

ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIA DE CRECIENTES EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA No. 10 (SINALOA), MÉXICO.

2. CONTRASTE DE PREDICCIONES LOCALES Y REGIONALES

REGIONAL FLOOD FREQUENCY ANALYSIS IN HYDROLOGICAL REGION No. 10 (SINALOA), MÉXICO

2. CONTRAST OF REGIONAL AND LOCAL PREDICTIONS

Daniel F. Campos-Aranda

Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Genaro Codina # 240.
78280 San Luis Potosí, San Luis Potosí. (campos_aranda@hotmail.com).

RESUMEN

En la primera parte de este Análisis Regional de Frecuencia de Crecientes se caracterizaron éstas de acuerdo con sus fechas de ocurrencia, empleando un indicador estacional con el cual se estableció la región de influencia de cada una de las 21 estaciones hidrométricas procesadas. Los momentos L y sus cocientes se calcularon para definir la distribución de probabilidad más adecuada regionalmente. En seguida, dos métodos regionales fueron aplicados, el de las estaciones-años y el de los momentos L ponderados, ambos a través del ajuste de la distribución GVE. Las predicciones del método de las estaciones-años resultaron más exactas al contrastarlas con los valores locales o del registro histórico y, por ello, con base en sus resultados se desarrolló un método regional aplicable a cuencas sin aforos ubicadas en la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa).

Palabras clave: momentos y cocientes L , pruebas estadísticas, distribuciones LP3, GVE y LOG, región de influencia, método de las estaciones-años, método de momentos L ponderados, error estándar de ajuste, error relativo.

INTRODUCCIÓN

El Análisis Regional de Frecuencia de Crecientes (ARFC) engloba una serie de procedimientos orientados a estimar confiablemente las crecientes de diseño, en sitios con escasa información hidrométrica de gastos máximos anuales, o bien en localidades que no cuentan con tales datos. El ARFC involucra tres etapas básicas: 1) identificación

ABSTRACT

In the first part of this Regional Flood Frequency Analysis, floods were characterized according to their dates of occurrence, using a seasonal indicator with which the region of influence of each of the 21 hydrometric stations processed was established. The L moments and their quotients were calculated to define the most suitable probability distribution regionally. Two regional methods were then applied, that of stations-years and that of the weighted L moments, both by fitting the GEV distribution. The predictions of the stations-years method were more precise when contrasting them with the local values or those of the historical record and, therefore, based on the results of this method, a regional method was developed to be applied to ungauged watersheds in Hydrological Region No. 10 (Sinaloa).

Key words: L moments and quotients, statistical test, LP3, GEV and LOG distributions, region of influence, stations-years method, L moment method, standard fit error, relative error.

INTRODUCTION

The Regional Flood Frequency Analysis (RFFA) comprises a series of procedures aimed to estimate design floods reliably in sites where hydrometric information on maximum annual flows is scarce, or in places that do not have these data. RFFA involves three basic stages: 1) identification of groups of hydrologically homogeneous watersheds, 2) selection of a regional probabilistic model, and 3) application of joint management techniques of data or statistical parameters (GREHYS, 1996; Ouarda *et al.*, 2008).

This second part of an RFFA begins by estimating L moments and their respective quotients at the 21

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2013. Aprobado: febrero, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 255-270. 2014.

de grupos de cuencas hidrológicamente homogéneas, 2) selección de un modelo probabilístico regional, y 3) aplicación de técnicas de manejo conjunto de datos o parámetros estadísticos (GREHYS, 1996; Ouarda *et al.*, 2008).

Esta segunda parte de un ARFC se inicia estimando los momentos L y sus respectivos cocientes en las 21 estaciones hidrométricas procesadas con registro de gasto máximo anual. Con base en tales cocientes se obtiene la distribución General de Valores Extremos como modelo probabilístico regional más conveniente. Después de definir en la primera parte del ARFC las Regiones de Influencia (RDI) de cada estación hidrométrica considerada como localidad sin datos, se obtuvieron sus predicciones regionales con dos métodos clásicos: el de las estaciones-años y el de los momentos L ponderados. Dichas predicciones regionales se contrastaron con las locales o históricas, las cuales se estimaron con base en las tres distribuciones de probabilidad establecidas bajo precepto. Con base en los resultados se desarrolló un método regional similar al índice de crecientes aplicable en cualquier localidad sin datos hidrométricos de la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa, México).

MATERIALES Y MÉTODOS

Momentos y cocientes L

Los momentos L (λ_i) son combinaciones lineales de los momentos de probabilidad ponderada (β_j) desarrollados por Greenwood *et al.* (1979) y éstos son parámetros estadísticos asociados a los datos ordenados. Los momentos L son un sistema eficiente y robusto para el ajuste de los modelos probabilísticos actualmente en uso o establecidos bajo precepto. Sus ecuaciones de cálculo son (Stedinger *et al.*, 1993; Hosking y Wallis, 1997; Campos, 2006):

$$\lambda_1 = \beta_0 \tag{1}$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot \beta_1 - \beta_0 \tag{2}$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot \beta_2 - 6 \cdot \beta_1 + \beta_0 \tag{3}$$

$$\lambda_4 = 20 \cdot \beta_3 - 30 \cdot \beta_2 + 12 \cdot \beta_1 - \beta_0 \tag{4}$$

Además se definen los cocientes (τ) de momentos L , comenzando con $L-Cv$ que es análogo a este coeficiente y después los de similitud con los coeficientes de asimetría y de kurtosis:

hydrometric stations with registers of maximum annual flows. Based on these quotients, the most convenient regional probabilistic model is obtained as the General Extreme Values Distribution. In the first part of the RFFA, after defining the Regions of Influence (ROI) of each hydrometric station considered sites without data, their regional predictions are obtained with the classical methods: stations-years and weighted L moments. These regional predictions are contrasted with local or historical predictions, which were estimated on the basis of three probability distributions established under precept. Based on the results, a regional method was developed, similar to the flood index, applicable to any site without hydrometric data in Hydrological Region Num. 10 (Sinaloa, México).

MATERIALS AND METHODS

L moments and quotients

L moments (λ_i) are linear combinations of probability weighted moments (β_j) developed by Greenwood *et al.* (1979) and these are statistical parameters associated with ordered data. L moments are an efficient robust system for fitting probabilistic models currently used or established under precept. The calculation equations are the following (Stedinger *et al.*, 1993; Hosking and Wallis, 1997; Campos, 2006):

$$\lambda_1 = \beta_0 \tag{1}$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot \beta_1 - \beta_0 \tag{2}$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot \beta_2 - 6 \cdot \beta_1 + \beta_0 \tag{3}$$

$$\lambda_4 = 20 \cdot \beta_3 - 30 \cdot \beta_2 + 12 \cdot \beta_1 - \beta_0 \tag{4}$$

Moreover, the L moment quotients (τ) are defined, beginning with $L-Cv$, which is analog to this coefficient, followed by similarity quotients with asymmetry and kurtosis coefficients.

$$\tau_2 = \lambda_2 / \lambda_1 \tag{5}$$

$$\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2 \tag{6}$$

$$\tau_4 = \lambda_4 / \lambda_2 \tag{7}$$

In an n -sized simple, with its elements in ascending order ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$), the unbiased estimators of β_r are:

$$\tau_2 = \lambda_2/\lambda_1 \tag{5}$$

$$\tau_3 = \lambda_3/\lambda_2 \tag{6}$$

$$\tau_4 = \lambda_4/\lambda_2 \tag{7}$$

En una muestra de tamaño n , con sus elementos arreglados en orden ascendente ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$) los estimadores insesgados de β_r son:

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \tag{8}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_j \tag{9}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_j \tag{10}$$

con la expresión general siguiente:

$$\beta_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_j \tag{11}$$

En el Cuadro 1 se presentan los cuatro primeros momentos L (λ_j), así como sus tres cocientes τ_2 , τ_3 y τ_4 , de cada una de las 21 estaciones hidrométricas procesadas con registro de gasto máximo anual. En el último renglón del Cuadro 1 se presentan los valores promedio de los cocientes τ_3 y τ_4 , los cuales se llevan al diagrama de momentos L (Hosking y Wallis, 1997), para encontrar el modelo probabilístico más conveniente a emplear en la aplicación de los métodos regionales. Lo anterior se muestra en la Figura 1, donde se observa que la distribución General de Valores Extremos (GVE) es el modelo probabilístico más adecuado regionalmente.

Pruebas de calidad estadística

Para que los resultados del análisis probabilístico sean teóricamente válidos, los registros de gasto máximo anual deben cumplir ciertos criterios estadísticos como aleatoriedad, independencia, homogeneidad y ser estacionarios, los cuales implican que los datos proceden de una variable aleatoria originada por un único proceso natural que no ha cambiado en el tiempo y por ello está libre de componentes determinísticas como persistencia, tendencia, cambios en la media y exceso o déficit de variabilidad.

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \tag{8}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_j \tag{9}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_j \tag{10}$$

with the following general expression:

$$\beta_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_j \tag{11}$$

Table 1 presents the first four L moments (λ_j), as well as their three quotients t_2 , t_3 and t_4 , of each of the 21 hydrometric stations processed with registers of maximum annual flow. The last row of Table 1 presents the average values of the quotients t_3 and t_4 , which lead to the L moment diagram (Hosking and Wallis, 1997) to find the most convenient probabilistic model to be used in the application of the regional methods. This is shown in Figure 1 where it can be seen that the Generalized Extreme Values (GEV) distribution is regionally the most adequate probabilistic model.

Statistical quality tests

For the results of the probabilistic analysis to be theoretically valid, the registers of maximum annual flow must satisfy certain statistical criteria such as randomness, independence and homogeneity, and they should be stationary. These criteria imply that the data are from a random variable originated by a single natural process that has not changed over time and, for this reason, is free of deterministic components such as persistence, trend, changes in the medium and excess or deficit of variability. To prove the above, one general test (Von Neumann) and six specific tests were applied: two of persistence (Anderson and Sneyers), two of tendency (Kendall and Spearman), one of variability (Bartlett) and one of mean change (Cramer). These tests can be consulted in WMO (1971) and Machiwal and Jha (2012). It was found that the registers of the hydrometric stations Choix and Pericos have persistence, which is detected even by the Von Neumann test. The Jaina, Santa Cruz and Acatitán stations show trend with the specific tests, but it is not detected with the von Neumann test. These registers will not be eliminated, but their predictions should be considered less reliable.

**Cuadro 1. Características generales, momentos L y sus cocientes de las 21 estaciones hidrométricas procesadas con registro de crecientes de la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa).
Table 1. General characteristics, L moments and their quotients, of the 21 hydrometric stations processed with flood records in the Hydrological Region Num. 10 (Sinaloa).**

Número	Nombre	Años de registro (n_f)	Área (km ²)	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	τ_2	τ_3	τ_4
1	Chimipas	1965-2002 (24)	5098	883.083	314.8333	92.5535	48.3005	0.35652	0.29398	0.15342
2	Palo Dulce	1958-1986 (21)	6439	1129.238	507.5716	310.4512	264.2600	0.44948	0.61164	0.52064
3	San Francisco	1941-1973 (33)	17 531	1724.636	719.4811	307.0114	162.3656	0.41718	0.42671	0.22567
4	Huites	1942-1992 (51)	26 057	3328.333	1526.6280	749.3626	454.2722	0.45868	0.49086	0.29757
5	Choix	1956-2002 (38)	1403	348.974	137.9865	58.6143	45.0124	0.39541	0.42478	0.32621
6	Bamícori	1951-1983 (33)	223	189.182	91.0436	35.3100	14.4606	0.48125	0.38784	0.15883
7	La Tina	1960-1983 (24)	254	104.958	60.3388	29.3911	25.0248	0.57488	0.48710	0.41474
8	Jaina	1942-1998 (56)	8179	1020.786	481.9577	231.1959	168.3706	0.47214	0.47970	0.34935
9	Naranjo	1939-1984 (45)	2064	633.311	331.7414	135.9041	69.0024	0.52382	0.40967	0.20800
10	Zopilote	1939-2001 (56)	666	351.857	159.1338	32.3443	9.5601	0.45227	0.20325	0.06008
11	Guamuchil	1940-1971 (32)	1645	702.344	300.7974	125.0112	86.7324	0.42828	0.41560	0.28834
12	La Huerta	1970-1999 (28)	6149	945.107	327.0966	17.5007	-1.5715	0.34609	0.05350	-0.00480
13	Badiraguato	1974-1999 (26)	1018	1224.346	743.1706	477.5406	344.6665	0.60699	0.64257	0.46378
14	Chico Ruiz	1977-2002 (19)	391	205.737	86.4444	9.0218	-1.0238	0.42017	0.10437	-0.01184
15	Pericos	1961-1992 (30)	270	250.800	85.8850	21.3567	12.0921	0.34244	0.24867	0.14079
16	Tamazula	1963-1999 (32)	2241	596.875	181.6109	65.3921	53.6592	0.30427	0.36007	0.29546
17	El Bledal	1938-1994 (56)	371	289.000	123.8597	47.1353	33.7610	0.42858	0.38055	0.27257
18	Santa Cruz	1944-2002 (52)	8919	1037.615	499.3213	211.9679	179.3495	0.48122	0.42451	0.35919
19	Acatitán	1955-2002 (43)	1884	813.256	423.2702	148.4379	96.6583	0.52046	0.35069	0.22836
20	Ixpallino	1953-1999 (45)	6166	1198.978	479.0091	211.9988	167.9236	0.39951	0.44258	0.35056
21	El Quelire	1961-2001 (33)	835	479.091	218.2519	70.1655	36.5321	0.45555	0.32149	0.16739
	Promedios	—	—	—	—	—	—	—	0.37905	0.25068

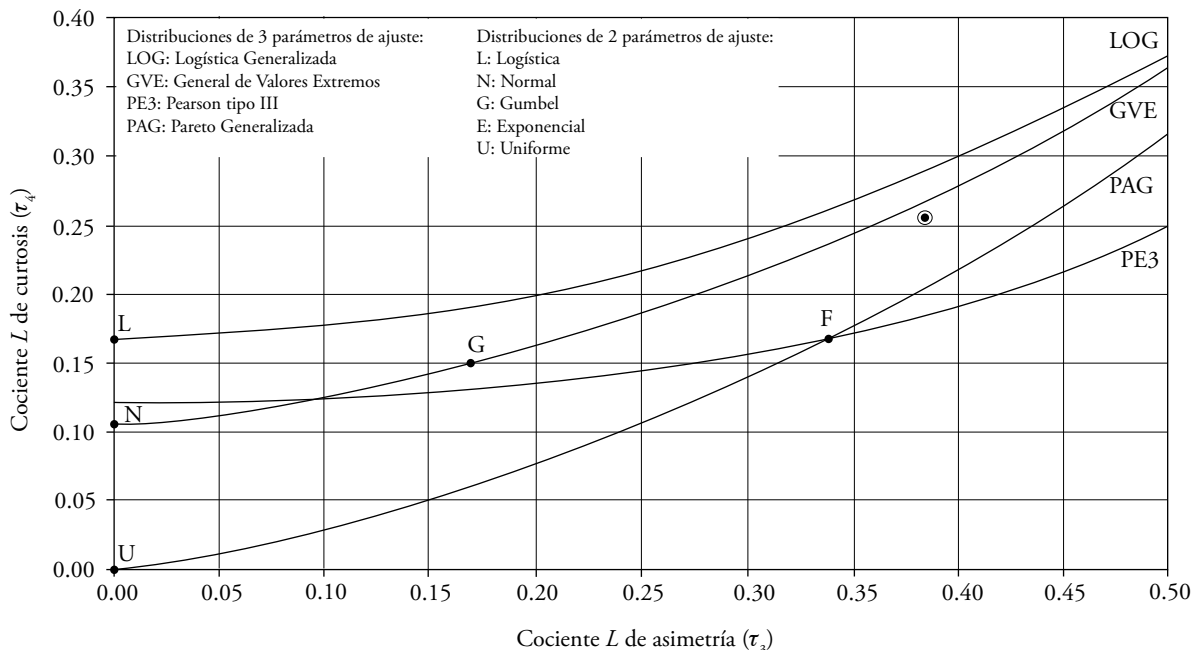


Figura 1. Diagrama de cocientes de momentos L .
Figure 1. Diagram of L moment quotients.

Para probar lo anterior se aplicó una prueba general (Von Neumann) y seis específicas: dos de persistencia (Anderson y Sneyers), dos de tendencia (Kendall y Spearman), una de variabilidad (Bartlett) y una de cambio en la media (Cramer). Estas pruebas se pueden consultar en WMO (1971) y Machiwal y Jha (2012). Al respecto se encontró que los registros de las estaciones hidrométricas Choix y Pericos presentan persistencia, que incluso es detectada con el test de Von Neumann; en cambio las estaciones Jaina, Santa Cruz y Acatitán muestran tendencia con las pruebas específicas, pero no es detectada con el test de Von Neumann. Tales registros no serán eliminados, pero sus predicciones deben ser consideradas menos confiables.

Predicciones locales o históricas

Para estas predicciones se aplicaron exclusivamente los tres modelos probabilísticos probados como adecuados para su ajuste a registros de crecientes y por ello están establecidos bajo precepto en EE.UU. e Inglaterra (NERC, 1975; WRC, 1977; Shaw *et al.*, 2011). Tales modelos son las distribuciones Log-Pearson tipo III (LP3), la General de Valores Extremos (GVE) y la Logística Generalizada (LOG). La estimación de sus tres parámetros de ajuste se realizó con base en los métodos estadísticos más consistentes, por lo cual la distribución LP3 se ajustó por momentos (Bobée y Ashkar, 1991) en los dominios logarítmico (dl) y real (dr). La distribución GVE se ajustó con base en cuatro métodos:

Local or historical predictions

For these predictions, only the three probabilistic models proved adequate for fit to flood records and, therefore, are established under precept in the USA and England (NERC, 1975; WRC, 1977; Shaw *et al.*, 2011). These models are the Log-Pearson type III (LP3), Generalized Extreme Values (GEV) and the Generalized Logistic (LOG) distributions. Their three fit parameters were estimated on the basis of the most consistent statistical methods, whereby the LP3 distribution was fit by moments (Bobée and Ashkar, 1991) in the logarithmic (ld) and real (rd) domains. The GEV distribution was fit based on four methods: moments (mo), sextiles (sx), maximum likelihood (ml) and L -moments (Lm), which can be consulted in Clarke (1973), Stedinger *et al.* (1993) and Campos (2006). Finally, the LOG model was applied only by the L moment method (Hosking and Wallis, 1997). Table 2 shows the predictions obtained with the three probabilistic methods used in the six return periods to be processed; values adopted as local or historic predictions are shown in bold type as they correspond to a smaller standard fit error (Kite, 1977).

Regional stations-years method

In this method (Garros-Berthet, 1994, Campos, 2006), the data on maximum annual flow at each hydrometric station

momentos (mo), sextiles (sx), máxima verosimilitud (mv) y momentos L (mL), los cuales se pueden consultar en Clarke (1973), Stedinger *et al.*, (1993) y Campos (2006). Finalmente, el modelo LOG sólo se aplicó a través del método de momentos L (Hosking y Wallis, 1997).

En el Cuadro 2 se muestran las predicciones obtenidas con los tres modelos probabilísticos utilizados, en los seis periodos de retorno que serán procesados y mostrando en negritas los valores adoptados como predicciones locales o históricas, por corresponder a menor error estándar de ajuste (Kite, 1977).

Método regional de las estaciones-años

En este método (Garros-Berthet, 1994; Campos, 2006) los datos de gasto máximo anual de cada estación hidrométrica se dividen entre su media aritmética. En seguida se reúnen o concatenan los cinco registros de las estaciones auxiliares que forman la región de influencia de cada estación hidrométrica base. En el Cuadro 3 se citan las estaciones auxiliares que conforman la región de influencia de cada estación hidrométrica tomada como base, según resultados del artículo previo.

Después se ajusta mediante los cuatro métodos ya citados, la distribución GVE y se seleccionan los resultados con los menores error estándar de ajuste. Las predicciones obtenidas con el modelo GVE, se escalan o dimensionan con el gasto medio anual del registro base (λ_1). Los resultados obtenidos para cada una de las 21 estaciones hidrométricas procesadas se muestran en el Cuadro 4 así como los errores relativos (E.R.) de las predicciones obtenidas con el método de las estaciones-años, cuya expresión es:

$$E.R. = \frac{(Q^{Tr})_{estim} - (Q^{Tr})_{obser}}{(Q^{Tr})_{obser}} 100 \tag{12}$$

donde el error relativo se expresa en porcentaje y presenta un valor negativo cuando el gasto estimado ($(Q^{Tr})_{estim}$) resultó menor que el calculado como predicción local o histórica (Cuadro 2) u observado ($(Q^{Tr})_{obser}$); cuando conduce a un valor positivo el gasto estimado fue superior al observado.

Método regional de los momentos L ponderados

En este método (Stedinger *et al.*, 1993; Campos, 2006) la distribución GVE se ajusta por momentos L , con base en λ_1 , λ_2 y λ_3 (Cuadro 1), obtenidos en las cinco estaciones hidrométricas auxiliares (Cuadro 3) de cada región de influencia, de la manera siguiente. En cada estación hidrométrica sus tres momentos L se vuelven adimensionales al dividirlos entre λ_1 (entonces $\lambda_1=1.00$); después cada momento se pondera por el tamaño del registro,

are divided by the arithmetic mean. The five registers from the auxiliary stations that form the region of influence of each base hydrometric station are then joined, or concatenated. Table 3 shows information on the auxiliary stations that form the region of influence of each hydrometric station designated as base, according to the results of the previous article.

The GEV distribution is then fit with the four methods described above, and the results with the smallest standard fit errors are selected. The predictions obtained with the GEV model are scaled or dimensioned with the mean annual flow of the base register (λ_1). The results obtained for each of the 21 hydrometric stations processed are shown in Table 4, as well as the relative errors (R.E.) of the predictions obtained with the stations-years method, expressed as:

$$E.R. = \frac{(Q^{Tr})_{estim} - (Q^{Tr})_{obser}}{(Q^{Tr})_{obser}} 100 \tag{12}$$

where the relative error is expressed in percentage and has a negative value when the estimated flow ($(Q^{Tr})_{estim}$) is smaller than that calculated as a local or historic prediction (Table 2) or observed flow ($(Q^{Tr})_{obser}$); when it leads to a positive value, estimated flow was higher than the observed flow.

Regional model of weighted L moments

In this method (Stedinger *et al.*, 1993; Campos, 2006) the GEV distribution is fit by L moments based on λ_1 , λ_2 and λ_3 (Table 1), obtained at the five auxiliary hydrometric stations (Table 3) of each region of influence in the following manner. At each hydrometric station, their three L -moments become dimensionless when they are divided by λ_1 (then, $\lambda_1=1.00$); each moment is then weighted by the size of the register, multiplying it by n_i and dividing it by the sum of number of years of the five registers of the hydrometric stations that are joined, or concatenated. Finally, the five weighted moments are added to obtain that of the region of influence. The GEV distribution is fit with the L -moment method and its predictions are scaled or dimensioned with the mean annual flow of the base register (λ_1). The results are shown in Table 5, as are their respective relative errors obtained with equation 12.

RESULTS AND DISCUSSION

General appraisal

The predictions obtained with the two regional methods applied, concentrated in Tables 4 and 5, are

Cuadro 2. Predicciones locales o históricas de crecientes ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) estimadas con las distribuciones LP3, GVE y LOG en las estaciones hidrométricas indicadas.**Table 2. Local, or historical, flood predictions ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) estimated with LP3, GEV and LOG distributions at the indicated hydrometric stations.**

Estación hidrométrica	(MA [†])	EEA [‡] ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	Periodos de retorno analizados, en años					
			5	10	25	50	100	500
1. Chinipas	LP3 (dr)	152.9	1270	1633	2100	2449	2797	3602
	GVE(mL)	139.0	1231	1626	2209	2714	3283	4919
	LOG (mL)	154.1	1203	1577	2167	2717	3384	5558
2. Palo Dulce	LP3 (dr)	779.7	1674	2543	3906	5107	6460	10215
	GVE (mL)	895.5	1274	1913	3252	4858	7267	18597
	LOG (mL)	922.3	1246	1854	3133	4683	7040	18427
3. San Francisco	LP3 (dl)	294.6	2316	3390	5286	7195	9635	18186
	GVE (mL)	376.6	2292	3258	4925	6593	8732	16355
	LOG (mL)	419.1	2251	3166	4791	6483	8739	17389
4. Huites	LP3 (dl)	793.9	4368	6679	11009	15613	21776	45130
	GVE (sx)	1021.6	4134	6166	10030	14266	20144	44215
	LOG (mL)	1061.2	4199	6146	9812	13837	19452	42767
5. Choix	LP3 (dl)	96.8	470	668	999	1317	1706	2976
	GVE (mv)	99.9	461	650	979	1312	1741	3294
	LOG (mL)	110.2	451	626	937	1260	1691	3337
6. Bamícori	LP3 (dl)	46.5	275	416	649	866	1125	1913
	GVE (mL)	52.3	270	391	591	782	1020	1815
	LOG (mL)	56.7	264	378	575	773	1029	1967
7. La Tina	LP3 (dr)	86.2	156	250	401	532	679	1072
	GVE(mv)	86.2	144	229	393	573	824	1860
	LOG (mL)	92.2	140	217	361	520	740	1649
8. Jaina	LP3 (dl)	339.3	1399	2105	3320	4504	5969	10785
	GVE (mv)	311.1	1347	2029	3309	4692	6589	14199
	LOG (mL)	382.1	1310	1925	3072	4320	6046	13118
9. Naranjo	LP3 (dl)	113.3	947	1473	2323	3091	3973	6499
	GVE (mL)	156.3	909	1353	2105	2842	3775	7009
	LOG (mL)	173.5	889	1309	2044	2799	3792	7522
10. Zopilote	LP3 (dr)	44.2	556	730	926	1051	1158	1352
	GVE (mL)	48.5	558	738	977	1161	1351	1817
	LOG (mL)	60.7	538	711	963	1181	1429	2152
11. Guamuchil	LP3 (dr)	235.0	1026	1448	2074	2603	3183	4736
	GVE(mL)	234.9	948	1351	2038	2717	3579	6599
	LOG (mL)	246.8	930	1312	1983	2675	3590	7052
12. La Huerta	LP3 (dr)	105.6	1402	1658	1897	2025	2121	2258
	GVE(mL)	96.3	1431	1718	2027	2223	2393	2709
	LOG (mL)	124.2	1385	1675	2044	2325	2612	3316
13. Badiraguato	LP3 (dl)	808.2	1405	2556	5330	9061	15191	48733
	GVE (mL)	1077.2	1374	2283	4244	6664	10381	28652
	LOG (mL)	1129.7	1326	2187	4048	6364	9961	28040
14. Chico Ruiz	LP3 (dl)	22.7	341	431	515	558	589	629
	GVE (mL)	27.7	329	413	510	576	637	761
	LOG (mL)	34.2	318	401	511	599	692	933
15. Pericos	LP3 (dl)	26.0	354	465	620	745	878	1222
	GVE (mL)	28.5	354	457	601	719	846	1184
	LOG (mL)	33.3	345	443	592	725	881	1365
16. Tamazula	LP3 (dl)	139.7	779	1029	1421	1777	2195	3476
	GVE (mL)	145.0	770	1009	1390	1745	2173	3543

Continúa...

Continúa Cuadro 2.

Estación hidrométrica	(MA [‡])	EEA [‡] (m ³ .s ⁻¹)	Periodos de retorno analizados, en años					
			5	10	25	50	100	500
17. El Bledal	LOG (mL)	149.8	757	983	1360	1731	2203	3871
	LP3 (dl)	65.5	416	589	851	1077	1331	2033
	GVE(mL)	64.0	401	565	834	1090	1404	2446
18. Santa Cruz	LOG (mL)	67.5	393	548	813	1077	1419	2658
	LP3 (dr)	399.3	1525	2274	3434	4447	5583	8721
	GVE (mL)	406.0	1434	2104	3258	4410	5883	11118
19. Acatitán	LOG (mL)	421.2	1406	2040	3165	4335	5891	11843
	LP3 (dr)	247.2	1229	1797	2623	3300	4018	5826
	GVE(mL)	226.9	1227	1779	2654	3459	4422	7458
20. Ixpalino	LOG (mL)	239.0	1195	1718	2585	3432	4502	8240
	LP3 (dl)	343.4	1635	2311	3410	4431	5651	9450
	GVE (mL)	346.4	1557	2201	3333	4485	5982	11455
21. El Quelite	LOG (mL)	367.1	1531	2142	3243	4404	5969	12090
	LP3 (dl)	65.8	722	1043	1519	1919	2355	3506
	GVE (mL)	86.7	707	987	1414	1795	2238	3568
	LOG (mL)	98.2	689	954	1381	1789	2294	3995

[‡]Método de ajuste (dr: momentos dominio real; mL: momentos L; dl: momentos dominio logarítmico; sx: sextiles; mv: máxima verosimilitud). [‡]Error estándar de ajuste ♦ [‡]Adjustment method (dr: real domain moments; ml: L-moments; dl: logarithmic domain moments; sx: sextiles; mv: maximum likelihood. [‡]Adjustment standar error.

Cuadro 3. Números de las estaciones auxiliares que definen la región de influencia de cada estación base indicada.
Table 3. Numbers of the auxiliary stations that define the region of influence of each base station indicated.

Número Estación base	Número de estación auxiliar					Número Estación base	Número de estación auxiliar				
	1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	5 ^a .		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	4 ^a .	5 ^a .
1 Chinipas	8	3	18	13	4	12 La Huerta	4	2	3	18	8
2 Palo Dulce	4	3	12	1	8	13 Badiraguato	16	8	1	19	20
3 San Francisco	4	2	1	8	18	14 Chico Ruiz	17	10	11	15	6
4 Huites	2	3	12	1	18	15 Pericos	6	14	17	10	11
5 Choix	9	7	11	16	14	16 Tamazula	13	5	7	9	19
6 Bamícori	15	17	14	10	11	17 El Bledal	10	14	15	6	11
7 La Tina	9	5	11	21	19	18 Santa Cruz	8	20	3	1	4
8 Jaina	18	20	1	3	13	19 Acatitán	21	7	16	9	5
9 Naranjo	5	7	11	10	14	20 Ixpalino	18	8	13	1	3
10 Zopilote	17	14	11	15	9	21 El Quelite	19	7	9	5	10
11 Guamuchil	9	5	14	7	10	-	-	-	-	-	-

multiplicándolo por n_i y dividiéndolo entre el número de años que suman los cinco registros de las estaciones hidrométricas que se reúnen o concatenan. Por último, se suman los cinco momentos ponderados, para obtener el de la región de influencia. La distribución GVE se ajusta con el método de momentos L y sus predicciones se escalan o dimensionan con el gasto medio anual del registro base (λ_1). Los resultados están en el Cuadro 5, además de sus respectivos errores relativos obtenidos con la ecuación 12.

quite similar, and this is extremely important since the methods are notably different in their operational approach. In only five stations their predictions differ in the return periods of 100 and 500 years: Palo Dulce, Bamícori, Naranajo, Guamuchil and El Bledal.

In general, the predictions obtained with the stations-years procedure are closer because they are

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Apreciaciones generales

Las predicciones obtenidas con los dos métodos regionales aplicados, concentradas en los Cuadros 4 y 5, son bastante similares y ello es sumamente importante, ya que tales métodos son notablemente diferentes en su planteamiento operativo. Únicamente en cinco estaciones sus predicciones difieren en los periodos de retorno de 100 y 500 años: Palo Dulce, Bamícori, Naranajo, Guamuchil y El Bledal. En general las predicciones obtenidas con el procedimiento de las estaciones-años son más aproximadas por ser ligeramente mayores, lo cual se observa en las estaciones Bamícori, La Tina, Naranajo, Guamuchil y El Bledal. Los resultados del Cuadro 4 muestran una correspondencia excelente en las estaciones San Francisco, Choix, El Bledal y Acatitán, con errores relativos por exceso menores del 10 %. Jaina, Guamuchil y El Quelite tienen, errores por defecto o exceso menores del 20 %.

Los grandes errores relativos por defecto se presentan en Badiraguato, cuyo registro de 26 años presenta en 1981 un gasto máximo de $9,245 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, el cual origina un gasto máximo específico de $9.082 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ que resulta bastante superior a los encontrados en Huites, Jaina, Guamuchil y El Bledal de 0.576 , 0.855 , 2.132 y $4.248 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, respectivamente. Este valor disperso eleva notoriamente las predicciones locales, de manera que los métodos regionales no pueden reproducir tal comportamiento. Lo mismo se observa en Huites, Bamícori, La Tina, Jaina y Naranajo, pero con menor severidad.

Por el contrario, en La Huerta, Chico Ruiz, Chinipas, Pericos, Ixpalino y Santa Cruz, las predicciones regionales resultan superiores a las locales. El caso extremo lo define el registro de la estación La Huerta, cuyo ajuste local o histórico del modelo GVE condujo a un parámetro de forma positivo, es decir, que sus crecientes presentan un comportamiento de concavidad hacia abajo, en el papel de probabilidad Gumbel-Powell. Y ocurrió lo mismo en Chico Ruiz.

Debido a que las regiones de influencia fueron definidas con base en la estacionalidad de las crecientes, sin utilizar los registros hidrométricos para obtener estadísticos que fueran empleados como atributos en la ecuación de la distancia Euclidiana ponderada, sus predicciones regionales contrastarán mucho más en

slightly higher. This is observed in the Bamícori, La Tina, Naranajo, Guamuchil and El Bledal stations. The results in Table 4 show excellent correspondence in the San Francisco, Choix, El Bledal and Acatitán stations, with relative errors by excess of less than 10 %. Jaina, Guamuchil and El Quelite have errors by default or excess of less than 20 %.

The large relative errors by default are presented in Badiraguato, whose 26-year register shows a maximum flow of $9,245 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in 1981, originating a specific maximum flow of $9.082 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, which is much higher than those found in Huites, Jaina, Guamuchil and El Bledal of 0.576 , 0.855 , 2.132 and $4.248 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, respectively. This disperse value raises the local predictions notably, in such a way that the regional methods cannot reproduce the behavior. The same is observed in Huites, Bamícori, La Tina, Jaina and Naranajo, but it is less severe. In contrast, in La Huerta, Chico Ruiz, Chinipas, Pericos, Ixpalino and Santa Cruz, the regional predictions are superior to the local predictions. The extreme case is defined by the register of the La Huerta station, whose local or historical fit of the GEV model led to a positive parameter; that is, that their floods have a descending concave behavior in the Gumbel-Powell probability paper. And the same occurred in Chico Ruiz.

Due to the fact that the regions of influence were defined on the basis of flood seasonality, without the use of the hydrometric registers to obtain statistics used as attributes in the weighted Euclidian distance equation, their regional predictions will contrast much more in those registers that have a different behavior. This occurred in Badiraguato, La Tina, Huites and Jaina by default and in La Huerta, Chico Ruiz, Chinipas and Ixpalino by excess.

Regional method for ungauged watersheds

During the application of the stations-years regional method in each region of influence to obtain their predictions (Table 4), an enormous dimensionless similarity was observed in the values, that is, those from the fit of the GEV model. These values are shown in Table 6, and it is observed that the similarity exists, but logically decreases as the return period grows. In the last five rows of Table 6 are their indicators of central tendency, whose sample median corresponds to the regional method that is applicable to any ungauged watershed of Hydrological Region

Cuadro 4. Predicciones de crecientes ($m^3 \cdot s^{-1}$) estimadas con el método regional de las estaciones-años y sus errores relativos.
Table 4. Flood predictions ($m^3 \cdot s^{-1}$) estimated with the stations-years regional method and their relative errors.

Estación hidrométrica	Concepto [†]	EEA [‡] MA [§]	Periodos de retorno analizados, en años					
			5	10	25	50	100	500
1. Chinipas	Predicción (218)	0.184	1174	1740	2755	3811	5208	10484
	E. R. [¶]	mL	-4.6	7.0	24.7	40.4	58.6	113.1
2. Palo Dulce	Predicción (192)	0.122	1529	2233	3496	4807	6543	13087
	E. R. [¶]	mv	-8.7	-12.2	-10.5	-5.9	1.3	28.1
3. San Francisco	Predicción (204)	0.165	2314	3389	5300	7266	9846	19430
	E. R. [¶]	mv	-0.1	-0.0	0.3	1.0	2.2	6.8
4. Huites	Predicción (158)	0.157	4613	6494	9582	12531	16162	28238
	E. R. [¶]	mv	5.6	-2.8	-13.0	-19.7	-25.8	-37.4
5. Choix	Predicción (176)	0.135	496	712	1066	1405	1825	3225
	E. R. [¶]	mv	5.5	6.6	6.7	6.7	7.0	8.4
6. Bamícori	Predicción (206)	0.114	274	381	547	698	876	1427
	E. R. [¶]	mv	-0.4	-8.4	-15.7	-19.4	-22.1	-25.4
7. La Tina	Predicción (215)	0.155	150	220	338	454	601	1114
	E. R. [¶]	mv	4.2	-3.9	-14.0	-20.8	-27.1	-40.1
8. Jaina	Predicción (180)	0.134	1385	2024	3150	4298	5793	11278
	E. R. [¶]	mv	2.8	-0.2	-4.8	-8.4	-12.1	-20.6
9. Naranjo	Predicción (170)	0.154	918	1301	1916	2490	3182	5405
	E. R. [¶]	mv	-3.1	-11.7	-17.5	-19.4	-19.9	-16.8
10. Zopilote	Predicción (174)	0.099	505	703	1013	1297	1631	2671
	E. R. [¶]	mL	-9.2	-3.7	9.4	23.4	40.8	97.6
11. Guamuchil	Predicción (209)	0.140	1021	1505	2332	3153	4196	7865
	E. R. [¶]	mv	7.7	11.4	14.4	16.0	17.2	19.2
12. La Huerta	Predicción (213)	0.180	1252	1833	2865	3929	5328	10540
	E. R. [¶]	mL	-12.5	6.7	41.3	76.7	122.6	289.1
13. Badiraguato	Predicción (200)	0.129	1694	2383	3511	4585	5906	10281
	E. R. [¶]	mL	20.6	-6.8	-34.1	-49.4	-61.1	-78.9
14. Chico Ruiz	Predicción (220)	0.092	300	412	581	729	899	1401
	E. R. [¶]	mL	-12.0	-4.4	12.8	30.6	52.6	122.7
15. Pericos	Predicción (209)	0.091	370	510	719	901	1109	1716
	E. R. [¶]	mL	4.5	9.7	16.0	20.9	26.3	40.4
16. Tamazula	Predicción (176)	0.185	838	1248	1956	2664	3570	6800
	E. R. [¶]	mL	7.6	21.3	37.6	49.9	62.6	95.6
17. El Bledal	Predicción (183)	0.187	422	596	874	1133	1445	2445
	E. R. [¶]	mv	5.2	5.5	4.8	3.9	2.9	-0.0
18. Santa Cruz	Predicción (209)	0.117	1379	2005	3128	4295	5839	11657
	E. R. [¶]	mv	-9.6	-11.8	-8.9	-3.4	4.6	33.7
19. Acatitán	Predicción (172)	0.112	1145	1642	2468	3267	4261	7623
	E. R. [¶]	Mv	-6.7	-7.7	-7.0	-5.6	-3.6	2.2
20. Ixpalino	Predicción (191)	0.195	1619	2372	3695	5039	6787	13168
	E. R. [¶]	mL	-1.0	2.6	8.4	13.7	20.1	39.3
21. El Quelite	Predicción (206)	0.116	698	999	1481	1928	2467	4184
	E. R. [¶]	sx	-3.3	-4.2	-2.5	0.5	4.8	19.3

[†]Número de años conjuntados. [‡]Error estándar de ajuste, adimensional. [§]Método de ajuste (mL: momentos L; mv: máxima verosimilitud; sx: sextiles). [¶]Error relativo, en porcentaje ♦ Number of joined years. [‡]Adjustment standar error. Adjustment method (ml: L-moments; mv: maximum likelihood; sx: sextiles. Relative error, in percentage.

Cuadro 5. Predicciones de crecientes ($m^3 \cdot s^{-1}$) estimadas con el método regional de los momentos L ponderados y sus errores relativos.**Table 5. Flood predictions ($m^3 \cdot s^{-1}$) estimated with the weighted L moments regional method and their relative errors.**

Estación hidrométrica	λ_2^\dagger λ_3^\dagger	Concepto [‡]	Periodos de retorno analizados, en años					
			5	10	25	50	100	500
1. Chinipas	0.47892	Predicción (218)	1149	1717	2764	3878	5383	11272
	0.23305	E. R. [§]	-6.7	5.6	25.1	42.9	64.0	129.2
2. Palo Dulce	0.42628	Predicción (192)	1536	2179	3261	4318	5646	10211
	0.17226	E. R. [§]	-8.2	-14.3	-16.5	-15.4	-12.6	-0.0
3. San Francisco	0.45515	Predicción (204)	2266	3323	5223	7199	9817	19709
	0.21116	E. R. [§]	-2.2	-2.0	-1.2	0.1	1.9	8.4
4. Huites	0.42074	Predicción (158)	4595	6450	9489	12384	15941	27724
	0.16015	E. R. [§]	5.2	-3.4	-13.8	-20.7	-26.8	-38.6
5. Choix	0.45259	Predicción (152)	491	700	1045	1374	1780	3132
	0.17376	E. R. [§]	4.5	4.8	4.6	4.3	4.3	5.2
6. Bamícori	0.42119	Predicción (193)	278	378	523	648	789	1187
	0.12106	E. R. [§]	1.1	-9.1	-19.4	-25.2	-29.9	-38.0
7. La Tina	0.46971	Predicción (191)	149	215	322	425	551	973
	0.18019	E. R. [§]	3.5	-6.1	-18.1	-25.8	-33.1	-47.7
8. Jaina	0.45059	Predicción (180)	1346	1965	3071	4213	5719	11349
	0.20617	E. R. [§]	-0.1	-3.2	-7.2	-10.2	-13.2	-20.1
9. Naranjo	0.44874	Predicción (169)	927	1292	1854	2359	2947	4732
	0.14663	E. R. [§]	-2.1	-12.3	-20.2	-23.7	-25.8	-27.2
10. Zopilote	0.43700	Predicción (182)	502	703	1020	1313	1662	2764
	0.15315	E. R. [§]	-9.7	-3.7	10.2	24.9	43.5	104.4
11. Guamuchil	0.47091	Predicción (182)	1037	1465	2130	2732	3441	5621
	0.15792	E. R. [§]	9.4	8.4	4.5	0.6	-3.9	-14.8
12. La Huerta	0.46039	Predicción (213)	1234	1820	2883	4000	5493	11215
	0.21801	E. R. [§]	-13.8	5.9	42.2	79.9	129.5	314.0
13. Badiraguato	0.42546	Predicción (200)	1663	2359	3532	4680	6124	11100
	0.17255	E. R. [§]	18.4	-7.7	-33.7	-48.4	-59.7	-77.2
14. Chico Ruiz	0.43085	Predicción (207)	298	412	586	740	920	1461
	0.13860	E. R. [§]	-12.6	-4.4	13.8	32.6	56.2	132.3
15. Pericos	0.44335	Predicción (196)	370	511	724	912	1127	1763
	0.143760	E. R. [§]	4.5	9.9	16.8	22.4	28.4	44.3
16. Tamazula	0.51452	Predicción (176)	820	1234	1966	2716	3698	7330
	0.23153	E. R. [§]	5.3	19.9	38.4	52.8	68.5	110.9
17. El Bledal	0.43041	Predicción (170)	431	584	808	997	1208	1797
	0.11994	E. R. [§]	7.5	3.4	-3.1	-8.5	-14.0	-26.5
18. Santa Cruz	0.43126	Predicción (209)	1364	1966	3032	4124	5553	10832
	0.19384	E. R. [§]	-10.6	-13.5	-11.7	-7.3	-0.5	24.2
19. Acatitán	0.44863	Predicción (172)	1123	1610	2429	3228	4230	7671
	0.18081	E. R. [§]	-8.5	-9.5	-8.5	-6.7	-4.3	2.9
20. Ixpalino	0.46895	Predicción (191)	1582	2339	3705	5129	7022	14208
	0.21904	E. R. [§]	-3.2	1.2	8.7	15.8	24.3	50.3
21. El Quelite	0.48593	Predicción (206)	703	1008	1494	1946	2488	4218
	0.17357	E. R. [§]	-2.6	-3.4	-1.6	1.4	5.6	20.3

[†]Momentos L de la región de influencia o ponderados ♦ L -moments of the region of influence or weighed.

^{*}Número de años reunidos o concatenados ♦ Number of years joined or concatenated.

[§]Error relativo, en porcentaje ♦ Relative error, in percentage.

aquellos registros que tengan un comportamiento diferente. Lo anterior ocurrió en Badiraguato, La Tina, Huites y Jaina por defecto y en La Huerta, Chico Ruiz, Chinipas e Ixpalino por exceso.

Método regional para cuencas sin aforos

Durante la aplicación del método regional de las estaciones-años en cada región de influencia para obtener sus predicciones (Cuadro 4), se observó una enorme similitud en los valores de éstas en forma adimensional, es decir las procedentes del ajuste del modelo GVE. Tales valores están en el Cuadro 6 y se observa la semejanza citada, la cual lógicamente disminuye al crecer el periodo de retorno. En los cinco renglones finales del Cuadro 6 están sus indicadores de tendencia central, cuya mediana muestral corresponde al método regional que resulta aplicable a cualquier cuenca sin aforos de la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa). También se probó usar exclusivamente las predicciones adimensionales de las once estaciones hidrométricas que tuvieron los menores errores relativos, ya sea por exceso o defecto, pero se obtienen prácticamente los mismos valores medianos.

Para hacer el escalamiento necesario se requiere conocer únicamente el gasto medio anual de la cuenca sin datos hidrométricos. Para resolver lo anterior se llevaron a un papel logarítmico, en las abscisas los valores del área de cuenca (A , km²) de cada estación hidrométrica procesada expuestas en la columna 4 del Cuadro 1, y en las ordenadas sus respectivos gastos medio anual (Q_{ma} , m³·s⁻¹) obtenidos de la columna 5 (λ_1) del Cuadro 1. Los puntos dibujados en la Figura 2 definen una relación lineal mostrando tres puntos dispersos, correspondientes a las estaciones Huites (4), La Tina (7) y Badiraguato (13), los cuales fueron eliminados para mejorar la correlación que fue 0.962 con las 18 parejas empleadas; la ecuación obtenida es:

$$Q_{ma} = 15.776 \cdot A^{0.4782} \quad (13)$$

La aplicación del método regional desarrollado es sumamente simple, consiste en localizar el sitio de interés y después su cuenca para obtener su área en km². La ecuación 13 se aplica para estimar su gasto medio anual, el cual multiplica a los valores medianos muestrales encontrados en el Cuadro 6 (penúltimo renglón), para definir las predicciones buscadas

Num. 10 (Sinaloa). Also tested was the exclusive use of the dimensionless predictions of the 11 hydrometric stations that had the smallest relative errors, whether by excess or default, but practically the same median values are obtained.

To do the necessary scaling, it is required to know only the mean annual flow of the basin without hydrometric data. To solve this, the values of the watershed area (A , km²) of each processed hydrometric station were taken to a logarithmic sheet, on the abscissas, presented in column 4 of Table 2 and, on the ordinates, their respective mean annual flows (Q_{ma} , m³ s⁻¹) obtained from column 5 (λ_1) of Table 1. The dots drawn in Figure 2 define a linear relationship showing three disperse dots, corresponding to the Huites (4), La Tina (7) and Badiraguato (13) stations. These were eliminated to improve the correlation, which was 0.962 with the 18 pairs used; the equation obtained is

$$Q_{ma} = 15.776 \cdot A^{0.4782} \quad (13)$$

Application of the regional method developed is extremely simple, consisting of locating the site of interest and then its watershed to obtain its area in km². Equation 13 is applied to estimate mean annual flow, which multiplies to the sample median values found in Table 6 (second to last row) to define the target predictions relative to the return periods of 5, 10, 25, 50, 100 and 500 years.

Contrast of the developed regional method

Campos (2008) found that the registers of the Pericos, Chico Ruiz and Los Molinos (not processed in this study) stations led to very low local predictions, and therefore, the Rational Method was applied; this method was formulated for the Hydrological Region Num. 10 (Sinaloa) with the results shown in Table 7. In the three stations mentioned above the developed regional method is now applied with the results also in Table 7.

The predictions shown in Table 7 for the contrasted regional methods are quite similar, but not entirely coincident. This is due to the fact that the Rational Method is more reliable; it is a hydrological technique for estimation of the relationship rainfall-runoff. In contrast, the now developed regional

Cuadro 6. Predicciones adimensionales de crecientes estimadas en la región de influencia, con el método regional de las estaciones-años en las estaciones hidrométricas indicadas.
Table 6. Dimensionless flood predictions estimated in the region of influence with the stations-years regional method in the indicated hydrometric stations.

Estación base	Periodos de retorno analizados, en años					
	5	10	25	50	100	500
Chinipas	1.329	1.970	3.120	4.315	5.898	11.872
Palo Dulce	1.354	1.977	3.096	4.257	5.794	11.589
San Francisco	1.342	1.965	3.073	4.213	5.709	11.266
Huites	1.386	1.951	2.879	3.765	4.856	8.484
Choix	1.422	2.039	3.055	4.027	5.229	9.241
Bamícori	1.450	2.013	2.892	3.690	4.632	7.541
La Tina	1.431	2.093	3.217	4.324	5.727	10.615
Jaina	1.357	1.983	3.086	4.210	5.675	11.048
Naranjo	1.449	2.055	3.026	3.931	5.024	8.534
Zopilote	1.434	1.998	2.880	3.685	4.363	7.591
Guamuchil	1.453	2.143	3.321	4.489	5.974	11.198
La Huerta	1.325	1.939	3.031	4.155	5.637	11.152
Badiraguato	1.384	1.946	2.868	3.745	4.824	8.397
Chico Ruiz	1.459	2.003	2.823	3.544	4.372	6.810
Pericos	1.477	2.034	2.866	3.593	4.422	6.841
Tamazula	1.404	2.091	3.277	4.463	5.981	11.392
El Bledal	1.461	2.063	3.025	3.921	5.001	8.461
Santa Cruz	1.329	1.932	3.015	4.139	5.627	11.234
Acatitán	1.408	2.019	3.035	4.017	5.239	9.374
Ixpalino	1.350	1.978	3.082	4.203	5.661	10.983
El Quelite	1.457	2.086	3.092	4.025	5.149	8.734
Mínimo	1.325	1.932	2.823	3.544	4.372	6.810
Máximo	1.477	2.143	3.321	4.489	5.981	11.872
Media aritmética	1.403	2.013	3.036	4.034	5.289	9.636
Mediana muestral	1.408	2.003	3.035	4.027	5.239	9.374
Mediana poblacional	1.402	2.013	3.034	4.028	5.272	9.537

relativas a los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Contraste del método regional desarrollado

Campos (2008) encontró que los registros de las estaciones Pericos, Chico Ruiz y Los Molinos, esta última no procesada en este estudio, conducían a predicciones locales muy bajas, por lo cual aplicó el método Racional formulado para la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa), con los resultados mostrados en el Cuadro 7. En las tres estaciones citadas se aplica ahora el método regional desarrollado, con los resultados también en el Cuadro 7.

Las predicciones mostradas en el Cuadro 7 para los métodos regionales contrastados, son bastante semejantes pero no plenamente coincidentes y ello se

method is exclusively statistical and, therefore, less reliable because it does not take design rainfall into account.

Refinements of the procedure presented

Zrinji and Burn (1996) proposed using a variable number of auxiliary stations that form the regions of influence, testing each region formed with a homogeneity test. Castellarin *et al.* (2001) also used seasonal indexes of annual maximum daily rainfall to assess the mean delay in rainfall occurrence and their respective floods. Another approach to region formation, also based on flood seasonality, can be obtained with the test proposed by Cunderlik and Burn (2006).

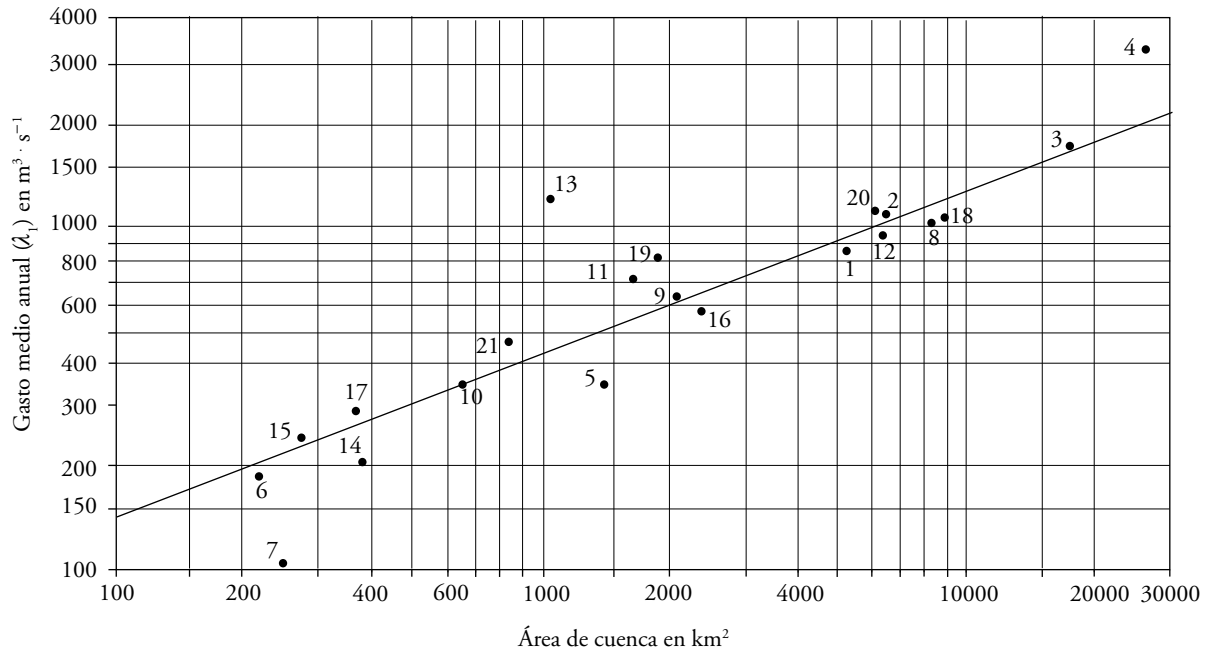


Figura 2. Relación gasto medio anual (λ_1) contra área de cuenca (A) en las 21 estaciones hidrométricas de la Región Hidrológica Núm. 10 (Sinaloa).

Figure 2. Relationship of mean annual flow (λ_1) to watershed area (A) in the 21 hydrometric stations of the Hydrological Region No. 10 (Sinaloa).

debe a una mayor confiabilidad del método Racional, que es una técnica hidrológica de estimación de la relación lluvia-escorrentamiento. En cambio, el método regional ahora desarrollado es exclusivamente estadístico y por lo tanto, menos confiable al no tomar en cuenta las lluvias de diseño.

Refinamientos al procedimiento expuesto

Zrinji y Burn (1996) proponen emplear un número variable de estaciones auxiliares que forman las regiones de influencia, probando cada región formada a través de un test de homogeneidad. Castellarin *et al.* (2001) utilizan también índices estacionales de la lluvia diaria máxima anual, para evaluar el retraso medio en la ocurrencia de las lluvias y sus respectivas crecientes. Otro enfoque de formación de regiones, también basado en la estacionalidad de las crecientes, se puede conseguir a través del test propuesto por Cunderlik y Burn (2006).

CONCLUSIONS

The general similarity found between local and regional predictions obtained with the stations-years method applied by regions of influence indicates that the definition of these regions, based on the seasonality indexes, is correct since it leads to predictions that are quite close, with relative errors of less than 10 % in several of the hydrometric stations. For example, in San Francisco, Choix, El Bledal and Acatitán the correspondence between local predictions and those of the regional method is excellent. In the Guamuchil and El Quelite stations the similarity between predictions is also very good, with relative errors by excess below 20 % and by default in Jaina and Naranjo.

The regional flood frequency analysis carried out in Hydrological Region Num. 10 (Sinaloa), based on the seasonality index to group the watersheds into regions of influence gave consistent and satisfactory results. Therefore, its application in other regions of the country is suggested. The developed regional

Cuadro 7. Contraste de predicciones ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) de métodos regionales desarrollados en la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa), en 2008 y 2012.**Table 7. Contrast of predictions ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) of the regional methods developed in Hydrological Region No. 10, in 2008 and 2012.**

Estación, área (A) y gasto (Q)	Tipo de predicción:	Periodos de retorno analizados, en años				
		5	10	25	50	100
Pericos $A = 270 \text{ km}^2$ $Q_{ma} = 229.4 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Local o histórica	354	465	620	745	878
	Método Racional (2008)	243	393	633	848	1110
Chico Ruiz $A = 391 \text{ km}^2$ $Q_{ma} = 273.9 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Método regional desarrollado	323	459	696	924	1202
	Local o histórica	341	431	515	558	589
Los Molinos $A = 501 \text{ km}^2$ $Q_{ma} = 308.4 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	Método Racional (2008)	266	430	693	928	1216
	Método regional desarrollado	386	549	831	1103	1435
	Local (2008)	195	239	286	315	342
	Método Racional (2008)	769	1039	1445	1796	2225
	Método regional desarrollado	434	618	936	1242	1616

CONCLUSIONES

La similitud general encontrada entre las predicciones locales y las regionales, obtenidas mediante el método de las estaciones-años aplicado por regiones de influencia, indica que la definición de éstas con base en los índices de estacionalidad, es acertada, pues conduce a predicciones bastante aproximadas con errores relativos menores del 10 % en varias de las estaciones hidrométricas. Por ejemplo, en San Francisco, Choix, El Bledal y Acatitán la correspondencia entre las predicciones locales y las del método regional es excelente. En las estaciones Guamuchil y El Quelite la semejanza entre predicciones también es muy buena, con errores relativos por exceso, menores del 20 % y por defecto en Jaina y Naranjo. El análisis regional de frecuencia de crecientes llevado a cabo en la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa), basado en los índices de estacionalidad para agrupar las cuencas en regiones de influencia de cada una, condujo a resultados consistentes y satisfactorios. Por lo tanto se sugiere su aplicación en otras regiones del país para contar con el método regional desarrollado, que es una versión semejante al índice de crecientes al utilizar también los valores medianos muestrales estandarizados con la media aritmética, pero que evita el tener que definir un periodo común en los registros hidrométricos procesados.

method, which is a version similar to the flood index, also uses the standardized sample median values with the arithmetic mean, while avoiding the need to define a common period in the processed hydrometric registers.

—End of the English version—

-----*

LITERATURA CITADA

- Bobée, B., and F. Ashkar. 1991. The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, U.S.A. 203 p.
- Campos-Aranda, D. F. 2006. Análisis probabilístico con métodos paramétricos univariados y Análisis probabilísticos con métodos regionales. *In: Análisis Probabilístico Univariado de Datos Hidrológicos. Avances en Hidráulica No. 13.* IMTA-AMH. Jiutepec, Morelos. pp: 89-115 y pp: 133-161.
- Campos-Aranda, D. F. 2008. Calibración del método Racional en 8 cuencas rurales menores de 1650 km^2 de la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa), México. *Agrociencia* 42: 615-627.
- Castellarin, A., D. H. Burn, and A. Brath. 2001. Assessing the effectiveness of hydrological similarity measures for flood frequency analysis. *J. Hydrol.* 241: 270-285.
- Clarke, R. T. 1973. The estimation of floods with given return period. *In: Mathematical Models in Hydrology. Irrigation and Drainage Paper 19.* FAO. Rome, Italy. pp: 130-146.

- Cunderlik, J. M. and D. H. Burn. 2006. Site-focused nonparametric test of regional homogeneity based on flood regime. *J. Hydrol.* 318: 301-315.
- Garros-Berthet, H. 1994. Station-year approach: Tool for estimation of design floods. *J. W. Res. Plann. Manage.* 120: 135-160.
- Greenwood, J. A., J. M. Landwehr, N. C. Matalas and J. R. Wallis. 1979. Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *W. Res. Research* 15: 1049-1054.
- GREHYS (Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique). 1996. Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *J. Hydrol.* 186, pp. 63-84.
- Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis. 1997. Appendix: *L*-moments for some specific distributions. *In: Regional Frequency Analysis. An Approach Based on L-moments.* Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. pp: 191-209.
- 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.
- Machiwal, D., and M. K. Jha. 2012. *Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice.* Springer. Dordrecht, The Netherlands. 303 p.
- Natural Environment Research Council (NERC). 1975. *Flood Studies Report. Volume I: Hydrological Studies.* London, England. 550 p.
- Ouarda, T. B. M. J., K. M. Ba, C. Díaz-Delgado, A. Carsteanu, K. Chokmani, H. Gingras, E. Quentin, E. Trujillo, and B. Bobée. 2008. Intercomparison of regional flood frequency estimation methods at ungauged sites for a Mexican case study. *J. Hydrol.* 348:40-58.
- Shaw, E. M., K. J. Beven, N. A. Chappel, and R. Lamb. 2011. Estimating floods and low flows in the UK. *In: Hydrology in Practice.* Spon Press. London, England. Fourth edition. pp: 322-350.
- 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.
- Water Resources Council (WRC). 1977. *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency.* Bulletin # 17A of the Hydrology Committee. Washington, D. C., U.S.A. Revised edition.
- World Meteorological Organization (WMO). 1971. Annexed III: Standard tests of significance to be recommended in routine analysis of climatic fluctuations. *In: Climatic Change.* Technical Note No. 79. WMO. Geneva, Switzerland. pp: 58-71.
- Zrinji, Z., and D. H. Burn. 1996. Regional flood frequency with hierarchical region of influence. *J. W. Res. Plann. Manage.* 122: 245-252.