

# AJUSTE REGIONAL DE LA DISTRIBUCIÓN *GVE* EN 34 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE LA ZONA HUASTECA DE SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

## REGIONAL FIT OF *GEV* DISTRIBUTION IN 34 PLUVIOMETRIC STATIONS OF THE HUASTECA AREA IN SAN LUIS POTOSÍ STATE, MÉXICO

Daniel F. Campos-Aranda

Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Genaro Codina # 240. 78280 San Luis Potosí, San Luis Potosí. (campos\_aranda@hotmail.com)

### RESUMEN

El análisis probabilístico regional de las lluvias máximas diarias anuales representa la base de las estimaciones de crecientes cuando no hay información hidrométrica. Los métodos regionales definen con mayor exactitud la cola derecha de la distribución de probabilidades, la cual permite realizar las predicciones de lluvia. El presente estudio está basado en información de 34 estaciones pluviométricas de la zona Huasteca de San Luis Potosí, que cuentan con más de 30 años de registro. La metodología consiste en aplicar cuatro procedimientos de ajuste regional de la distribución General de Valores Extremos (*GVE*), basados en el método de los momentos L: 1) método de las estaciones-años; 2) ajuste por momentos de probabilidad pesada ponderados; 3) método de los valores estandarizados medianos; 4) ajuste por momentos L regionales. Se concluye que los métodos regionales expuestos son confiables y que los dos procedimientos desarrollados (3 y 4) permiten acotar las predicciones.

**Palabras clave:** Métodos regionales, momentos L, precipitación máxima diaria.

### INTRODUCCIÓN

El análisis probabilístico de la precipitación máxima diaria es la base de las estimaciones de las tormentas de diseño cuando no hay registros pluviográficos y se realiza un estudio hidrológico de la relación lluvia-escorrentía para estimar las crecientes de diseño, porque tampoco hay información hidrométrica. El método de análisis consiste en ajustar un modelo probabilístico a partir de los datos históricos disponibles, para realizar las predicciones requeridas. El ajuste permite estimar los parámetros de escala, ubicación y forma de tal modelo, cuya exactitud depende del número de datos y de la posibilidad de modelar el extremo derecho de la distribución, donde ocurren los eventos extremos máximos y donde están las predicciones que interesan por estar asociadas a

### ABSTRACT

The regional probabilistic analysis of annual maximum daily rainfall represents the base of the estimations of flooding when there is no hydrometric information. The regional methods define more precisely the right tail of the distribution of probabilities, which makes it possible rainfall predictions. The present study is based on information of 34 pluviometric stations of the Huasteca area in San Luis Potosí, which have over 30 years of records. The methodology consists in applying four procedures of regional fit of the General Extreme Values distribution (*GEV*), based on the method of the L moments: 1) stations-years method; 2) fit by moments of weighted heavy probability; 3) method of the median standardized values; 4) fit by regional L moments. It is concluded that the regional methods shown are reliable and that both procedures developed (3 and 4) make it possible to restrict the predictions.

**Key words:** Regional methods, L moments, maximum daily rainfall.

### INTRODUCTION

The probabilistic analysis of maximum daily rainfall is the base of the estimations of design storms when there are no pluviographic records, and a hydrological study is made of the relation rainfall-run-off to estimate design floods, because there is also no hydrometric information. The analysis method consists of fitting a probabilistic model from the available historic data, to make the required predictions. The fit allows the estimation of the parameters of scale, location and form of the model, the accuracy of which depends on the number of data and the possibility of modeling the extreme right of the distribution, where the maximum extreme events occur, which is where the predictions of interest are found, as they are associated with low probabilities of exceeding or long periods of return.

The satisfactory fit to an historic series of floods or maximum rainfalls does not guarantee reliable estimations for periods of return of more than 100 years; therefore other historic series are required to

bajas probabilidades de excedencia o largos periodos de retorno.

El ajuste satisfactorio a una serie histórica de crecientes o lluvias máximas no garantiza estimaciones confiables para periodos de retorno superiores a 100 años; por ello se requieren otras series históricas para mejorar la reproducción de la cola extrema de la distribución (Buishand, 1991). Esta dificultad se presenta cuando hay valores dispersos (outliers) en la gráfica probabilidades y por ello se han interpretado como pertenecientes a otra población. Esta necesidad de más datos frecuentemente se satisface usando los registros disponibles en la zona o región, lo cual constituye el enfoque de los métodos regionales (Santillán, 2000; Escalante y Reyes, 2002), cuya ventaja es que algunos parámetros de una distribución, por ejemplo el de forma, no varían mucho a través de un área específica o región (Buishand, 1991).

El propósito de este trabajo fue realizar un ajuste regional de la distribución General de Valores Extremos (GVE), basado en el método de los momentos L y usando cuatro criterios: 1) método de las estaciones-años; 2) ponderación de los momentos de probabilidad pesada; 3) método de los valores estandarizados medianos; 4) ajuste por momentos L regionales. Los dos últimos se desarrollaron durante el ajuste regional de la GVE a las estaciones pluviométricas de la zona Huasteca del Estado de San Luis Potosí, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Información pluviométrica utilizada

Ésta corresponde a la disponible sobre precipitación máxima diaria anual (mm) en el sistema ERIC II (IMTA, 2000), para las estaciones pluviométricas de la zona Huasteca, San Luis Potosí, con más de 30 años de datos. Con esa restricción se obtuvieron 34 estaciones (Figura 1) cuyas características generales y estadísticas de sus registros pluviométricos se presentan en el Cuadro 1; estas últimas incluyen la media ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar ( $Sd$ ), el coeficiente de variación ( $Cv$ ) y el coeficiente de asimetría ( $Cs$ ) (Yevjevich, 1972). El archivo de datos ( $x_i$ , 1,222 en total), está disponible con el autor.

### Análisis estadístico previo de los datos

Para que los resultados de los análisis probabilísticos sean teóricamente válidos, la serie de datos históricos debe satisfacer ciertos criterios estadísticos: aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionalidad (Campos, 2006). La aleatoriedad significa que las fluctuaciones de la variable son originadas por causas naturales; la independencia se refiere a que ningún dato de la serie está influenciado por valores anteriores, o que él no influye a los posteriores; la homogeneidad implica que los datos proceden de una misma población y,

improve the reproduction of the extreme tail of the distribution (Buishand, 1991). This difficulty appears when there are disperse values (outliers) in the probability graph, thus they have been interpreted as belonging to another population. This need for more data is often satisfied by using the available records of the zone or region, which comprises the focus of the regional methods (Santillán, 2000; Escalante and Reyes, 2002), whose advantage is that some parameters of a distribution, for example, of form, do not vary much across a specific area or region (Buishand, 1991).

The purpose of the present study was to carry out a regional fit of the General Extreme Values distribution (GEV), based on the L moments method and using four criteria: 1) stations-years method; 2) averaging probability weighted moments; 3) method of the median standardized values; 4) fit for regional L moments. The latter two criteria were developed during the regional fit of the GEV to the pluviometric stations of the Huasteca area in the State of San Luis Potosí, México.

## MATERIALS AND METHODS

### Pluviometric information used

This corresponds to the available information of annual daily maximum precipitation (mm) in the ERIC II (IMTA, 2000) system, for the pluviometric stations of the Huasteca area, San Luis Potosí, with more than 30 years of data. With this restriction, 34 stations were obtained (Figure 1), whose general characteristics and statistics

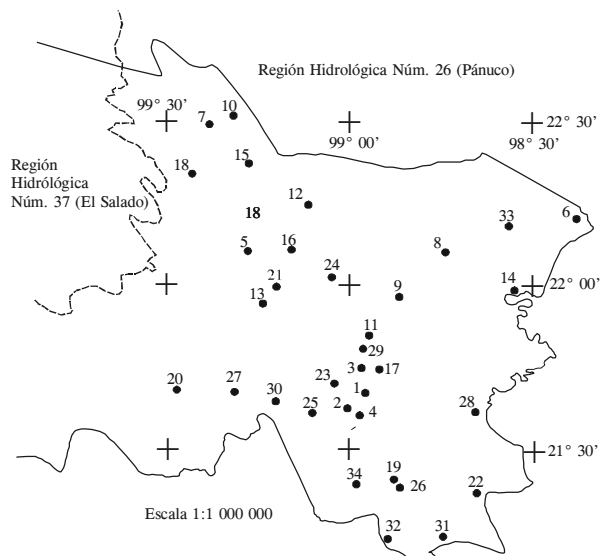


Figura 1. Localización de las 34 estaciones pluviométricas de la zona Huasteca de San Luis Potosí (los números corresponden al Cuadro 1).

Figure 1. Location of the 34 pluviometric stations of the Huasteca area in San Luis Potosí (the numbers correspond to Table 1).

Cuadro 1. Características generales de las estaciones pluviométricas de la zona Huasteca del Estado de San Luis Potosí, México.  
Table 1. General characteristics of the pluviometric stations of the Huasteca area of the State of San Luis Potosí, México.

Núm.	Nombre	Clave	Latitud	Long.	Altitud, m	Registro		Precipitaciones observadas			Media aritmética	Desv. estándar	Coef. de variación	Coef. de asimetría
						Años	Núm.	mínima	Máx. ( $X_n$ ) <sup>†</sup>	Máx. ( $X_{n-1}$ ) <sup>†</sup>				
1	Altamira	24002	21° 40'	98° 58'	45	1961-97	36	76.5	401.0	271.0	143.4	63.3	0.4412	2.405
2	Aquismón	24003	21° 38'	99° 05'	45	1961-97	37	86.0	350.0	326.0	179.1	70.1	0.3913	0.826
3	Ballesmi	24005	21° 45'	98° 58'	30	1961-97	37	60.0	340.0	327.0	140.6	62.3	0.4429	1.788
4	Ciudad Santos	24053	21° 37'	98° 58'	225	1961-97	34	71.3	362.0	342.2	175.1	75.6	0.4320	1.099
5	Damián Carmona	24014	22° 08'	99° 17'	400	1961-97	37	76.0	318.0	266.0	132.8	52.6	0.3957	1.916
6	Ebano	24015	22° 13'	98° 23'	50	1961-97	37	44.0	174.0	162.0	86.6	33.3	0.3844	1.132
7	Ejido Abritas	24016	22° 30'	99° 24'	950	1961-97	37	64.0	280.0	254.0	139.9	50.6	0.3616	0.810
8	El Coco	24017	22° 08'	98° 44'	20	1965-97	33	38.0	155.5	152.0	88.3	32.8	0.3711	0.773
9	El Choy	24018	21° 58'	98° 53'	1200	1961-92	32	52.5	333.7	264.7	128.3	64.2	0.5003	1.542
10	El Naranjo	24023	22° 38'	99° 20'	330	1958-97	40	41.5	310.5	226.6	119.3	55.4	0.4640	1.386
11	El Pujal	24025	21° 51'	98° 56'	50	1958-97	40	48.5	332.2	304.0	132.2	61.7	0.4666	1.526
12	El Tigre	24028	22° 15'	99° 07'	405	1961-97	37	47.0	340.0	205.0	104.4	54.3	0.5200	2.554
13	Gallinas	24031	21° 57'	99° 15'	300	1961-97	37	55.0	440.7	334.2	162.5	80.1	0.4930	1.622
14	Las Adjuntas	24036	21° 59'	98° 43'	25	1961-97	36	38.0	237.5	182.5	93.2	39.5	0.4240	1.737
15	Maitinez	24039	22° 23'	99° 17'	1675	1961-97	35	20.0	207.0	174.0	106.7	40.8	0.3827	0.297
16	Micos	24043	22° 08'	99° 10'	2060	1961-97	37	42.5	328.6	300.0	135.3	63.9	0.4724	1.183
17	Moritas	24037	21° 45'	98° 55'	40	1964-97	33	30.0	391.2	320.0	141.2	71.8	0.5087	1.905
18	Papagayos	24049	22° 24'	99° 27'	1300	1961-97	36	60.0	190.0	160.0	99.8	30.5	0.3061	1.056
19	Requetemu	24026	21° 26'	98° 54'	89	1958-97	40	88.1	654.0	420.1	173.8	100.4	0.5776	3.287
20	San A. de los Guayabos	24063	21° 41'	99° 29'	1415	1961-97	35	32.0	327.0	236.0	105.9	63.7	0.6020	1.750
21	San Diego	24064	22° 01'	99° 13'	1415	1961-97	36	43.0	271.0	200.0	124.2	42.6	0.3430	1.212
22	San M. Chalchicuautla	24009	21° 23'	98° 40'	1877	1961-97	35	32.0	285.0	216.5	128.6	49.1	0.3821	0.833
23	Santa Cruz	24072	21° 43'	99° 03'	1200	1961-97	37	76.0	420.0	360.0	155.7	70.3	0.4512	2.228
24	Santa Rosa	24076	22° 01'	99° 03'	70	1961-97	36	53.4	285.0	264.6	126.9	59.0	0.4650	1.380
25	Tamapatz	24082	21° 37'	99° 07'	32	1965-97	33	94.5	330.0	328.0	201.9	72.2	0.3578	0.508
26	Tancuilin	24084	21° 34'	99° 07'	100	1961-97	36	77.9	411.3	392.7	178.1	90.4	0.5077	1.257
27	Tanlaeuc	24086	21° 41'	99° 19'	100	1961-97	33	72.8	443.7	421.0	167.6	94.4	0.5637	1.524
28	Tanquán	24085	21° 37'	98° 39'	77	1961-97	37	38.0	280.0	176.5	101.7	44.5	0.4371	2.020
29	Tantizohuiche	24088	21° 49'	98° 59'	77	1961-97	35	40.0	306.0	284.0	123.7	54.8	0.4429	1.831
30	Tanzabaca	24090	21° 40'	99° 13'	120	1961-97	37	59.2	452.0	441.7	181.4	109.7	0.6047	1.239
31	Temamatla	24091	21° 14'	98° 46'	120	1961-97	37	65.1	374.8	360.2	160.4	76.1	0.4747	1.489
32	Tierra Blanca	24092	21° 14'	98° 54'	150	1961-97	37	63.5	371.2	348.5	151.7	71.7	0.4726	1.525
33	Velazco	24095	22° 12'	98° 34'	49	1961-97	33	31.0	178.0	160.0	78.6	33.5	0.4263	1.372
34	Xilitla	24105	21° 24'	98° 59'	1035	1964-97	34	103.0	420.0	340.0	196.9	70.6	0.3588	1.314
	Magnitud mínima	-	-	-	20	-	32	20.0	155.5	152.0	78.6	30.5	0.3061	0.297
	Magnitud máxima	-	-	-	2060	-	40	103.0	654.0	441.7	201.9	109.7	0.6047	3.287

† Valor máximo observado (mm).  
‡ Subsecuente valor máximo observado (mm).

finalmente, la estacionalidad significa que las propiedades estadísticas de los datos no cambian en el tiempo. Los registros de lluvias máxima diaria anual en general son aleatorios y muestran independencia, lo cual se comprobó con el coeficiente de correlación serial de orden 1 que no fue significativo. El registro puede ser considerado homogéneo verificando que la ubicación del pluviómetro no haya cambiado. La estacionalidad se acepta debido a que las condiciones geográficas de la zona Huasteca no se han modificado sustancialmente.

**Ajuste de la distribución GVE a través del método de momentos L**

La solución inversa de la función GVE que permite el cálculo de una predicción X es (Stedinger *et al.*, 1993; Metcalfe, 1997; Campos, 2001):

$$X = u + \alpha \cdot \frac{y}{x} \tag{1}$$

donde, y es la variable reducida igual a:

$$y = 1 - \{-\ln[F(x)]\}^k \tag{2}$$

donde, u es el parámetro de ubicación, α es el de escala y k el de forma, denominados parámetros de ajuste; F(x) es la probabilidad de no excedencia [P(X≤x)], cuyo recíproco de su diferencia con la unidad corresponde al periodo de retorno o intervalo promedio de recurrencia en años (Tr). Las expresiones de los parámetros de ajuste según el método de momentos L son (Stedinger *et al.*, 1993; Metcalfe, 1997; Campos, 2001):

$$c = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - 0.6309298 \tag{3}$$

$$k = 7.8590 \cdot c + 2.9554 \cdot c^2 \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{k\lambda_2}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})} \tag{5}$$

$$u = \lambda_1 + \frac{\alpha[\Gamma(1+k) - 1]}{k} \tag{6}$$

donde, λ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub> y λ<sub>3</sub> son los momentos L de orden uno, dos y tres; Γ(·) es la función gamma que se estima con la ecuación de Stirling (Davis, 1972):

$$\Gamma(z) = e^{-z} \cdot z^{z-1/2} \cdot (2\pi)^{1/2} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{12z} + \frac{1}{288z^2} - \frac{139}{51840z^3} - \frac{571}{2488320z^4} + \dots \right] \tag{7}$$

of their pluviometric records are shown in Table 1; the latter include the mean ( $\bar{x}$ ), the standard deviation (Sd), the coefficient of variation (Cv) and the coefficient of asymmetry (Cs) (Yevjevich, 1972). The archive of data (x<sub>i</sub>, 1,222 in all), is available with the author.

**Previous statistical analysis of the data**

In order for the results of the probabilistic analysis to be theoretically valid, the series of historic data must satisfy certain statistical criteria; randomness, independence, homogeneity and stationarity (Campos, 2006). Randomness means that the fluctuations of the variable are originated by natural causes; independence means that none of the data in the series is influenced by previous values, or that it does not influence those that follow; homogeneity implies that the data proceed from the same population, and, finally, stationarity means that the statistical properties of the data do not change in time. The records of annual daily maximum rainfall in general are random and show independence, which was verified with the coefficient of serial correlation of order 1 that was not significant. The record can be considered homogeneous by verifying that the location of the pluviometer has not changed. Stationarity is accepted because the geographic conditions of the Huasteca zone have not been substantially modified.

**Fit of the GEV distribution through the L moments method**

The inverse solution of the function GEV that allows the calculation of a prediction X is (Stedinger *et al.*, 1993; Metcalfe, 1997; Campos, 2001):

$$X = u + \alpha \cdot \frac{y}{x} \tag{1}$$

where y is the reduced variable equal to:

$$y = 1 - \{-\ln[F(x)]\}^k \tag{2}$$

where u is the parameter of location, α is the parameter of scale and k the parameter of form, named parameters of fit; F(x) is the probability of non exceeding [P(X≤x)], whose reciprocal of its difference with the unit corresponding to the period of return or average interval of recurrence in years (Tr). The expressions of the parameters of fit according to the L moments method are as follows (Stedinger *et al.*, 1993; Metcalfe, 1997; Campos, 2001):

$$c = \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} - 0.6309298 \tag{3}$$

$$k = 7.8590 \cdot c + 2.9554 \cdot c^2 \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{k\lambda_2}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})} \tag{5}$$

La evaluación de los momentos L ( $\lambda_r$ ) comienza con el cálculo de los momentos de probabilidad pesada muestrales ( $b_r$ ), ya que los primeros son combinaciones lineales de los segundos. Los estimadores insesgados de los  $b_r$  son (Stedinger *et al.*, 1993):

$$b_0 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \bar{x} \quad (8)$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(n-i) \cdot x_i}{n \cdot (n-1)} \quad (9)$$

$$b_2 = \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(n-i)(n-i-1) \cdot x_i}{n \cdot (n-1)(n-2)} \quad (10)$$

donde,  $x_i$  es la precipitación máxima diaria anual en mm, ordenada de mayor a menor, y  $n$  es el número de datos. Los momentos L son:

$$\lambda_1 = b_0 \quad (11)$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot b_1 - b_0 \quad (12)$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot b_2 - 6 \cdot b_1 + b_0 \quad (13)$$

El error estándar de ajuste (*EEA*) que es un criterio numérico de bondad de ajuste para comparar modelos probabilísticos, es también aplicable al primero y último de los métodos regionales expuestos, es decir aquellos en que la distribución *GVE* se ajusta a los datos transformados; es igual a (Kite, 1977):

$$EEA = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_1)^2}{(n - np)}} \quad (14)$$

donde,  $n$  es el número de datos de cada registro y  $np$  es el número de parámetros de ajuste,  $np = 3$  para la distribución *GVE*;  $x_i$  son los datos ordenados en forma creciente y  $X_i$  las predicciones obtenidas con la ecuación 1. Las probabilidades de no excedencia  $F(x)$  se obtienen con la ecuación de Weibull (Benson, 1962):

$$F(x) = \frac{m}{n+1} \quad (15)$$

donde  $m$  es el número de orden, con 1 para el menor de los datos y  $n$  para el mayor.

#### Método de las estaciones-años

En este método los datos máximos anuales (crecientes o lluvias) procedentes de varios sitios son conjuntados y tratados como un solo registro. Este enfoque acepta que los datos son variables aleatorias

$$u = \lambda_1 + \frac{\alpha[\Gamma(1+k) - 1]}{k} \quad (6)$$

where  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  and  $\lambda_3$  are the L moments of order one, two and three;  $\Gamma(\cdot)$  is the gamma function that is estimated with the equation of Stirling (Davis, 1972):

$$\Gamma(z) = e^{-z} \cdot z^{z-1/2} \cdot (2\pi)^{1/2} \left[ 1 + \frac{1}{12z} + \frac{1}{288z^2} - \frac{139}{51840z^3} - \frac{571}{2488320z^4} + \dots \right] \quad (7)$$

The evaluation of the L moments ( $\lambda_r$ ) begins with the calculation of the moments of sample heavy likelihood ( $b_r$ ), given that the former are linear combinations of the latter. The unbiased estimators of the  $b_r$  are (Stedinger *et al.*, 1993):

$$b_0 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \bar{x} \quad (8)$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(n-i) \cdot x_i}{n \cdot (n-1)} \quad (9)$$

$$b_2 = \sum_{i=1}^{n-2} \frac{(n-i)(n-i-1) \cdot x_i}{n \cdot (n-1)(n-2)} \quad (10)$$

where  $x_i$  is the annual daily maximum rainfall in mm, ordered from highest to lowest, and  $n$  is the number of data. The L moments are:

$$\lambda_1 = b_0 \quad (11)$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot b_1 - b_0 \quad (12)$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot b_2 - 6 \cdot b_1 + b_0 \quad (13)$$

The Standard Error of Fit (*SEF*), which is a numerical criterion of goodness of fit to compare probabilistic models, is also applicable to the first and last of the regional methods exposed, that is, those in which the *GEV* distribution fits the transformed data; is equal to (Kite, 1977):

$$SEF = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_1)^2}{(n - np)}} \quad (14)$$

where  $n$  is the number of data of each record and  $np$  is the number of parameters of fit,  $np = 3$  for the *GEV* distribution;  $x_i$  are the data ordered in increasing form and  $X_i$  the predictions obtained with

independientes, lo cual en el caso de la precipitación no es estrictamente válido debido a la dependencia espacial entre las lluvias observadas y a la relación que guarda ésta con la altitud. Para evitar lo anterior, una modificación importante consiste en estandarizar los datos, dividiéndolos entre su media aritmética o entre su mediana. Estos valores generalmente presentan homogeneidad regional, mostrando un coeficiente de variación aproximadamente constante (Buishand, 1991). Otro aspecto importante en este criterio es el riesgo que implica el uso de registros cortos con desigual inicio y final que las series largas, pues entonces valores muy bajos o muy altos pueden proceder de éstos y originarán sesgo en las estimaciones.

**Ajuste por momentos de probabilidad pesada ponderados**

La regionalización de los momentos de probabilidad pesada ( $b_r$ ) comprende su estandarización, consistente en dividirlos entre la media o  $b_0$ :

$$be_r = \frac{b_r}{b_0} \tag{16}$$

Lo anterior conduce a un  $be_0=1.000$ , para luego promediarlos. Cunnane (1988) y Buishand (1991) han sugerido ponderarlos en función de la amplitud del registro en años de la estación ( $n_j$ ), por lo cual:

$$be_r = be_r \frac{n_j}{\sum_1^{ne} n_j} \tag{17}$$

donde,  $ne$  es el número de estaciones pluviométricas usadas. El procedimiento consiste en calcular los momentos de probabilidad pesada de orden 0, 1 y 2 por medio de las ecuaciones 8 a 10, en cada estación pluviométrica de la región. Después se estandarizan éstos y se ponderan para obtener sus valores medios. Con base en tales promedios se calculan los momentos L de primero, segundo y tercer orden, por medio de las ecuaciones 11 a 13 y luego se ajusta la distribución *GVE* con el método de los momentos L (ecuaciones 1 a 7).

**Método de los valores estandarizados medianos**

Este procedimiento es una modificación del método tradicional de la avenida índice, o cociente entre una creciente de cierto periodo de retorno y el gasto considerado como medio anual (Dalrymple, 1960; Cunnane, 1988; Campos, 1994). Se apoya en que la mayoría de las 34 estaciones pluviométricas de la zona Huasteca tienen un registro de 37 años (1961 a 1997) (Cuadro 1) y consistió en ajustar por momentos L la distribución *GVE* (ecuaciones 1 a 13) a cada registro de valores estandarizados con su media aritmética.

**Ajuste de la distribución *GVE* por momentos L regionales**

Buishand (1991) propone estimar los parámetros de ajuste de la distribución *GVE* regional mediante la maximización de una función

equation 1. The probabilities of non exceeding  $F(x)$  are obtained with the Weibull equation (Benson, 1962):

$$F(x) = \frac{m}{n+1} \tag{15}$$

where  $m$  is the number of order, with 1 for the smallest of the data and  $n$  for the largest.

**Stations-years method**

In this method the annual maximum data (floods or rainfall) from various sites are joined and treated as a single record. This approach accepts that the data are independent random variables, which in the case of rainfall is not strictly valid due to the spatial dependence between the observed rainfalls and the relationship that it has with altitude. To avoid the aforementioned, an important modification consists in standardizing the data, dividing them by their arithmetic mean or their median. These values generally present regional homogeneity, showing a coefficient of variation that is approximately constant (Buishand, 1991). Another important aspect in this criterion is the risk implied by the use of short records with start and finish unequal to the long series, since very low or very high values may come from them and will cause bias in the estimations.

**Fit by averaging probability weighted moments**

The regionalization of the probability weighted moments ( $b_r$ ) includes its standardization, which consists of dividing them by the mean or  $b_0$ :

$$be_r = \frac{b_r}{b_0} \tag{16}$$

This leads us to a  $be_0 = 1.000$ , and then to average them. Cunnane (1988) and Buishand (1991) have suggested weighting them as a function of the amplitude of the record in years of the station ( $n_j$ ), hence:

$$be_r = be_r \frac{n_j}{\sum_1^{ne} n_j} \tag{17}$$

where  $ne$  is the number of pluviometric stations used. The procedure consists in calculating the moments of heavy probability of order 0, 1 and 2 by means of equations 8 to 10, in each pluviometric station of the region. Then, these are standardized and weighted to obtain their mean values. Based on these averages, the L moments of first, second and third order are calculated, by means of equations 11 to 13, and afterwards the *GEV* distribution is fit with the L moments method (equations 1 to 7).

de verosimilitud conjunta, describiendo varios enfoques para alcanzar tal objetivo. El procedimiento adoptado consiste en ajustar una distribución GVE por momentos L (ecuaciones 1 a 15), mediante el procedimiento de las estaciones-años, con la siguiente variable estandarizada:

$$z_i = \frac{x_i - u}{\alpha} \tag{18}$$

donde,  $u$  y  $\alpha$  corresponden a los parámetros de forma regional de la distribución GVE, pero son los requeridos por cada registro para ajustar un modelo GVE. Por ello, al obtener la función GVE de los datos conjuntados se obtiene un nuevo parámetro de forma  $k$  regional que no cambia y requiere un nuevo cálculo de parámetros  $u$  y  $\alpha$  de cada registro con las ecuaciones 5 y 6. El proceso se repite hasta que el valor del parámetro de forma regional ( $k$ ) no varía de un intento a otro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Método de las estaciones-años

Al dividir cada dato de un registro entre su valor medio y conjuntar los 34 registros de la zona Huasteca (Cuadro 1) se obtuvieron 1222 valores, cuyo ajuste de la distribución GVE mediante el método de los momentos L (ecuaciones 1 a 15), condujo a los estimadores de los parámetros de ubicación, escala y forma siguientes:  $u=0.7897$ ,  $\alpha=0.2861$  y  $k= -0.1444$ , con un error estándar de ajuste de 0.044 y los valores tabulados en el Cuadro 2 para las predicciones estandarizadas obtenidas con las ecuaciones 1 y 2.

Entonces, al multiplicar las magnitudes estandarizadas respectivas del Cuadro 2 por la media aritmética de cada registro, indicada como  $b_0$  en el Cuadro 3, se obtienen las predicciones respectivas del método de las estaciones-años, para las ocho estaciones pluviométricas seleccionadas por ser la primera y la última y los números 5, 10, 15, 20, 25 y 30 del Cuadro 1.

**Cuadro 2. Predicciones estandarizadas de la precipitación máxima diaria para los periodos de retorno expuestos, según el método regional indicado.**

**Table 2. Standardized predictions of the daily maximum rainfall for the return periods shown, according to the indicated regional method.**

	Periodos de retorno (Tr) en años								
	2	5	10	25	50	100	500	1000	10 000
1) Método de las estaciones-años	0.897	1.269	1.551	1.953	2.289	2.658	3.669	4.181	6.301
2) Método de ajuste por momentos de probabilidad pesada ponderados	0.891	1.264	1.553	1.974	2.333	2.733	3.856	4.440	6.943
3) Método de ajuste por momentos L regionales	0.382	1.656	2.619	3.993	5.138	6.395	9.822	11.555	18.700

### Median standardized values method

This procedure is a modification of the traditional method of the index flood, or quotient between a flow of a certain period of return and the expense considered as annual mean (Dalrymple, 1960; Cunnane, 1988; Campos, 1994). It is based on the fact that most of the 34 pluviometric stations of the Huasteca area have a record of 37 years from 1961 to 1997 (Table 1), and consisted of fitting the GEV distribution by L moments (equations 1 to 13) to each record of standardized values with their arithmetic mean.

### Fit of the GEV distribution by regional L moments

Buishand (1991) proposes the estimation of the parameters of fit of the regional GEV distribution by means of the maximization of a function of joint likelihood, describing various approaches for achieving this objective. The adopted procedure consists of fitting a GEV distribution by L moments (equations 1 to 15), through the stations-years procedure, with the following standardized variable:

$$z_i = \frac{x_i - u}{\alpha} \tag{18}$$

where  $u$  and  $\alpha$  correspond to the parameters of regional form of the GEV distribution, but are those required for each record to fit a GEV model. Thus, when the GEV function of the joint data is obtained, a new parameter of regional  $k$  form is obtained which does not change and requires a new calculation of parameters  $u$  and  $\alpha$  of each record with equations 5 and 6. The process is repeated until the value of the parameter of regional form ( $k$ ) does not vary from one trial to another.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Stations-years method

When each data of a record was divided by its mean value and the 34 records of the Huasteca areas were joined (Table 1), 1222 values were obtained,

**Ajuste por momentos de probabilidad pesada ponderados**

En el Cuadro 4 se presentan los resultados numéricos del procedimiento de ponderación descrito, con

whose fit of the *GEV* distribution by the L moments method (equations 1 to 15) led to the estimators of the following parameters of location, scale and form:  $u=0.7897$ ,  $\alpha=0.2861$  and  $k=-0.1444$ , with a standard error of fit of 0.044 and the values tabulated in Table

**Cuadro 3. Predicciones en milímetros en ocho estaciones pluviométricas seleccionadas de la zona Huasteca de San Luis Potosí, con base en los cuatro métodos regionales indicados.**

**Table 3. Predictions in millimeters in eight selected pluviometric stations from the Huasteca area in San Luis Potosí, based on the four indicated regional methods.**

Núm.	Estación Método regional	EEA <sup>†</sup>	Periodos de retorno (Tr) en años								
			2	5	10	25	50	100	500	1000	10 000
1	Altamira ( $b_0=143.4278$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	129	182	222	280	328	381	526	600	904
	<i>GVE</i> por MPP <sup>‡</sup> ponderados	-	128	181	223	283	335	392	553	637	996
	Val. Estand. Medianos	-	127	181	220	280	336	393	574	668	1063
	<i>GVE</i> por ML <sup>§</sup> regional	0.165	130	178	214	265	307	354	482	546	812
5	Damián Carmona ( $b_0=132.8379$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	119	169	206	259	304	353	487	555	837
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	118	168	206	262	310	363	512	590	922
	Val. Estand. Medianos	-	118	168	204	260	312	364	532	618	984
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	121	163	194	239	276	317	429	486	719
10	El Naranjo ( $b_0=119.2975$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	107	151	185	233	273	317	438	499	752
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	106	151	185	235	278	326	460	530	828
	Val. Estand. Medianos	-	106	151	183	233	280	327	478	555	884
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	107	153	188	238	280	326	451	514	775
15	Maitinez ( $b_0=106.6543$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	96	135	165	208	244	283	391	446	672
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	95	135	166	211	249	291	411	474	741
	Val. Estand. Medianos	-	94	135	164	209	250	292	427	496	790
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	97	133	161	201	234	270	369	419	626
20	San Antonio de los Guayabos ( $b_0=105.8857$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	95	134	164	207	242	281	388	443	667
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	94	134	164	209	247	289	408	470	735
	Val. Estand. Medianos	-	94	134	163	207	248	290	424	493	785
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	92	143	181	236	282	332	469	539	825
25	Tamapatz ( $b_0=201.8909$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	181	256	313	394	462	537	741	844	1272
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	180	255	314	399	471	552	778	896	1402
	Val. Estand. Medianos	-	179	255	310	395	473	553	809	940	1496
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	184	249	299	370	428	493	669	758	1125
30	Tanzabaca ( $b_0=181.3946$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	163	230	281	354	415	482	666	758	1143
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	162	229	282	358	423	496	699	805	1259
	Val. Estand. Medianos	-	161	229	278	355	425	497	726	844	1344
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	156	249	319	419	503	594	844	970	1491
34	Xilitla ( $b_0=196.8529$ mm)										
	Estaciones-años	0.044	177	250	305	384	451	523	722	823	1240
	<i>GVE</i> por MPP ponderados	-	175	249	306	389	459	538	759	874	1367
	Val. Estand. Medianos	-	174	249	302	385	462	539	788	916	1459
	<i>GVE</i> por ML regional	0.165	180	240	286	350	404	464	625	707	1043

<sup>†</sup> EEA=Error estándar de ajuste.

<sup>‡</sup> MPP=Momentos de probabilidad pesada.

<sup>§</sup> ML=Momentos L.



base en los cuales se obtuvieron los siguientes estimadores de los parámetros de la distribución GVE:  $\mu=0.7845$ ,  $\alpha=0.2816$  y  $k=-0.1669$ , con los valores de las predicciones estandarizadas indicadas en el Cuadro 2. Nuevamente, al multiplicar las magnitudes tabuladas por la media aritmética de cada registro se obtienen las predicciones respectivas de este método (Cuadro 3).

**Método de los valores estandarizados medianos**

Las predicciones de valores estandarizados con la media obtenidas para cada serie histórica se presentan en el Cuadro 5, así como los valores mínimos, medianos y máximos correspondientes a cada periodo de

2 for the standardized predictions obtained with equations 1 and 2.

Then, when the respective standardized magnitudes of Table 2 are multiplied by the arithmetic mean of each record, indicated as  $b_0$  in Table 3, the respective predictions are obtained of the stations-years method, for eight pluviometric stations selected for being the first and last of the numbers 5, 10, 15, 20 25 and 30 of Table 1.

**Fit by averaging probability weighted moments**

Table 4 shows the numerical results of the averaging procedure described, based on which the following estimators of the parameters of the GEV distribution

**Cuadro 4. Ponderación de los momentos de probabilidad pesada insesgados ( $b_i$ ) en las estaciones pluviométricas de la zona Huasteca de San Luis Potosí.**

**Table 4. Averaging of the unbiased probability weighted moments ( $b_i$ ) in the pluviometric stations of the Huasteca zone of San Luis Potosí.**

Estación	$n^\dagger$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$be_1^\ddagger$	$be_2$	$be_1^\S$	$be_2$
Altamira	36	143.4278	86.6633	64.7866	0.60423	0.45170	0.01780	0.01331
Aquismón	37	179.0541	109.1148	80.5504	0.60940	0.44987	0.01845	0.01362
Ballesmi	37	140.6297	86.1185	64.4259	0.61238	0.45812	0.01854	0.01387
Ciudad Santos	34	175.0706	108.0780	80.5800	0.61734	0.46027	0.01718	0.01281
Damián Carmona	37	132.8379	79.5139	58.9823	0.59858	0.44402	0.01812	0.01344
Ebano	37	86.6243	52.3691	38.7157	0.60455	0.44694	0.01830	0.01353
Ejido Abritas	37	139.9189	84.1674	61.6266	0.60154	0.44045	0.01821	0.01334
El Coco	33	88.3333	53.2336	39.0426	0.60264	0.44199	0.01627	0.01194
El Choy	32	128.2969	80.9451	61.1027	0.63092	0.47626	0.01652	0.01247
El Naranjo	40	119.2975	74.3338	55.7102	0.62310	0.46699	0.02040	0.01529
El Pujal	40	132.2275	82.2514	61.7834	0.62204	0.46725	0.02036	0.01529
El Tigre	37	104.4054	65.1930	49.4223	0.62442	0.47337	0.01891	0.01433
Gallinas	37	162.4892	101.8908	76.9903	0.62706	0.47382	0.01899	0.01435
Las Adjuntas	36	93.1695	56.7651	42.2155	0.60927	0.45310	0.01795	0.01335
Maitinez	35	106.6543	64.9452	47.4614	0.60893	0.44500	0.01744	0.01275
Micos	37	135.2730	85.0374	63.7279	0.62864	0.47111	0.01903	0.01426
Moritas	33	141.2455	88.3575	66.9790	0.62556	0.47420	0.01689	0.01281
Papagayos	36	99.7917	58.3119	42.2717	0.58434	0.42360	0.01721	0.01248
Requetemu	40	173.8400	108.7178	82.6146	0.62539	0.47523	0.02047	0.01556
San A. de los G.	35	105.8857	69.0374	53.4201	0.65200	0.50451	0.01867	0.01445
San Dieguito	36	124.2222	73.5159	53.5306	0.59181	0.43093	0.01743	0.01270
San M. Chalchic.	35	128.5714	77.8527	56.8900	0.60552	0.44248	0.01734	0.01267
Santa Cruz	37	155.7324	94.9554	71.0644	0.60973	0.45632	0.01846	0.01382
Santa Rosa	36	126.8639	78.9704	59.4566	0.62248	0.46866	0.01834	0.01381
Tamapatz	33	201.8909	121.6167	88.8929	0.60239	0.44030	0.01627	0.01189
Tancuilín	36	178.0695	113.2068	86.0459	0.63575	0.48322	0.01873	0.01424
Tanlacut	33	167.5606	108.5173	83.3476	0.64763	0.49742	0.01749	0.01343
Tanquián	37	101.6973	61.9980	46.0370	0.60963	0.45269	0.01846	0.01371
Tantizohuiche	35	123.7429	75.6483	56.4007	0.61133	0.45579	0.01751	0.01305
Tanzabaca	37	181.3946	120.0255	92.8798	0.66184	0.51203	0.02004	0.01550
Temamatla	37	160.4081	99.8788	75.3596	0.62265	0.46980	0.01885	0.01422
Tierra Blanca	37	151.7432	94.6570	71.1835	0.62380	0.46911	0.01889	0.01420
Velazco	33	78.6121	48.1771	35.7617	0.61285	0.45491	0.01655	0.01228
Xilitla	34	196.8529	117.3605	86.0082	0.59618	0.43692	0.01659	0.01216
Suma y promedios	1222	-	-	-	0.61664	0.46083	0.01666	0.01333

† Número de años de registro.

‡ Valor estandarizado.

§ Valor estandarizado y ponderado.

retorno. Con base en los valores medianos se obtienen las predicciones indicadas en el Cuadro 3, con sólo multiplicarlos por la media respectiva ( $b_0$ ) de cada registro o estación pluviométrica.

**Ajuste de la distribución GVE por momentos L regionales**

En el Cuadro 6 están los valores de  $u$  y  $\alpha$  obtenidos con el método de momentos L en cada registro. El primer ensayo consistió en emplear los valores promedio de  $u$  y  $\alpha$  del Cuadro 6 (107.6 y 38.9) como valores constantes en la aplicación de la ecuación 18, y se obtuvo un  $k$  regional de  $-0.1645$ ; en el segundo ensayo se utilizaron los valores de  $u$  y  $\alpha$  del Cuadro 6, es

were obtained:  $u=0.7845$ ,  $\alpha=0.2816$  and  $k=-0.1669$ , with the values of the standardized predictions indicated in Table 2. Once again, when the tabulated magnitudes are multiplied by the arithmetic mean of each record, the respective predictions are obtained from this method (Table 3).

**Method of median standardized values**

The predictions of standardized values with the mean obtained for each historic series are shown in Table 5, which also includes the minimum, median and maximum values corresponding to each return period. Based on the median values, the predictions indicated in Table 3 are obtained, simply by multiplying them by the

**Cuadro 5. Predicciones estandarizadas de la precipitación máxima diaria obtenidas con el método de los momentos L en las estaciones pluviométricas de la zona Huasteca de San Luis Potosí.**

**Table 5. Standardized predictions of the daily maximum precipitation obtained by the L moments method in the pluviometric stations of the Huasteca zone of San Luis Potosí.**

Núm.	Estación:	Periodos de retorno (Tr) en años								
		2	5	10	25	50	100	500	1000	10 000
1	Altamira	0.87	1.17	1.45	1.92	2.38	2.97	4.97	6.23	13.36
2	Aquismón	0.93	1.29	1.53	1.85	2.10	2.35	2.96	3.23	4.20
3	Ballesmi	0.88	1.23	1.52	1.97	2.37	2.85	4.30	5.11	9.02
4	Ciudad Santos	0.90	1.28	1.56	1.95	2.27	2.62	3.52	3.96	5.72
5	Damián Carmona	0.88	1.18	1.44	1.86	2.26	2.74	4.29	5.22	10.03
6	Ebano	0.91	1.25	1.50	1.86	2.16	2.48	3.37	3.81	5.62
7	Ejido Abritas	0.92	1.26	1.47	1.75	1.95	2.15	2.60	2.80	3.43
8	El Coco	0.95	1.29	1.51	1.80	2.01	2.22	2.72	2.94	3.67
9	El Choy	0.88	1.30	1.62	2.09	2.48	2.92	4.13	4.76	7.40
10	El Naranjo	0.89	1.29	1.59	2.01	2.36	2.74	3.76	4.27	6.35
11	El Pujal	0.88	1.27	1.58	2.03	2.41	2.85	4.10	4.77	7.67
12	El Tigre	0.85	1.23	1.56	2.09	2.60	3.22	5.27	6.51	13.03
13	Gallinas	0.87	1.27	1.59	2.09	2.52	3.03	4.54	5.37	9.22
14	Las Adjuntas	0.90	1.24	1.52	1.92	2.26	2.65	3.75	4.32	6.84
15	Maitinez	0.97	1.32	1.52	1.74	1.89	2.01	2.27	2.36	2.59
16	Micos	0.91	1.33	1.62	2.02	2.33	2.65	3.46	3.83	5.20
17	Moritas	0.85	1.24	1.57	2.10	2.60	3.20	5.16	6.31	12.30
18	Papagayos	0.94	1.22	1.41	1.67	1.87	2.08	2.60	2.84	3.71
19	Requetemu	0.84	1.22	1.55	2.11	2.65	3.32	5.59	6.99	14.73
20	San A. de los Guayabos	0.82	1.28	1.68	2.34	2.96	3.73	6.26	7.78	15.89
21	San Dieguito	0.94	1.24	1.45	1.71	1.91	2.12	2.61	2.82	3.58
22	San Martín Chalchicautla	0.96	1.30	1.51	1.74	1.90	2.05	2.35	2.46	2.79
23	Santa Cruz	0.87	1.21	1.50	1.96	2.39	2.91	4.59	5.58	10.65
24	Santa Rosa	0.87	1.26	1.57	2.05	2.46	2.95	4.38	5.17	8.81
25	Tamapatz	0.95	1.28	1.49	1.74	1.92	2.09	2.46	2.61	3.06
26	Tancuilín	0.86	1.29	1.63	2.16	2.62	3.15	4.72	5.58	9.52
27	Tanlacut	0.84	1.30	1.68	2.27	2.81	3.44	5.38	6.47	11.75
28	Tanquián	0.90	1.26	1.52	1.91	2.23	2.58	3.54	4.03	6.05
29	Tantizohuiche	0.89	1.24	1.52	1.94	2.30	2.72	3.91	4.55	7.42
30	Tanzabaca	0.83	1.34	1.75	2.38	2.94	3.58	5.48	6.53	11.38
31	Temamatla	0.87	1.25	1.56	2.06	2.51	3.04	4.68	5.61	10.14
32	Tierra Blanca	0.88	1.28	1.59	2.04	2.43	2.87	4.13	4.79	7.69
33	Velazco	0.91	1.28	1.54	1.91	2.20	2.51	3.31	3.69	5.16
34	Xilitla	0.93	1.24	1.46	1.77	2.02	2.28	2.96	3.28	4.52
-	Valores mínimos	0.820	1.170	1.410	1.670	1.870	2.010	2.270	2.360	2.59
-	Valores medianos	0.885	1.265	1.535	1.955	2.345	2.740	4.005	4.655	7.41
-	Valores máximos	0.970	1.340	1.750	2.380	2.960	3.730	6.260	7.780	15.89

**Cuadro 6. Parámetros de ajuste de la distribución GVE de las estaciones pluviométricas de la zona Huasteca de San Luis Potosí (datos estandarizados según ecuación 18).**

**Table 6. Parameters of fit of the GEV distribution of the pluviometric stations of the Huasteca zone of San Luis Potosí (data standardized according to equation 18).**

Núm.	Estación:	EEA <sup>†</sup>	Método de momentos L				
			<i>k</i>	iniciales		finales	
				<i>u</i>	$\alpha$	<i>u</i>	$\alpha$
1	Altamira	0.130	-0.339	113.5	28.1	116.2	37.2
2	Aquismón	0.062	-0.040	146.2	54.4	143.4	48.7
3	Ballesmi	0.102	-0.238	110.3	34.7	111.9	39.3
4	Ciudad Santos	0.091	-0.115	138.4	52.7	137.7	51.1
5	Damián Carmona	0.089	-0.288	107.1	26.7	109.0	32.6
6	Ebano	0.068	-0.136	70.2	22.7	70.1	22.5
7	Ejido Abritas	0.055	0.009	114.1	41.3	114.1	35.3
8	El Coco	0.091	-0.009	74.6	26.0	71.8	22.6
9	El Choy	0.112	-0.158	97.4	41.0	97.7	41.8
10	El Naranjo	0.083	-0.132	92.7	37.0	92.6	36.5
11	El Pujal	0.082	-0.182	102.2	38.2	102.8	40.1
12	El Tigre	0.157	-0.299	78.8	26.1	80.8	32.3
13	Gallinas	0.099	-0.217	123.3	46.7	124.9	51.4
14	Las Adjuntas	0.096	-0.177	74.2	24.3	74.6	25.3
15	Maitinez	0.056	0.154	89.8	37.9	85.5	28.9
16	Micos	0.074	-0.066	105.3	47.1	103.6	43.3
17	Moritas	0.134	-0.272	106.9	36.5	109.0	44.1
18	Papagayos	0.042	-0.063	85.3	22.8	84.5	20.9
19	Requetemu	0.228	-0.324	130.5	42.1	134.2	54.2
20	San A. de los G.	0.144	-0.302	74.1	32.2	76.6	40.0
21	San Dieguito	0.080	-0.030	105.4	32.0	103.5	28.4
22	San Martín Chal.	0.079	0.107	107.9	42.8	103.9	33.7
23	Santa Cruz	0.123	-0.280	122.3	35.3	124.6	42.5
24	Santa Rosa	0.107	-0.214	97.4	35.3	98.6	38.6
25	Tamapatz	0.077	0.057	168.6	62.7	164.3	51.4
26	Tancuilín	0.112	-0.211	132.3	55.1	134.1	60.1
27	Tanlacut	0.120	-0.242	120.0	54.1	122.5	61.5
28	Tanquián	0.125	-0.145	81.4	27.6	81.4	27.7
29	Tantizohuiche	0.120	-0.193	97.9	32.2	98.7	34.3
30	Tanzabaca	0.142	-0.216	125.7	66.4	128.0	72.9
31	Temamatla	0.111	-0.246	122.5	42.7	124.6	48.9
32	Tierra Blanca	0.090	-0.180	116.9	44.6	117.6	46.7
33	Velazco	0.099	-0.095	63.0	23.3	62.5	22.1
34	Xilitla	0.069	-0.093	163.5	49.8	162.4	47.1
-	Valor Promedio	-	-0.153	107.6	38.9	-	-

† Error estándar de ajuste.

decir los que corresponden a los *k* locales indicados, y el valor de *k* fue -0.1684. Para el tercer ensayo se adoptó un *k* regional de -0.168 y para cada registro se calcularon con las ecuaciones 5 y 6 sus correspondientes valores de *u* y  $\alpha$ , los cuales se usaron en la ecuación 18. El ajuste conjunto de la GVE conduce a *k* = -0.1421, con *u* = 0.0124 y  $\alpha$  = 0.9829. Un cuarto ensayo se hizo con el valor de *k* anterior y el obtenido fue el mismo. Las magnitudes finales de *u* y  $\alpha$  se presentan el Cuadro 6 y las predicciones estandarizadas ( $\hat{z}_i$ ) están al final del Cuadro 2.

En cada estación pluviométrica, con base en sus valores finales de *u* y  $\alpha$  (Cuadro 6) y el de la magnitud  $\hat{z}_i$  (Cuadro 2) se despeja la predicción buscada con la

respective mean (*b*<sub>0</sub>) of each record or pluviometric station.

**Fit of the GEV distribution by regional L moments**

Table 6 includes the values of *u* and  $\alpha$  obtained by the L moments method in each record. The first trial consisted of employing the average values of *u* and  $\alpha$  of Table 6 (107.6 and 38.9) as constant values in the application of equation 18, and a regional *k* of -0.1645 was obtained; in the second trial the values of *u* and  $\alpha$  from Table 6 were used, that is, those that correspond to the indicated local *k*, and the value of *k* was -0.1684.

ecuación 18. Por ejemplo, para un periodo de retorno de 100 años en Altamira se obtiene una precipitación máxima diaria de:

$$x_{100} = 6.395 \cdot 37.2 + 116.2 = 354.094 \cong 354.1 \text{ mm}$$

En el Cuadro 3 se concentran las predicciones estimadas con el procedimiento expuesto.

### Análisis de resultados

En la mayoría de las estimaciones realizadas (Cuadro 3), el método regional de los valores estandarizados medianos, el cual corresponde básicamente a la aplicación del método de la avenida índice (Dalrymple, 1960; Cunnane, 1988; Campos, 1994) al análisis probabilístico regional de lluvias máximas diarias anuales, es el que conduce a las predicciones más elevadas o estimaciones de valores asociados a una determinada probabilidad de no excedencia. En cambio, el método de ajuste regional de la distribución *GVE*, reporta las predicciones más bajas en la mayoría de las estimaciones.

Conviene destacar que, en general, las predicciones mostradas en el Cuadro 3 tienen extraordinaria coincidencia en los bajos periodos de retorno ( $Tr < 50$  años) y son bastante similares en los valores altos de éstos ( $Tr > 100$  años), cumpliéndose esto hasta el periodo de retorno de 10 000 años, lo cual origina una gran confianza en tales estimaciones. Finalmente, la comparación entre las predicciones de 10 000 años de  $Tr$  y las estimaciones estadísticas de la precipitación máxima probable (Campos, 1998) en la zona Huasteca son bastante coincidentes, lo cual ratifica la confiabilidad de las estimaciones del Cuadro 3.

Para realizar un contraste gráfico de los ajustes regionales de la distribución *GVE*, se muestran en el Cuadro 7, columnas 3 y 4, las magnitudes ordenadas de manera creciente de la precipitación máxima diaria anual observada y estandarizada con la media de cada serie histórica ( $x_i$ ) y, mediante la ecuación 18 ( $z_i$ ), en intervalos de 50 valores hasta el dato 1201 y después para los números de orden indicados. También en el Cuadro 7, columna 2, está la probabilidad de no excedencia evaluada según la ecuación 15. En la Figura 2 se muestra el ajuste de la distribución *GVE* según el método de las estaciones-años y en la Figura 3 de acuerdo al método de los momentos L regionales. Los valores de las predicciones que definen a ambas distribuciones *GVE* proceden del Cuadro 2. Se observa que ambos ajustes tienen un comportamiento similar y reproducen la tendencia probabilística de los datos hasta un número de orden de 1200. En los restantes 22 valores extremos empíricos ambos modelos probabilísticos tienen una tendencia mayor.

**Cuadro 7. Frecuencias experimentales de la precipitación máxima diaria anual estandarizada con la media ( $x_i$ ) y con la ecuación 18 ( $z_i$ ).**

**Table 7. Experimental frequencies of the annual daily maximum rainfall standardized with the mean ( $x_i$ ) and with equation 18 ( $z_i$ ).**

Número de orden ( $m$ )	Probabilidad $F(x)$	Valor ordenado de $x_i$	Valor ordenado de $z_i$
1	0.0008	0.188	-2.266
51	0.0417	0.470	-1.085
101	0.0826	0.538	-0.805
151	0.1235	0.607	-0.655
201	0.1643	0.642	-0.522
251	0.2052	0.673	-0.393
301	0.2461	0.700	-0.295
351	0.2870	0.736	-0.203
401	0.3279	0.765	-0.083
451	0.3688	0.793	0.018
501	0.4096	0.820	0.101
551	0.4505	0.852	0.208
601	0.4914	0.891	0.337
651	0.5323	0.916	0.429
701	0.5732	0.946	0.545
751	0.6141	0.991	0.700
801	0.6549	1.027	0.837
851	0.6958	1.087	1.017
901	0.7367	1.154	1.265
951	0.7776	1.220	1.493
1001	0.8185	1.308	1.819
1051	0.8594	1.417	2.211
1101	0.9002	1.587	2.820
1151	0.9411	1.828	3.662
1201	0.9820	2.394	5.374
1205	0.9853	2.435	5.473
1210	0.9894	2.513	5.915
1215	0.9935	2.697	6.399
1220	0.9975	3.088	7.656
1222	0.9992	3.762	9.590

For the third trial, a regional  $k$  of  $-0.168$  was adopted and for each record their corresponding values of  $u$  and  $\alpha$  were calculated with equations 5 and 6, which were used in equation 18. The joint fit of the *GEV* leads to  $k = -0.1421$ , with  $u = 0.0124$  and  $\alpha = 0.9829$ . A fourth trial was made with the previous value of  $k$  and the same was obtained. The final magnitudes of  $u$  and  $\alpha$  are shown in Table 6 and the standardized predictions ( $\hat{z}_i$ ) are at the end of Table 2.

In each pluviometric station, based on its final values of  $u$  and  $\alpha$ , and that of the  $\hat{z}_i$  magnitude (Table 2), the prediction sought with equation 18 is obtained. For example, for a return period of 100 years in Altamira, a maximum daily rainfall is obtained as:

$$x_{100} = 6.395 \cdot 37.2 + 116.2 = 354.094 \cong 354.1 \text{ mm}$$

Table 3 concentrates the predictions estimated with the exposed procedure.

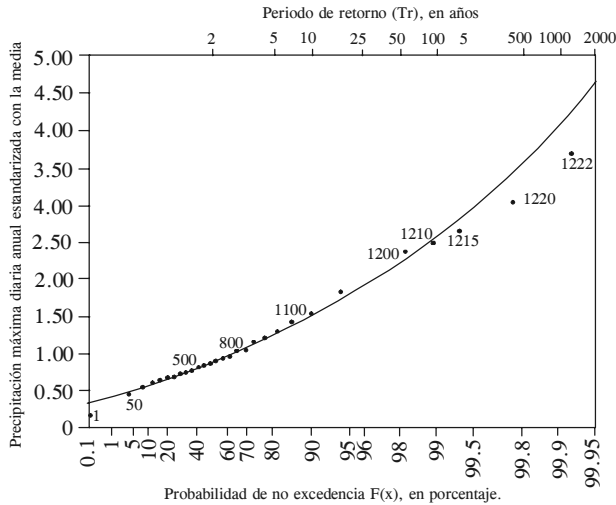


Figura 2. Ajuste regional de la distribución GVE con base en el método de las estaciones-años.  
 Figure 2. Regional fit of the GEV distribution based on the stations-years method.

CONCLUSIONES

El coeficiente de variación es un parámetro estadístico usado para verificar homogeneidad regional y, al respecto, los de las series históricas procesadas (Cuadro 1) muestran una gran similitud, verificando la regionalización de la zona Huasteca.

La concordancia numérica (Cuadro 3) de todas las predicciones de los métodos regionales expuestos, incluso en los altos periodos de retorno ( $Tr > 100$  años), destaca su confiabilidad ya que están basados en enfoques muy diferentes. Tal confiabilidad se ratifica con base en los contrastes gráficos (Figuras 1 y 2), que muestran un ajuste excelente a los datos empíricos.

Los métodos regionales desarrollados, el de los valores estandarizados medianos y el ajuste de la distribución GVE por momentos L regional, conducen en general, a las predicciones más altas o severas y a las más bajas, por lo cual se recomienda su aplicación con la idea de acotar resultados.

El establecimiento en la zona Huasteca de un criterio para estimar la precipitación máxima diaria anual promedio ( $b_0$ ), permitirá realizar predicciones en localidades sin información pluviométrica, al aplicar los resultados de los Cuadros 2 y 5, como se hizo para integrar el Cuadro 3. Tal criterio podrá ser gráfico (isoyetas) o analítico [ $b_0 = f(\text{altitud})$ ].

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al editor y árbitro anónimos sus comentarios y observaciones, las cuales permitieron hacer más explícito este estudio. Al Profesor Juan Antonio Araiza Rodríguez (jaraiza@uaslp.mx) del

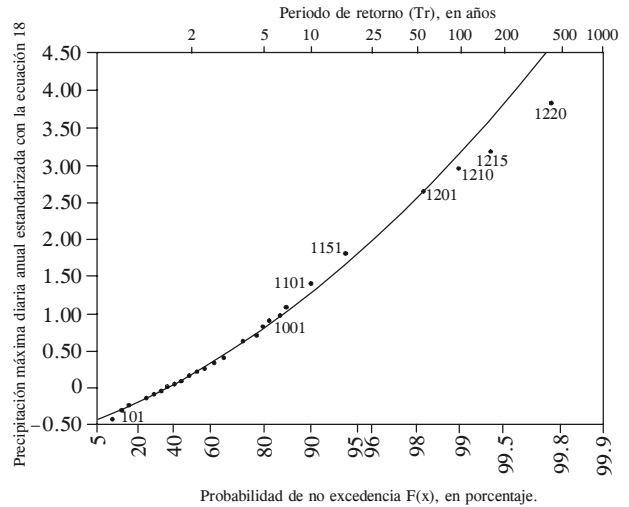


Figura 3. Ajuste de la distribución GVE con base en el método de los momentos L regionales.  
 Figure 3. Fit of the GEV distribution based on the regional L moments method.

Analysis of results

In most of the estimations made (Table 3), the regional method of the median standardized values, which corresponds basically to the application of the index flood method (Dalrymple, 1960; Cunnane, 1988; Campos, 1994) and to regional probabilistic analysis of annual daily maximum rainfall, is the one that gives the highest predictions or estimations of values associated with a determined probability of non-exceeding. On the other hand, the regional fit method of the GEV distribution, reports the lowest predictions in most of the estimations.

It should be pointed out that in general, the predictions shown in Table 3 have extraordinary coincidence in the low return periods ( $Tr < 50$  years) and are very similar in their high values of these ( $Tr > 100$  years), being so up to the return period of 10 000 years, which gives a high reliability to these estimations. Finally, the comparison between the predictions of 10 000 years of  $Tr$  and the statistical estimations of the probable maximum rainfall (Campos, 1998) in the Huasteca area are very coinciding, which confirms the reliability of the estimations of Table 3.

To make a graph contrast of the regional fits of the GEV distribution, Table 7, columns 3 and 4, shows the magnitudes ordered from low to high of the annual daily maximum rainfall observed and standardized with the mean of each historic series ( $x_i$ ), and through equation 18 ( $z_i$ ), in intervals of 50 values up to data 1201 and then for the indicated numbers of order. Also in Table 7, column 2, is the probability of non-exceedence evaluated according to equation 15. Figure

Área de Computación Aplicada de la Facultad de Ingeniería de la UASLP, se agradece el haber proporcionado la información pluviométrica procesada.

## LITERATURA CITADA

- Benson, M. A. 1962. Plotting positions and economics of engineering planning. *J. Hydraulics Division* 88: 57-71.
- Buishand, T. A. 1991. Extreme rainfall estimation by combining data from several sites. *J. Hydrological Sci.* 36: 345-365.
- Campos A., D. F. 1994. Aplicación del método del índice de crecientes en la región hidrológica número 10, Sinaloa. *Ing. Hidráulica Méx.* IX: 41-55.
- Campos A., D. F. 1998. Estimación estadística de la precipitación máxima probable en San Luis Potosí. *Ing. Hidráulica Méx.* XIII: 45-66.
- Campos A., D. F. 2001. Contraste de cinco métodos de ajuste de la distribución GVE en 31 registros históricos de eventos máximos anuales. *Ing. Hidráulica Méx.* XVI: 77-92.
- Campos A., D. F. 2006. Análisis previo de los datos hidrológicos. *In: Análisis Probabilístico Univariado de Datos Hidrológicos. AMH-IMTA. Avances en Hidráulica* 13. Jiutepec, Morelos. pp: 33-50.
- Cunnane, C. 1988. Methods and merits of regional flood frequency analysis. *J. Hydrology* 100: 269-290.
- Dalrymple, T. 1960. Flood-Frequency analysis. *In: Manual of Hydrology (Part 3): Flood-Flow Techniques.* U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1543-A. USA. pp: 1-80.
- Davis, P. J. 1972. Gamma function and related functions. *In: Abramowitz, M., and I. A. Stegun (eds). Handbook of Mathematical Functions.* Dover Publications, Inc. New York, USA. pp: 255-296.
- Escalante S., C., y L. Reyes Ch. 2002. Análisis regional hidrológico. *In: Técnicas Estadísticas en Hidrología.* Facultad de Ingeniería de la UNAM. México, D. F. pp: 157-202.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2000. ERIC II: Extractor Rápido de Información Climatológica 1920-1998. 1 CD. Comisión Nacional del Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-IMTA. Jiutepec, Morelos.
- Kite, G. W. 1977. Comparison of frequency distributions. *In: Frequency and Risk Analyses in Hydrology.* Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado, U.S.A. pp: 156-168.
- Metcalfe, A. V. 1997. Extreme value and related distributions. *In: Statistics in Civil Engineering.* Arnold Publishers. London, England. pp: 81-115.
- Santillán H., O. D. 2000. Criterio de homogeneidad hidrológica con parámetros fisiográficos y climatológicos. *In: Memoria del 16° Congreso Nacional de Hidráulica.* Morelia, Michoacán. pp: 761-766.
- Stedinger, J. R., R. M. Vogel, and E. Foufoula-Georgiou. 1993. Frequency analysis of extreme events. *In: Maidment, D. R. (ed.). Handbook of Hydrology,* McGraw-Hill, Inc. New York, U.S.A. pp: 18.1-18.66.
- Yevjevich, V. 1972. Parameters and order-statistics as descriptors of distributions. *In: Probability and Statistics in Hydrology.* Water Resources Publications, Fort Collins, CO., USA. pp: 99-117.

2 shows the fit of the *GEV* distribution according to the method of the Stations-years method and Figure 3 in accord to the regional L moments. The values of the predictions that define both *GEV* distributions proceed from Table 2. It is observed that both fits have a similar behavior and reproduce the probabilistic tendency of the data up to a number of order of 1200. In the remaining 22 empirical extreme values, both probabilistic models have a higher tendency.

## CONCLUSIONS

The coefficient of variation is a statistical parameter used to verify regional homogeneity, and to this respect, those of the processed historical series (Table 1) show a great similarity, verifying the regionalization of the Huasteca zone.

The numerical concordance (Table 3) of all of the predictions of the regional methods exposed, even in the high return periods ( $T_r > 100$  years), underlines their reliability, as they are based on very different approaches. This reliability is ratified based on the graphic contrasts (Figures 1 and 2), which show an excellent fit to the empirical data.

The regional methods developed, that of the median standardized values and the fit of the *GEV* distribution by regional L moments, in general lead to the highest or most severe predictions and to the lowest, therefore their application is recommended with the idea of delimiting results.

The establishment in the Huasteca area of a criterion for estimating the average annual daily maximum rainfall ( $b_0$ ), will make it possible to make predictions in localities without pluviometric information, by applying the results of Tables 2 and 5, as was done to integrate Table 3. This criterion could be graphic (isohyets) or analytical [ $b_0 = f(\text{altitude})$ ].

*End of the English version—*

