precipitación diaria (precipitación mensual entre el número de días lluviosos, mm d^{-1}), así como los máximos mensuales y anuales de la precipitación.

La variación de la precipitación en el tiempo y espacio puede asociarse a fenómenos extremos de la naturaleza y a los cambios climáticos inducidos por el hombre. Sin embargo, Peixoto y Oort (1992) consideran que la variación de la precipitación está más relacionada con efectos de escala local que con movimientos de circulación global.

Para determinar si existen cambios en los regímenes pluviométricos de las estaciones de la RPN, se compararon los registros de los últimos 25 y 10 años con los datos previos a estos periodos (Cuadro 3). En cada grupo se compararon las intensidades de

records were eliminated). The years of complete records per station for Sinaloa are shown in Figure 2.

The stations were classified according to the climatic regions of the RPN (Tables 1 and 2). For each station the means, medians, and variances of the daily, monthly, and annual rainfalls were obtained, as well as the intensity of daily rainfall (monthly precipitation divided by the number of rainy days, mm d^{-1}) and the monthly and annual maxima of precipitation.

Precipitation variation in time and space may be associated to extreme phenomena of nature and to the climatic changes induced by man. However, Peixoto and Oort (1992) consider that variation of precipitation is more related to the effects of local scale than to movements of global circulation.

In order to determine if there are changes in the pluviometric patterns of the RPN stations, the records of the last 25 and 10 years were compared with the data previous to these periods (Table 3). In each group the intensity of annual rainfalls was compared by means of a parametric analysis of variance (mean) and nonparametric (median), with one factor of classification (periods), with the Minitab® program (2003).

In the parametric A of V (analysis of variance) the records of each period were considered as independent random samples (of

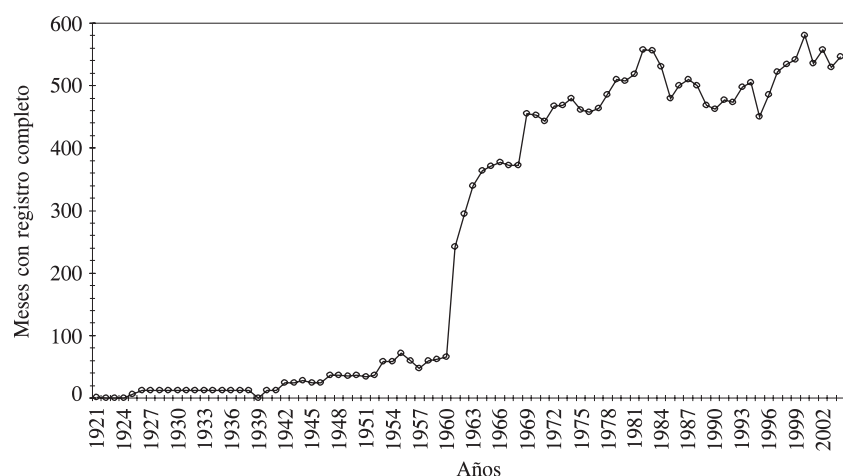
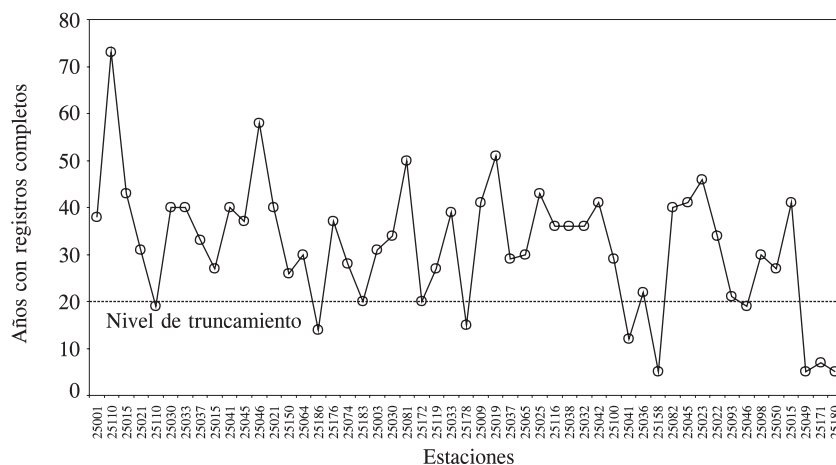


Figura 1. Inventario de información de todas las estaciones en la RPN.

Figure 1. Inventory of information from all the weather stations in the RPN.

Figura 2. Inventario de información por estación en Sinaloa.
Figure 2. Inventory of information per station in Sinaloa.



Cuadro 1. Regiones climáticas en la Región Pacífico Norte (RPN).
Table 1. Climatic regions in the North Pacific Region (RPN).

Región climática	Área %	Número de estaciones	Descripción del clima
Cb'(w2)x'	4.05	3	Templado húmedo con inviernos benignos, veranos frescos, temperatura media del mes más caliente menor de 22 °C y precipitación mayor a 10.2 mm.
C(w2)	1.35	1	Clima templado, subhúmedo, con lluvias de verano, con temperatura media anual de 13.2 °C y la temperatura del mes más frío menor de 10.9 °C y la del mes más cálido de 15.4 °C.
C(w1)x'	24.32	18	Clima templado, en alturas sobre el nivel del mar de 2000 a 2800 m, precipitación invernal mayor que 10.2 mm y temperatura media anual de 16 °C.
BS1(h')w	17.57	13	Clima semiseco (semiáridos y esteparios) muy cálido con lluvias en verano y precipitaciones entre 5 y 10.2 mm.
Bso(h')w	8.11	6	Clima seco con lluvias en verano y escasas durante el año, temperatura de todos los meses mayor que 18 °C.
BW(h')w	4.05	3	Clima seco con lluvias en verano y precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm.
AWo	16.22	12	Climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano y lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm; la temperatura del mes más frío es superior a 18 °C.
AW1	8.11	6	Climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano y precipitación del mes más seco menor de 60 mm; la temperatura del mes más frío es superior a 18 °C.
(A)C(W2)	5.41	4	Climas semicálidos y subhúmedos con lluvias en verano y precipitación del mes más seco menor de 60 mm.
CW2	2.7	2	Clima templado, pero el más húmedo de los subhúmedos, con una temporada lluviosa marcada en el verano y otra en invierno y cuyo cociente P/T (Precipitación/Temperatura) es mayor de 55. La precipitación media anual es 970.6 mm. La temperatura media anual es 14.6 °C y la temperatura del mes más frío es 11.6 °C. El verano es fresco y largo; la temperatura media del mes más caliente es 22 °C.
(A)C(Wo)	1.35	1	Semicálido, el más fresco de los cálidos, con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con presencia de canícula, % de lluvia invernal menor de cinco, verano fresco y largo.
Cb'(w2)	5.41	4	Templado húmedo con inviernos benignos, veranos frescos, temperatura media del mes más caliente menor de 22 °C y los máximos de las lluvias son en otoño.
BS1kw	1.35	1	Climas semisecos con lluvias en verano y escasas a lo largo del año; precipitación invernal de 5 a 10.2 mm.

Fuente: Las Regiones Climáticas de México. Instituto de Geografía. UNAM. Marzo 2005.

lluvias anuales por medio de un análisis de varianza paramétrico (media) y no paramétrico (mediana) con un factor de clasificación (periodos), utilizando el programa Minitab® (2003).

En el A de V paramétrico, los registros de cada período se consideraron muestras aleatorias independientes (de tamaños n_1 y n_2) de dos poblaciones con medias poblacionales μ_1 y μ_2 , para probar la hipótesis: $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (no hay diferencias en las medias de los periodos) contra $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ (las medias son diferentes). Estas hipótesis se contrastaron con el procedimiento de un solo criterio de clasificación de Minitab. Dado que el A de V paramétrico supone que la variable tiene distribución normal, y la lluvia usualmente no sigue esta distribución, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medianas de las poblaciones; esta prueba hace un A

size n_1 and n_2) of two populations with population means μ_1 and μ_2 , to prove the hypotheses: $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (there are no differences in the means of the periods) against $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ (means are different). These hypotheses were tested with the one way classification procedure of Minitab. Given that the parametric A of V assumes that the variable has normal distribution and rainfall usually does not follow this distribution, the Kruskal-Wallis test was applied to compare the population medians; this test makes an A of V with the ranks of the observations, or equivalently, uses statistic H (Kanji, 2005):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left[\sum \frac{R_i^2}{N_i} \right] - 3(N+1) \quad (1)$$

Cuadro 2. Clasificación de las estaciones climatológicas de acuerdo con las regiones climáticas, municipio y estado.
Table 2. Classification of weather stations according to climatic regions, municipality, and state.

Región climática	Est.	Nombre	Municipio	Edo.	Región climática	Est.	Nombre	Municipio	Edo.
Cb'(W2)x'	8266	Batovira	Maguarichi	Chih	Bw(H')w	25003	Ahome	Ahome	Sin
"	8269	La Lajita	Morelos	Chih	"	25022	El Carrizo	Ahome	Sin
"	8297	Creel	Bocoyna	Chih	"	25042	Higuera de Z.	Ahome	Sin
C(W1)x'	8272	Norogachic	Guachochi	Chih	"	25116	Los Mochis	Ahome	Sin
Bs1(H')w	8191	Urique Pueblo	Urique	Chih	"	25065	Mochicahui	El Fuerte	Sin
"	8043	Chinipas	Chinipas	Chih	"	25098	Topolobampo	Ahome	Sin
"	8124	San Ignacio	Batopilas	Chih	C(W2)	10018	El Cantil	Papasquiario	Dgo
"	8259	Tubares	Urique	Chih	"	8022	Cerocahui	Urique	Chih
"	8073	Guadalupe y Calvo	Gpe. y Calvo	Chih	"	25093	Surutato	Badiraguato	Sin
"	25005	Bacurato	Sinaloa	Sin	Awo	25044	Huites	Choix	Sin
"	25007	Bamicori	El Fuerte	Sin	"	25100	Yecorato	Choix	Sin
"	25015	Culiacán	Culiacán	Sin	"	25001	Acatitán	San Ignacio	Sin
"	25019	Choix Estación	Choix	Sin	"	25110	Badiraguato	Badiraguato	Sin
"	25025	El Mahone	El Fuerte	Sin	"	25076	Baluartes II	Rosario	Sin
"	25176	El Quemado	Mazatlán	Sin	"	25074	Concordia	Concordia	Sin
"	25033	El Varejonal	Badiraguato	Sin	"	25041	Guaténipa II	Badiraguato	Sin
"	25046	Jaina	Sinaloa	Sin	"	25045	Ixpallino	San Ignacio	Sin
"	25158	El Palmar de los S	Sinaloa	Sin	"	25150	Las Tortugas	Rosario	Sin
"	25064	Mocorito	Mocorito	Sin	"	25186	Otatitán	Rosario	Sin
"	25071	Pericos	Mocorito	Sin	"	25172	Sanalona II	Culiacán	Sin
"	25077	Rosa Morada	Mocorito	Sin	"	25119	Siqueros	Mazatlán	Sin
"	25087	Sta. Cruz de A.	Cosalá	Sin	Cb'(W2)x	8267	El Vergel	Balleza	Chih
Bso(H')w	25164	Alto Culiacancito	Culiacán	Sin	"	10125	La Rosilla	Guanaceví	Dgo
"	25009	Bocatoma Sufragio	El Fuerte	Sin	"	10121	Los Altares	Papasquiario	Dgo
"	25021	Dimas	San Ignacio	Sin	"	10050	O. Camellones	Canelas	Dgo
"	25023	El Fuerte	El Fuerte	Sin	"	10037	La Huerta	Topia	Dgo
"	25030	El Playón	Angostura	Sin	"	10087	Vascogil	Canelas	Dgo
"	25032	El Sabino	El Fuerte	Sin	Aw1	25183	Comedero	Cosalá	Sin
"	25037	Guamúchil	S. Alvarado	Sin	"	25181	N. Señora	Cosalá	Sin
"	25038	Guasave P.C.I.	Guasave	Sin	"	25049	La Concha	Escuinapa	Sin
"	25050	La Cruz	Elota	Sin	"	25036	Gpe.los Reyes	Cosalá	Sin
"	25056	Las Estacas	El Fuerte	Sin	(A)c(Wo)	10031	Huahuapan	San Dimas	Dgo
"	25171	Navolato	Navolato	Sin	Bs1kw	10148	El Real	Tamazula	Dgo
"	25080	Ruiz Cortines	Guasave	Sin	Cb'(W2)	10160	Agua Blanca	San Dimas	Dgo
"	25082	San Blas	El Fuerte	Sin	"	10064	San Dimas	San Dimas	Dgo
"	25178	Zopilote	Guasave	Sin	"	10042	Las Truchas	Durango	Dgo
(A)c(W2)	10003	Canelas	Canelas	Dgo	"	10038	La Peña	Pueblo Nuevo	Dgo
"	10122	San Diego D T.	Stgo. Papasquiar	Dgo					

de V con los rangos de las observaciones o , en forma equivalente, usa la estadística H (Kanji, 2005):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left[\sum \frac{R_i^2}{N_i} \right] - 3(N+1) \quad (1)$$

donde, N es el número total de observaciones y R_i la suma de los rangos de las N_i observaciones del tratamiento o grupo i .

La hipótesis nula se rechaza cuando H excede un valor crítico y la prueba se hizo con Minitab. Como la región en estudio es grande, se esperan aumentos de la precipitación en algunas estaciones y decrementos en otras. Si el número de estaciones con aumentos es similar al de estaciones con decrementos se puede concluir que no hay cambios en el régimen; para la comparación del número de cambios se aplicó la prueba de McNemar (Conover,

where N is the total number of observations and R_i the sum of ranks of the N_i observations of the treatment or group i .

The null hypothesis is rejected when H exceeds a critical value. This test was made with Minitab. Since the region under study is large, increases of precipitation is expected at some stations and decreases at others. If the number of stations with increase is similar to that of stations with decrease, it can be concluded that there are

Cuadro 3. Periodos de comparación de registros.
Table 3. Periods for comparison of records.

Periodos (últimos años)	Periodo 1 (datos)	Periodo 2 (datos)
10	Anteriores a 1995	1995-2004
25	Anteriores a 1980	1980-2004

1999), que considera sólo las estaciones con cambios significativos entre los dos periodos; la estadística de prueba es:

$$T_1 = \frac{(b - c)^2}{b + c} \quad (2)$$

donde, b es el número de estaciones donde la precipitación del primer periodo es significativamente mayor a la del segundo periodo; c es el número de estaciones donde la precipitación del primer periodo es significativamente menor a la del segundo. La hipótesis nula se rechaza cuando la estadística T_1 es mayor que un valor crítico.

Para probar la hipótesis de que las lluvias máximas de verano varían en la RPN para el periodo anterior a 1980 con respecto al periodo 1980-2004, se obtuvieron los máximos de las precipitaciones mensuales de junio, julio, agosto, septiembre y octubre para cada año y para cada estación, para cada periodo. Se seleccionan 50 registros máximos que se compararon con un A de V y con la prueba de Kruskal-Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación promedio

La precipitación media anual de 1921 a 2004 de la RPN fue 694.73 mm, que equivale a un volumen de 121 982 millones m^3 . La distribución promedio mensual (Figura 3), fue 85% de junio a octubre, 12% de noviembre a enero y el 3% restante de febrero a mayo. Así, la RPN tiene dos épocas de lluvias principales: verano e invierno.

Las isoyetas muestran que la distribución espacial de la lluvia describe franjas paralelas a la costa (Figura 4) donde ocurren las precipitaciones mínimas, y las máximas ocurren en las partes altas. Las precipitaciones decrecen de sur a norte.

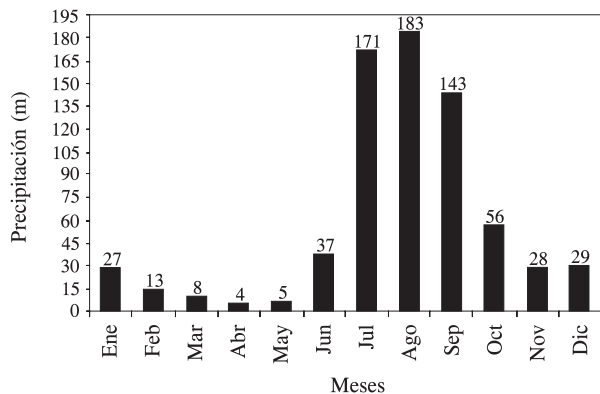


Figura 3. Precipitación promedio mensual 1921-2004.
Figure 3. Annual mean precipitation 1921-2004.

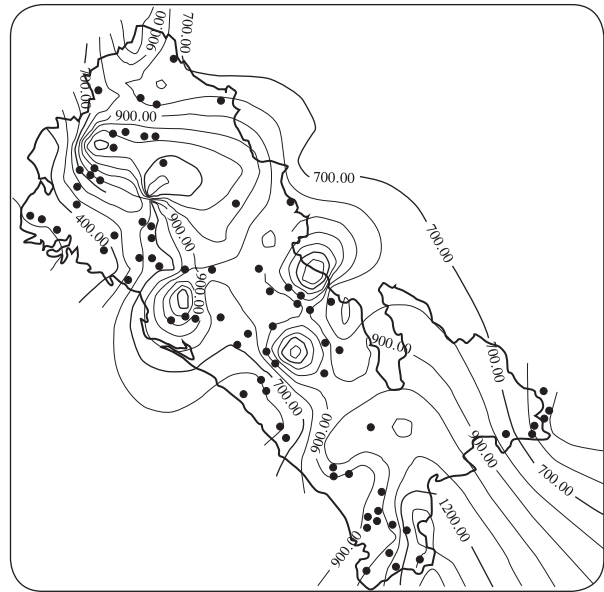


Figura 4. Isoyetas de la Región III Pacífico Norte (1921-2004).
Figure 4. Isohyets of North Pacific Region III (1921-2004).

no changes in the pattern; for the comparison of the number of changes, the McNemar test was applied (Conover, 1999), which only considers the stations with significant changes between the two periods; the test statistic is:

$$T_1 = \frac{(b - c)^2}{b + c} \quad (2)$$

where b is the number of stations with rainfall of the first period significantly higher than that of the second period; c is the number of stations where the rainfall of the first period is significantly less than that of the second period. The null hypothesis is rejected when the T_1 statistic is greater than a critical value.

In order to test the hypothesis that the maximum summer rainfalls vary in the RPN for the period previous to 1980 with respect to the period 1980-2004, the greatest monthly precipitations of June, July, August, September, and October for each year and each station were obtained for each period. Fifty maximum records were selected and compared using an analysis of variance and the Kruskal-Wallis test.

RESULTS AND DISCUSSION

Mean precipitation

Annual mean precipitation from 1921 to 2004 of the RPN was 694.73 mm, which is equivalent to a volume of 121 982 million m^3 . The average monthly distribution (Figure 3) was 85% from June to October, 12% from November to January, and the remaining

Comparación de las intensidades medias y medianas de la precipitación

Los hietogramas de las intensidades de lluvia muestran diferentes patrones de distribución temporal en la RPN. En la Figura 5 se muestra hietogramas de Chihuahua, Durango y Sinaloa. La comparación de las medias y medianas de las intensidades en los periodos elegidos, muestra que de 1980 a 2004 hubo aumentos en 30 estaciones (la región climática con mayores incrementos corresponde a la Bs1(h)w; Figura 6) y 12 registraron decrementos significativos ($p \leq 0.05$) con

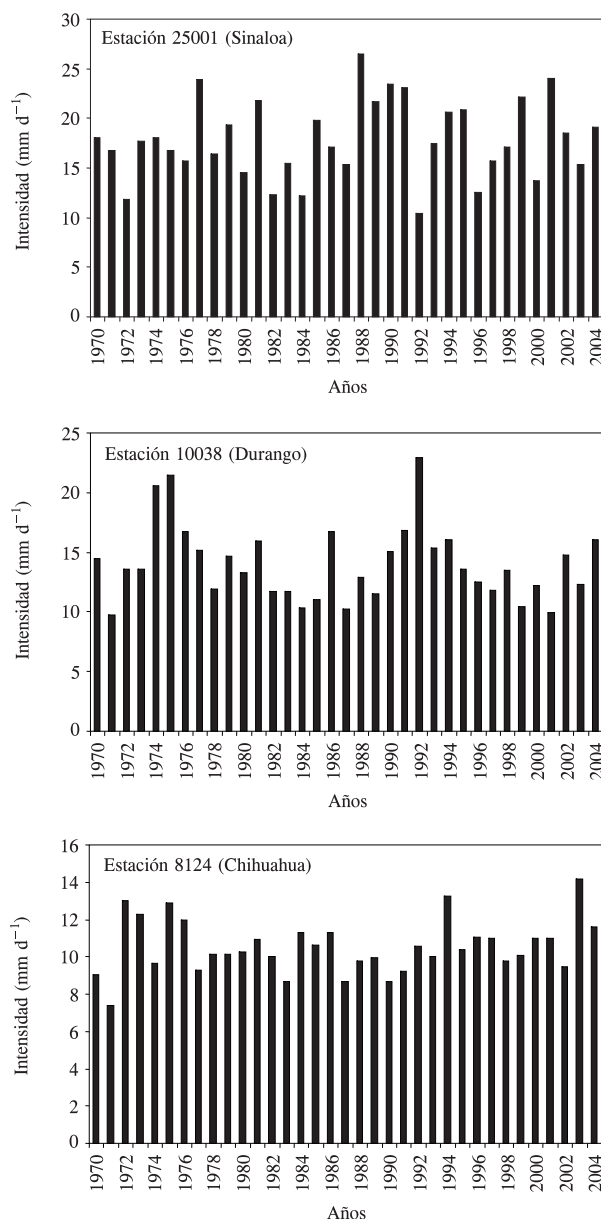


Figura 5. Hietogramas de intensidades (mm d⁻¹).
Figure 5. Intensity hyetograms (mm d⁻¹).

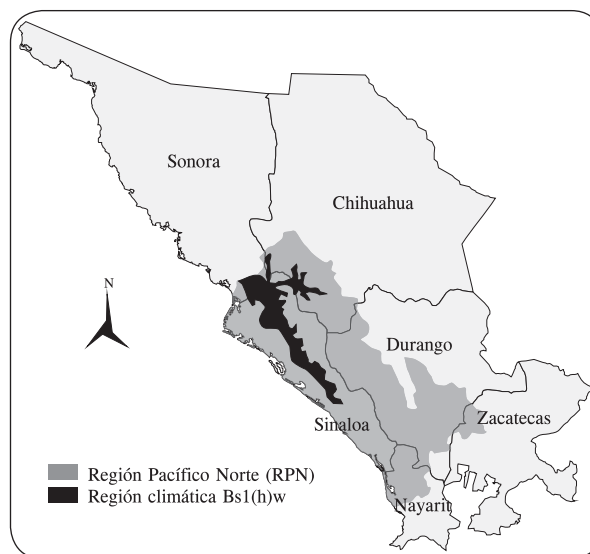


Figura 6. Región climática Bs1(h)w con mayores incrementos de media y mediana.

Figure 6. Climatic region Bs1(h)w with the greatest mean and median increases.

3% from February to May. Thus, the RPN has two main rainy seasons: summer and winter.

The isohyets show that the spatial rainfall distribution describes strips parallel to the coast (Figure 4), where the minimum precipitations occur, the maximum rainfalls occur in the highlands. Precipitations decrease from south to north.

Comparison of mean and median intensities of precipitation

The hyetograms of rainfall intensities show different patterns of temporal distribution in the RPN. Hyetograms of Chihuahua, Durango, and Sinaloa are shown in Figure 5. The comparison of means and medians of intensities in the chosen periods shown that from 1980 to 2004 there was increase at 30 stations (the climatic region with the highest increase corresponds to the Bs1(h)w; Figure 6) and 12 recorded significant decreases ($p \leq 0.05$) with respect to the period previous to 1980. For the period from 1995 to 2004 there were increases at 23 stations (six in the climatic zone Bs0(h)w) and significant diminutions ($p \leq 0.05$) at 13 stations (Table 4).

If the number of stations with increase, in the previous description, is similar to that of the stations with decrease in intensities, there would be no elements to conclude that there is a change in the pluviometric regime of the RPN. Based on the McNemar test (Conover, 1999) it was determined that the number of stations with increase is considerably larger ($p \leq 0.05$)

respecto al periodo anterior a 1980. Para el periodo 1995 a 2004 hubo incrementos en 23 estaciones (seis en la zona climática Bs0(h)w) y disminuciones significativas ($p \leq 0.05$) en 13 (Cuadro 4).

En la descripción anterior, si el número de estaciones con aumentos es similar al de estaciones con decrementos en las intensidades, no se tendrían elementos para concluir que hay un cambio en el régimen pluviométrico de la RPN. Con la prueba de McNemar (Conover, 1999) se determinó que el número de estaciones con incrementos es significativamente mayor ($p \leq 0.05$) al número de estaciones con decrementos en los últimos 10 años. Esta prueba permite concluir que la media y la mediana de la intensidad de lluvia ha aumentado en la RPN en los últimos 10 años.

Las lluvias máximas de verano en 21 estaciones, las medias y medianas de la precipitación del periodo 1980-2004, disminuyeron; y en 23 estaciones se incrementaron significativamente ($p \leq 0.05$) (Cuadro 5).

El número de estaciones con aumentos es similar al de aquellas con decrementos en las medias y medianas de las lluvias máximas. Según la prueba de McNemar aplicada a estos cambios, el número de estaciones con incrementos es estadísticamente similar al de estaciones con decrementos; por tanto, se concluye que las lluvias máximas de verano en la RPN no se han modificado.

CONCLUSIONES

Los cambios en las precipitaciones de la Región Pacífico Norte de México fueron analizados usando los

Cuadro 4. Comparación de intensidades por periodo.
Table 4. Comparison of intensity per period.

Región	1980-2004			1995-2004		
	A [†]	D [‡]	I [§]	A	D	I
Cb(w2)x	2	1		3		
Bs1(h)w	10		6	7	2	7
Bs0(h)w	5	5	3	6	3	4
Bw(h)w	4	1	1	3	3	
Cw2	1	1	1	1		2
Aw0	5	1	5		2	9
Cb(w2)x'	2		4	2	1	3
Aw1			2		1	3
Acw2		2		1	1	1
Acw0			1			1
Cbw2	1	1	1			2
Bs1Kw			1			
SUMAS	30	12	25	23	13	32

[†] Aumento de la intensidad media.

[‡] Disminución de la intensidad media.

[§] Igualdad en la intensidad media.

Cuadro 5. Resultados de las variaciones de las lluvias de verano.
Table 5. Results of summer rainfall variations.

Región	Prueba de Kruskal-Wallis				A de V			
	95%		99%		95%		99%	
	D [†]	I [‡]	D	I	D	I	D	I
Cb(w2)x	3		3		3		3	
Bs1(h)w	8	8	7	9	12	4	8	8
Bs0(h)w	8	5	5	8	9	4	7	6
Bw(h)w	4	2	3	3	4	2	3	3
Cw2	1	2	1	2	2	1	2	1
Aw0	9	3	9	3	7	5	4	8
Cb(w2)x'	3	3	2	4	4	1	4	1
Aw1	2	2	2	2	1	3	1	3
Acw2	2		1	1	2		2	
Acw0	1		1		1		1	
Cbw2	3	1	1	3	3	1	3	1
Bs1Kw		1		1		1		1
Sumas	44	27	35	36	49	21	39	31

[†] Diferencias en el valor de la media.

[‡] Igualdad de medias.

than the number of stations with decrease during the last 10 years. With this test, it can be concluded that the mean and median of rainfall intensity has increased in the RPN in the last 10 years.

The means and medians of the maximum summer precipitation at 21 stations, of the period 1980-2004, diminished; and at 23 stations they increased significantly ($p \leq 0.05$) (Table 5).

The number of stations with increase in means and medians in the maximum precipitation is similar to those with decrease. According to the McNemar test applied to these changes, the number of stations with increases is statistically similar to that of the stations with decrease; therefore, it is concluded that the maximum summer rainfalls in the RPN have not changed.

CONCLUSIONS

The changes in the precipitations of the North Pacific Region of Mexico have been analyzed, using selected records of 74 weather stations, with complete records of more than 19 years during the period 1921-2004. It was found that 85% of the rainfalls occur from June to October, 12% from November to January, and 3% in the remaining months.

Increments in means and medians of daily rainfall intensity were detected for the decade 1994-2004. Furthermore, as the annual mean precipitation in the RPN has not changed, it can be concluded that the number of rainfalls has diminished, but their intensity has grown. Changes in means and median of the

registros depurados de 74 estaciones climatológicas, con registros completos de más de 19 años, durante el periodo 1921-2004. Se encontró que 85% de las precipitaciones ocurren de junio a octubre, 12% de noviembre a enero y 3% en los meses restantes.

Se detectaron incrementos en las medias y medianas de la intensidades de lluvia diaria para la década 1994-2004. Además, como los promedios anuales de la precipitación en la RPN no han cambiado, se concluye que el número de lluvias ha disminuido pero su intensidad ha aumentado. No se detectaron cambios en las medias y medianas de los máximos de las lluvias de verano. La zona con mayores cambios en las intensidades de lluvia es la región Bs1(h)w que incluye nueve municipios (cuatro de Chihuahua y cinco de Sinaloa).

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua, al Servicio Meteorológico Nacional y a la Universidad Autónoma de Sinaloa por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Badan-Dangon, A., C. E. Dorman, M. A. Merrifield, and C. D. Winant, 1991. The lower atmosphere over the Gulf of California. *J. Geophysical Res.* 96: 16877-16896.
- Conover W. J. 1999. *Practical Nonparametric Statistics*. Third Edition, John Wiley and Sons, Inc. NY. 584 p.
- Douglas, W. M., R. A. Maddox, and K. Howard. 1993. The Mexican Monsoon. *Am. Meteorological Soc.* 6(8): 1665-1677.
- Douglas, A. V., and P. J. Englehart. 1997. Inter-monthly variability of the Mexican summer monsoon. *Twenty Second Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop*. NOAA. USA. 207 p.
- Englehart, P. J., and A. V. Douglas 2002. México's summer rainfall patterns: an analysis of regional models and changes in their teleconnectivity. *Atmósfera* 15: 147-164.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2000. *Extractor Rápido de Información Climatológica ERIC II*. CD ROM. México.
- Kanji, G. K. 2005. *100 Statistical Tests*. Sage publications. London. 215 p.
- Magaña, V. O., J. L. Pérez, C. Conde, C. Gay, y S. Medina. 1999. El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México. *Departamento de Meteorología General, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México*. México. 13 p.
- Minitab Inc. 2003. *Meet Minitab*. State College PA. USA. 79 p.
- Mosiño, P., and E. García. 1974. The climate of Mexico. *Climates of North America. World Survey of Climatology* 11: 345-404.
- Peixoto, J. P., and A. H. Oort. 1992. *Physics of Climate*. Ed. American Institute of Physics. N. Y. USA. 520 p.

—End of the English version—

