

CONTRASTE DE UN MÉTODO REGIONAL DE ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF EN LA PLANICIE COSTERA DE TABASCO, MÉXICO

CONTRAST OF A REGIONAL METHOD FOR ESTIMATING IDF CURVES ON THE COASTAL PLAIN OF TABASCO, MÉXICO

Daniel F. Campos-Aranda

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

RESUMEN

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) resumen las características de las tormentas que ocurren en una zona y son la base de las estimaciones de crecientes en cuencas rurales sin aforos y en las urbanas. Debido a la escasez de registros pluviográficos las curvas IDF se estiman a través de fórmulas empíricas, como la de Chen que requiere únicamente de las predicciones de lluvia horaria de periodo de retorno 10 y 100 años. Los 13 registros pluviográficos disponibles en la planicie costera de Tabasco y zona norte de Chiapas fueron procesados probabilísticamente para establecer las relaciones regionales entre las predicciones de lluvia horaria y diarias procedentes de pluviómetros. Con base en las relaciones encontradas se estimaron curvas IDF con el procedimiento sugerido, las cuales fueron contrastadas con las obtenidas en seis estaciones pluviográficas, tres de ellas no utilizadas en la deducción de las relaciones regionales. En general, las curvas IDF estimadas presentan intensidades superiores a las observadas, pero correspondencia excelente en aquellas estaciones cuyo registro no es corto, ni anómalo estadísticamente. Por lo anterior, se recomienda la aplicación sistemática del método regional propuesto basado en la fórmula de Chen.

Palabras clave: estaciones pluviográficas, lluvia horaria máxima anual, análisis probabilístico, error estándar de ajuste, fórmula de Chen.

INTRODUCCIÓN

Tanto el dimensionamiento como la revisión de la seguridad hidrológica de las obras hidráulicas se realiza mediante gastos máximos asociados a un cierto periodo de retorno o crecientes

ABSTRACT

The Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves summarize the characteristics of storms occurring in a certain area and are the basis of flood estimates in rural watersheds without hydrometric records and in urban areas. Because of the scarcity of rain gauge records, IDF curves are estimated by empirical formulas. Chen's formula requires only hourly rainfall predictions with return periods of 10 and 100 years. The 13 recording rain gauges records available in the coastal plain of Tabasco and north zone of Chiapas were analyzed probabilistically to establish regional relationships between hourly and daily predictions obtained from the rain gauges. Based on the relationships found, IDF curves were estimated using the suggested procedure and were further contrasted against those obtained in six recording rain gauge stations, three of which are not used in the derivation of regional relations. Generally, the estimated IDF curves have higher intensities than observed; however, they show excellent correspondence to those where records are not short nor statistically anomalous. Therefore, the systematic application of the proposed regional method based on the Chen formula is recommended.

Key words: recording rain gauges, annual maximum daily rainfall, probabilistic analysis, standard error of fit, Chen formula.

INTRODUCTION

Both dimensioning and checking the safety of hydraulic works is done with maximum flows associated with a certain return period or design floods. Also, the demarcation of flood plains is performed on the basis of these maximum flows, whose most reliable estimation is arrived at by probabilistic analysis of the records of yearly maximum flows, the results of which are denominated Predictions. In rural watersheds without hydrometric data and

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2012. Aprobado: octubre, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 637-649. 2012.

de diseño. También la demarcación de las planicies de inundación se realiza con base en esas avenidas máximas, cuya estimación más confiable se hace mediante el análisis probabilístico del registro de gastos máximos anuales, cuyos resultados se denominan Predicciones. En cuencas rurales sin datos hidrométricos y en las cuencas urbanas, la estimación de las crecientes de diseño se realiza mediante los métodos hidrológicos, los cuales transforman las lluvias de diseño en las predicciones buscadas con base en las características físicas de las cuencas. La estimación de las lluvias de diseño requiere las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), que engloban o sintetizan las características de las tormentas de la zona. Las curvas IDF se construyen con base en los registros pluviográficos y la escasez de éstos conduce a procedimientos de estimación basados en fórmulas empíricas, como la de Cheng-lung Chen, cuyos datos básicos son las predicciones de lluvia horaria de periodos de retorno 10 y 100 años (P_1^{10} y P_1^{100}) y las de la lluvia diaria (P_D^{Tf}).

En este estudio se procesó probabilísticamente la información disponible de 13 registros pluviográficos y sus respectivas series pluviométricas de lluvias máximas diarias anuales de la planicie costera de Tabasco y norte de Chiapas, México, para establecer relaciones regionales entre las predicciones de lluvia horaria y diaria. Con base en esas relaciones, función de la altitud, se muestra que es confiable la estimación de las curvas IDF cuando sólo se dispone de registros pluviométricos en la zona. El contraste se realiza en seis estaciones pluviográficas, tres de las cuales no se usaron al deducir las relaciones regionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona geográfica e información pluviográfica procesada

La planicie costera de Tabasco está integrada por la subcuenca del río Tonalá y Lagunas del Carmen y Machona que pertenecen a la Región Hidrológica No. 29 (Coatzacoalcos) y por las subcuencas bajas de los ríos Grijalva y Usumacinta que forman la Región Hidrológica No. 30. Hacia el sur, la planicie citada tiene su zona montañosa la cual colinda con la subcuenca del alto río Grijalva definida por el parteaguas de la Presa Netzahualcóyotl (Malpaso). En la planicie costera de Tabasco y zona norte de Chiapas existieron 14 estaciones pluviográficas con pluviómetros (Figura 1).

Las características generales de los registros se muestran en el Cuadro 1 y los lapsos disponibles de sus registros de intensidades (mm h^{-1}) en 12 duraciones estándar (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60,

in urban watersheds, design floods are estimated with hydrological methods, which transform design rainfall into the desired predictions based on the physical characteristics of these watersheds. Estimation of such design rainfalls requires Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves, which encompass or synthesize the storm characteristics of the zone. The IDF curves are constructed on the basis of recording rain gauge records and the scarcity of these records leads to estimation procedures based on empirical formulas such as that of Cheng-lung Chen, whose basic data are the hourly predictions of 10 and 100 year return periods (P_1^{10} and P_1^{100}) and daily predictions (P_D^{Tf}).

In this study information available from data from 13 recording rain gauge stations and their respective rain gauge series of annual daily maximums of the coastal plain of Tabasco and northern Chiapas, México, is was processed probabilistically to establish regional relationships between hourly rainfall and daily predictions obtained from the rain gauges. Based on these relationships, function of altitude, it is shown that IDF curve estimations are reliable when only rain gauge records are available for the zone. The contrast is also done in six recording rain gauge stations, three of which were not used in deducing regional relationships.

MATERIALS AND METHODS

Geographic zone and processed recording rain gauge information

The coastal plain of Tabasco is integrated by the sub-basins of the rivers Tonalá, Lagunas del Carmen, and Machona, which belong to Hydrological Region No. 29 (Coatzacoalcos), and by the lower sub-basins of the rivers Grijalva and Usumacinta, which form Hydrological Region No. 30. Southward, this coastal plain has its mountainous zone that borders the sub-basin of the upper Grijalva river defined by the continental divide at the Netzahualcóyotl dam (Malpaso). On the Tabascan coastal plain and northern Chiapas, there were 14 recording rain gauge stations (Figure 1).

The general characteristics of these records are shown in Table 1, as well as the periods of their available intensity (mm h^{-1}) records in 12 standard durations (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100, 120, 180 and 240 min), ordered from high to low number. The keys shown for the rain stations begin with 27 for the state of Tabasco and 7 for Chiapas. The recording rain gauge stations are classified according to three altitudinal intervals: low

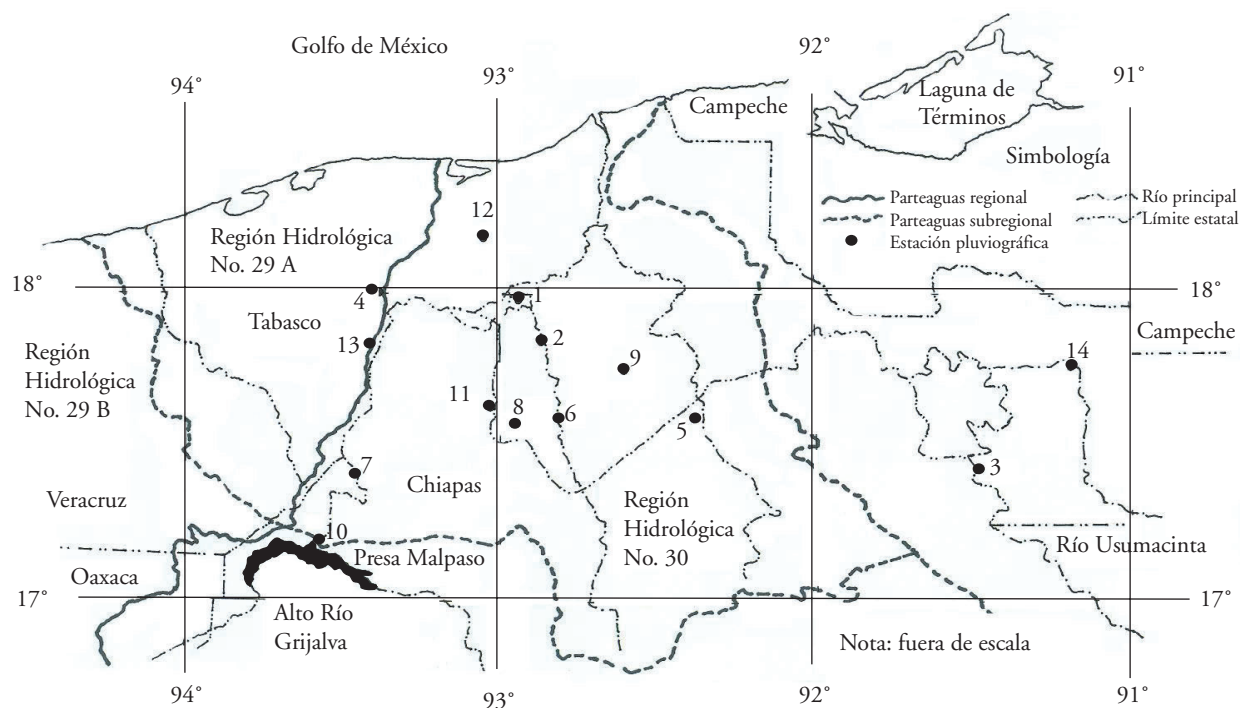


Figura 1. Detalles geográficos de la Planicie Costera de Tabasco y localización de las 13 estaciones pluviográficas estudiadas.
Figure 1. Geographic details of the Tabascan Coastal Plain and location of the 13 recording rain gauge stations studied.

80, 100, 120, 180 y 240 min), mostrados de mayor a menor. Las claves mostradas para las estaciones pluviométricas inician con 27 para el estado de Tabasco y con 7 para Chiapas. Las estaciones pluviográficas se clasifican según tres pisos de altitud: bajo con altitud menor de 20 m, medio hasta 60 m, y alto alrededor de 100 m. La estación pluviográfica número 14, San Pedro, no fue procesada debido a su registro corto de sólo 9 años.

Verificación de la homogeneidad regional

La aplicación de la versión corregida del Test de Langbein (Fill y Stedinger, 1995; Campos, 2012) a los registros de intensidad máxima anual en una hora, es decir la lluvia horaria máxima anual, se muestra en el Cuadro 2 y se concluye que únicamente la estación pluviográfica Teapa ($k=1$) queda fuera de las curvas de control de la prueba, definidas por los periodos de retorno inferior (T_l) y superior (T_u). Por lo anterior, la región definida por las 12 estaciones restantes es homogénea desde un punto de vista estadístico.

Selección de registros mediante la prueba de Discordancias

Antes de realizar los análisis probabilísticos de la lluvia horaria se debe buscar valores erróneos, eventos dispersos, tendencia

with an altitude below 20 m, medium reaching 60 m, and high around 100 m. Recording rain gauge station 14, San Pedro, was not processed because of its short record of only 9 years.

Verification of regional homogeneity

Application of the corrected version of the Langbein Test (Fill and Stedinger, 1995; Campos, 2012) to the records of maximum annual intensity in one hour, that is the annual maximum hourly rainfall is shown in Table 2, and it is concluded that only the Teapa recording rain gauge station ($k=1$) is outside the control curves of this test, defined by the lower (T_l) and upper (T_u) return periods. For this reason, the region defined by the remaining 12 stations is homogeneous from a statistical point of view.

Record selection through test of Discordances

Before performing the probabilistic analyses of hourly rain, erroneous values, disperse events, trends and leaps or changes in the mean of the data should be sought. These would be reflected at the L moments of each sample. The test of Discordances (Hosking and Wallis, 1997; Campos, 2010b) uses the L moment quotients to detect sites at which they are discordant with the group as a whole. According to the results of the application of

Cuadro 1. Características generales de las estaciones pluviográficas y pluviométricas utilizadas de la Planicie Costera de Tabasco y zona norte de Chiapas, México.**Table 1. General characteristics of the recording rain gauge stations used located on the Coastal Plain of Tabasco and northern Chiapas, Mexico.**

No.	<i>Pluviógrafo</i> Pluviómetro (†)	Coordenadas			Periodo de registro (años)	Años faltantes	Valores observ. § (mm)	
		Latitud	Longitud	Altitud [‡]			mínimo	máximo
1	<i>Villahermosa</i> Villahermosa (27054)	17° 59'	92° 57'	10.0	1948-1984 (37) 1948-1998 (51)	- -	30.0 56.9	101.2 340.0
2	<i>Pueblo Nuevo</i> Pueblo Nuevo (27037)	17° 50'	92° 54'	60.0	1951-1984 (30) 1949-2000 (52)	1980-1983 -	37.5 71.2	120.0 306.4
3	<i>Boca del Cerro</i> Boca del Cerro (27004)	17° 26'	91° 31'	100.0	1951-1983 (29) 1949-2000 (52)	1958,1974-1976 -	31.4 76.0	111.3 250.0
4	<i>Cárdenas</i> Cárdenas (27008)	18° 01'	93° 22'	21.0	1959-1983 (25) 1956-1999 (44)	- -	32.0 75.9	92.4 327.6
5	<i>Salto de Agua</i> Salto de Agua (07141)	17° 34'	92° 21'	92.0	1962-1984 (23) 1953-1998 (44)	- 1986, 1989	40.0 98.5	131.8 332.4
6	<i>Dos Patrias</i> Dos Patrias (27011)	17° 36'	92° 50'	60.0	1951-1976 (22) 1958-1989 (32)	1961,1971,1972,1975 -	29.0 110.5	85.0 320.6
7	<i>Las Peñitas</i> Las Peñitas (07106)	17° 25'	93° 27'	50.0	1962-1983 (22) 1960-1998 (35)	- 1989-1992	32.0 90.0	105.7 270.8
8	<i>Teapa</i> Teapa (27044)	17° 33'	92° 58'	72.0	1962-1983 (22) 1961-1998 (38)	- -	42.6 111.8	90.2 265.1
9	<i>Macuspana</i> Macuspana (27031)	17° 45'	92° 36'	60.0	1964-1983 (20) 1949-2000 (50)	- 1954,1955	36.8 62.5	110.0 232.8
10	<i>Presa Malpaso</i> Malpaso (07112)	17° 10'	93° 35'	98.0	1959-1982 (20) 1955-1982 (25)	1978-1981 1957,1958,1971	30.0 73.5	100.0 250.0
11	<i>San Joaquín</i> San Joaquín (07147)	17° 35'	93° 03'	21.0	1962-1979 (18) 1963-1998 (36)	- -	46.0 86.5	107.7 353.5
12	<i>Jalpa de Méndez</i> Jalpa de Méndez (27020)	18° 12'	93° 03'	10.0	1962-1977 (16) 1960-1999 (35)	- 1976-1980,1986,1987	28.2 83.0	107.4 252.0
13	<i>Paredón</i> Paredón (27035)	17° 46'	93° 21'	100.0	1965-1982 (13) 1965-1984 (20)	1968-1972 -	30.0 86.3	91.0 203.3
14	<i>San Pedro</i> San Pedro (27040)	17° 46'	91° 10'	21.0	1968-1978 (9) 1949-1999 (51)	1969,1971 -	20.0 26.5	50.8 160.5

† Clave según sistema ERIC. ‡ Metros sobre el nivel del mar. § De las lluvias horarias y diarias ♦ † Key as ERIC system. ‡ Meters above sea level. § From hourly and daily rainfall.

y saltos o cambios en la media de tales datos, los cuales se reflejan en los momentos L de cada muestra. La prueba de Discordancias (Hosking y Wallis, 1997; Campos, 2010b) usa los cocientes L de momentos para detectar sitios que son discordantes con el grupo como un todo. Según los resultados de la aplicación de la prueba de Discordancias (Cuadro 3), hay cuatro registros que se pueden considerar anómalos debido a su valor alto del estadístico D_i o discordancia con el grupo: Macuspana ($D_i=2.85$), Teapa ($D_i=2.46$), Jalpa de Méndez ($D_i=1.92$) y Dos Patrias ($D_i=1.46$). Por lo tanto sólo se procesarán los nueve registros restantes.

Procesamiento probabilístico

Las series de intensidades máximas anuales en una hora o lluvia horaria (en mm) se procesaron ajustando tres modelos

the discordances test (Table 3), there are four records that can be considered anomalous due to their high D_i or discordance with the group: Macuspana ($D_i=2.85$), Teapa ($D_i=2.46$), Jalpa de Méndez ($D_i=1.92$) and Dos Patrias ($D_i=1.46$). For this reason, only the nine remaining records will be processed.

Probabilistic processing

The series of annual maximum intensities in an hour, or hourly rainfall (in mm) were processed by adjusting three probabilistic models: 1) Log-Pearson type III distribution with the methods of moments in the logarithmic and real dominions, 2) the General Extreme Values (GVE) distribution through the four methods of fit, and 3) the Generalized Logistic distribution using the method of L moments. The methods of fitting cited

Cuadro 2. Resultados de la aplicación de versión corregida del Test de Langbein a la lluvia horaria máxima anual en la Planicie Costera de Tabasco, México.**Table 2. Results of applying the corrected version of the Langbein Test to annual maximum hourly rainfall on the Coastal Plain of Tabasco, México.**

$$C_v^R = 0.287 \quad \text{sesgo } (C_v^R) = -0.008$$

No.	Estación pluviográfica:	n_i	$(\bar{P}_1)^i$	Cv^i	T_i	T_s	$T(P_1)_{10}^i$	k
1	Villahermosa	37	59.592	0.290	6.6	15.9	9.4	—
2	Pueblo Nuevo	30	66.167	0.301	6.3	17.0	8.9	—
3	Boca del Cerro	29	64.014	0.299	6.3	17.2	9.0	—
4	Cárdenas	25	56.308	0.285	6.1	18.3	9.7	—
5	Salto de Agua	23	72.443	0.294	6.0	18.9	9.3	—
6	Dos Patrias	22	57.409	0.224	5.9	19.6	14.9	—
7	Las Peñitas	22	66.132	0.302	5.9	19.2	8.9	—
8	Teapa	22	62.818	0.188	5.8	19.9	22.0	●
9	Macuspana	20	69.075	0.306	5.8	20.1	8.7	—
10	Presa Malpaso	20	53.560	0.320	5.9	20.0	8.2	—
11	San Joaquín	18	73.522	0.234	5.6	21.5	13.6	—
12	Jalpa de Méndez	16	52.881	0.376	5.6	22.0	6.7	—
13	Paredón	13	52.269	0.353	5.4	24.9	7.2	—

Cuadro 3. Resultados de la aplicación de la prueba de Discordancias (D_i) a la lluvia horaria máxima anual en la Planicie Costera de Tabasco, México.**Table 3. Results of applying the Discordances test (D_i) to annual maximum hourly rainfall on the Coastal Plain of Tabasco, México.**

No.	Estación pluviográfica:	Cocientes de momentos L			D_i
		t_2	t_3	t_4	
1	Villahermosa	0.1670	0.0727	0.0945	0.51
2	Pueblo Nuevo	0.1683	0.1631	0.1536	0.02
3	Boca del Cerro	0.1665	0.1540	0.1896	0.22
4	Cárdenas	0.1624	0.1065	0.1497	0.14
5	Salto de Agua	0.1604	0.2253	0.2295	0.68
6	Dos Patrias	0.1286	-0.0051	0.1487	1.46
7	Las Peñitas	0.1736	0.0725	0.1583	1.10
8	Teapa	0.1037	0.1581	0.2183	2.46
9	Macuspana	0.1758	0.1438	0.0151	2.85
10	Presa Malpaso	0.1806	0.1421	0.1425	0.22
11	San Joaquín	0.1352	0.1214	0.1326	0.68
12	Jalpa de Méndez	0.2005	0.3305	0.2325	1.92
13	Paredón	0.2019	0.2210	0.1422	0.74

probabilísticos: 1) la distribución Log–Pearson tipo III mediante los métodos de momentos en el dominio logarítmico y real, 2) la distribución General de Valores Extremos (GVE) a través de cuatro métodos de ajuste, y (3) la distribución Logística Generalizada mediante el método de momentos L . Los métodos de ajuste citados se pueden consultar en Campos (2006) y Shaw *et al.* (2011). En todos los casos, sus seis predicciones adoptadas

can be consulted in Campos (2006) and Shaw *et al.* (2011). In all cases, the six predictions adopted relative to the return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years were those that corresponded to the method that led to the lowest standard error of fit (Kite, 1977), in any of the three probabilistic distributions used. The available series (Table 1) of annual maximum daily rainfall were processed identically.

relativas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 50 y 100 años fueron las correspondientes al método que condujo al menor error estándar de ajuste (Kite, 1977), en cualquiera de las tres distribuciones de probabilidad utilizadas. Las series disponibles (Cuadro 1) de lluvias máximas diarias anuales fueron procesadas de manera idéntica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relaciones entre las predicciones horarias y diarias

En la Figura 2 se muestran, para las tres estaciones pluviográficas de baja altitud, las relaciones entre las seis predicciones que define cada una y su respectiva estación pluviométrica. El uso conjunto de las predicciones, es decir 18 parejas de datos, define la relación representativa de las estaciones, la cual fue (Montgomery *et al.*, 2002):

$$P_1^{Tr} = 32.883 + 0.2230 \cdot P_D^{Tr} \quad (1)$$

donde P_D^{Tr} es la lluvia diaria con igual periodo de retorno (Tr) que la precipitación horaria buscada (P_1^{Tr}), ambas en milímetros.

La ecuación anterior tiene un coeficiente de correlación lineal (r_{xy}) de 0.933 y un error estándar de la estimación de 7.2 mm.

En la Figura 3 se muestran las relaciones encontradas en las dos estaciones pluviográficas de altitud media y la combinación de sus predicciones, 12

RESULTS AND DISCUSSION

Relationships between hourly and daily predictions

Figure 2 shows, for the three low altitude recording rain gauge stations, the relationships between the six predictions that define each and its respective rain gauge station. The joint use of the predictions, that is, 18 pairs of data, define the representative relationship of these stations; this was (Montgomery *et al.*, 2002):

$$P_1^{Tr} = 32.883 + 0.2230 \cdot P_D^{Tr} \quad (1)$$

where P_D^{Tr} is daily rainfall with a return period (Tr) equal to the desired hourly rainfall (P_1^{Tr}), both in mm.

The above equation has a linear correlation coefficient (r_{xy}) of 0.933 and a standard error of the estimation of 7.2 mm.

Figure 3 shows the relationships found in the two medium altitude recording rain gauge stations and the combination of their predictions, 12 pairs of data, establishes the following as a representative relationship:

$$P_1^{Tr} = 28.346 + 0.3054 \cdot P_D^{Tr} \quad (2)$$

whose linear correlation coefficient was 0.968, and its standard error of the estimation was 5.7 mm.

Figure 4 shows the relationships found in each of the four high altitude recording rain gauge stations

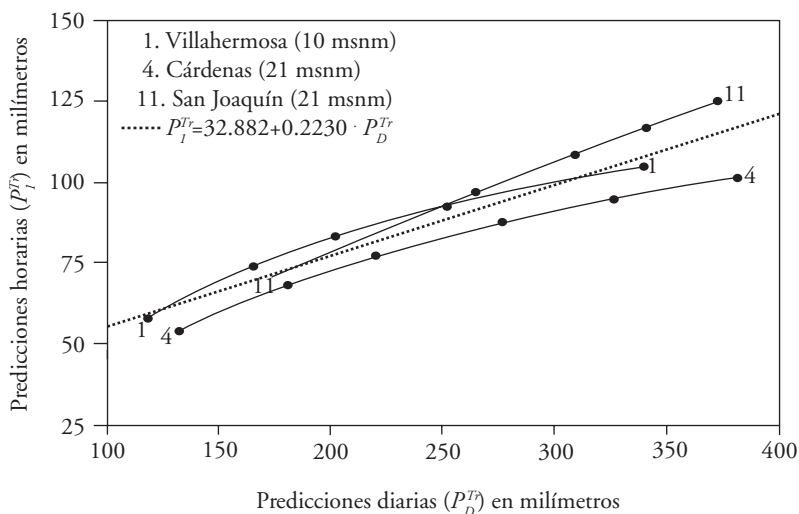


Figura 2. Relaciones entre las predicciones de lluvia horaria y diaria en los seis periodos de retorno analizados, de las tres estaciones pluviográficas de altitud baja de la Planicie Costera de Tabasco, México.

Figure 2. Relationships between hourly and daily rainfall predictions in the six return periods analyzed, of the three low altitude recording rain gauge stations on the Coastal Plain of Tabasco, México.

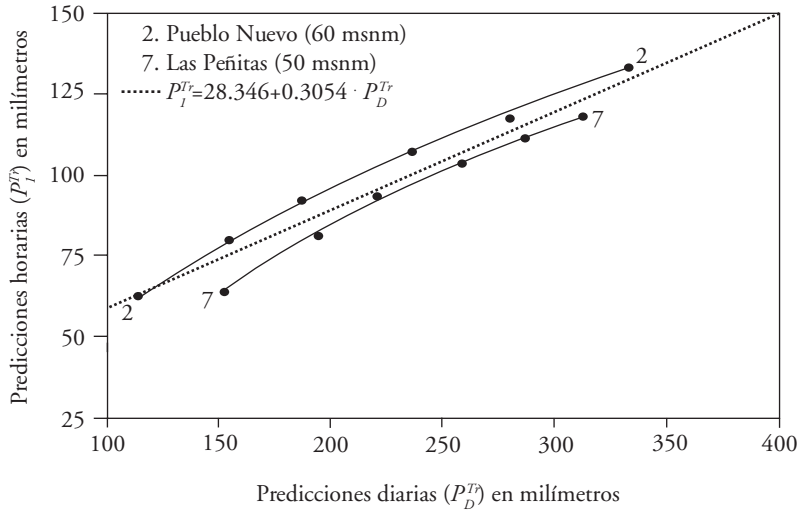


Figura 3. Relaciones entre las predicciones de lluvia horaria y diaria en los seis periodos de retorno analizados, de las dos estaciones pluviográfica de altitud media de la Planicie Costera de Tabasco, México.

Figure 3. Relationships between hourly and daily rainfall predictions in six return periods analyzed, of the two medium altitude recording rain gauge stations analyzed on the Coastal Plain of Tabasco, México.

parejas de datos, establece como relación representativa:

$$P_1^{Tr} = 28.346 + 0.3054 \cdot P_D^{Tr} \quad (2)$$

cuyo coeficiente de correlación lineal fue 0.968 y su error estándar de la estimación de 5.7 mm.

En la Figura 4 se muestran las relaciones de cada una de las cuatro estaciones pluviográficas de altitud alta y el uso conjunto de todas sus relaciones, 24 en total, define la siguiente regresión lineal:

$$P_1^{Tr} = 3.654 + 0.4603 \cdot P_D^{Tr} \quad (3)$$

cuyo coeficiente de correlación lineal fue 0.959, con un error estándar de ajuste de 7.5 mm.

Procedimiento de estimación de las curvas IDF

La utilidad fundamental de la estimación de las predicciones de lluvia horaria es que permiten inferir unas curvas IDF en cualquier estación pluviométrica auxiliar, con registro mayor de 20 años, localizada en la Planicie Costera de Tabasco, México, a través del procedimiento regional siguiente:

Paso 1) con base en la serie de lluvias máximas diarias anuales disponibles se obtienen las seis predicciones diarias (P_D^{Tr}) y se transforman a precipitaciones en 24 h de duración al multiplicarlas por 1.13 (Weiss, 1964). Paso 2) con base en la altitud de la estación

and the joint use of all the relationships, a total of 24, define the following linear regression:

$$P_1^{Tr} = 3.654 + 0.4603 \cdot P_D^{Tr} \quad (3)$$

whose linear correlation coefficient was 0.959, and its standard error of fit was 7.5 mm.

Procedure for estimating IDF curves

The basic reason for estimating hourly rain predictions is that it allows inference of IDF curves in any auxiliary rain gauge station with more than 20 years of records. For those located on the Tabascan Coastal Plain, México, they were estimated using the following regional procedure:

Step 1) based on the series of available annual maximum daily rainfall, six daily predictions (P_D^{Tr}) are obtained and transformed into precipitations of 24 h duration when multiplied by 1.13 (Weiss, 1964). Step 2) based on the altitude of the rain gauge station being processed and the regional relationships defined (equations 1, 2 or 3), six hourly rainfall predictions (P_1^{Tr}) are obtained. Step 3) the six rainfall-duration (R) quotients and the rainfall-frequency quotient (F) are calculated, defined by the following expressions (Chen, 1983):

$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}} \quad F = \frac{P_1^{100}}{P_1^{10}} \quad (4 \text{ and } 5)$$

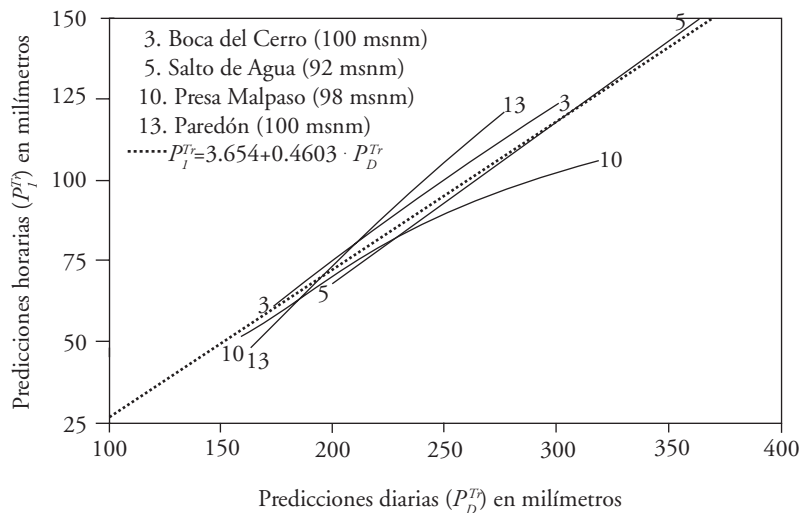


Figura 4. Relaciones entre las predicciones de lluvia horaria y diaria en los seis periodos de retorno analizados, de las cuatro estaciones pluviográficas de altitud alta de la Planicie Costera de Tabasco, México.

Figure 4. Relationships between hourly and daily rainfall predictions in six return periods analyzed, of the fourth high altitude recording rain gauge stations analyzed on the Coastal Plain of Tabasco, México.

pluviométrica que se procesa y las relaciones regionales definidas (ecuaciones 1, 2 ó 3) se obtienen las seis predicciones de lluvia horaria (P_t^{Tr}). Paso 3) se calculan los seis cocientes lluvia-duración (R) y el cociente lluvia-frecuencia (F), definidos por las expresiones siguientes (Chen, 1983):

$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}} \quad F = \frac{P_1^{100}}{P_1^{10}} \quad (4 \text{ y } 5)$$

Se obtienen tres cocientes R promedio para adoptar el representativo. El primero es la media aritmética de los seis obtenidos con la ecuación 4, el segundo es el valor mediano de éstos y el tercero es el promedio de los correspondientes a los periodos de retorno 10, 25 y 50 años. Paso 4) se aplica la fórmula de Chen para obtener las intensidades buscadas su expresión es (Chen, 1983):

$$i_t^{Tr} = \frac{a P_1^{10} \log(10^{2-F} Tr^{F-1})}{(t+b)^c} \quad (6)$$

donde a , b y c son parámetros función del cociente R y sus expresiones se pueden consultar en Campos (2010a), i_t^{Tr} está $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, P_1^{10} en mm, t en minutos ($5 \leq t \leq 1440$) y Tr ($5 \leq Tr \leq 100$) en años. Los valores calculados de i_t^{Tr} permiten dibujar las curvas IDF.

Three average R quotients are obtained to adopt the representative. The first is the arithmetic mean of the six obtained with equation 4, the second is the median value of these and third is the average of those corresponding to the return periods 10, 25 and 50 years. Step 4) the Chen formula is applied to obtain the desired intensities and its expression is (Chen, 1983):

$$i_t^{Tr} = \frac{a P_1^{10} \log(10^{2-F} Tr^{F-1})}{(t+b)^c} \quad (6)$$

where a , b and c are parameters function of the R quotient and their expressions can be consulted in Campos (2010a), i_t^{Tr} is $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, P_1^{10} in mm, t in minutes ($5 \leq t \leq 1440$) and Tr ($5 \leq Tr \leq 100$) in years. With the calculated values of i_t^{Tr} , the IDF curves are drawn.

Verification of IDF curve estimation method

The series of annual maximum intensities in the 12 standard durations of the recording rain gauge stations at Villahermosa, Pueblo Nuevo and Boca del Cerro, which have the longest records and the most representative of the altitude level, were each analyzed probabilistically with one of the models used to process hourly rainfall. Table 4 show the results for the Villahermosa recording rain gauge station corresponding to the IDF curves constructed

Verificación del método de estimación de las curvas IDF

Las series de intensidades máximas anuales en las 12 duraciones estándar de las estaciones pluviográficas Villahermosa, Pueblo Nuevo y Boca del Cerro, las de más amplio registro y representativas de los pisos de altitud, fueron analizadas probabilísticamente cada una con uno de los modelos usados para procesar las lluvias horarias. En el Cuadro 4 se muestran los resultados para la estación pluviográfica Villahermosa y corresponden a las curvas IDF, construidas con base en sus registros de intensidades disponibles. Las intensidades para la duración de 1440 min se calcularon dividiendo entre 24 las predicciones P_{24}^{Tr} (Paso 1), obtenidas con base en las predicciones diarias para el modelo probabilístico usado.

En el Cuadro 4 se muestran entre paréntesis circular las curvas IDF obtenidas o estimadas mediante el procedimiento del inciso anterior, es decir, basándose sólo en las predicciones diarias del registro pluviométrico correspondiente. Para los periodos de retorno extremos de 5 y 100 años se presentan entre paréntesis rectangular el error relativo (E.R.), cuya expresión es:

on the basis of its available records of intensities. The intensities for the duration of 1440 min were calculated by dividing the P_{24}^{Tr} predictions (Step 1) by 24; these predictions are obtained based on the daily predictions for the probabilistic model used.

Table 4 shows, in parentheses, the IDF curves obtained or estimated using the procedure described in the previous section, that is, based only on the daily predictions of the corresponding rain gauge station. For the end return periods 5 and 100 years, the relative errors (E.R.) are presented between brackets; their expression is:

$$E.R. = \frac{\left(i_t^{Tr}\right)_{estim} - \left(i_t^{Tr}\right)_{obser}}{\left(i_t^{Tr}\right)_{obser}} 100 \quad (7)$$

where the relative error is expressed in percentage and has a negative value when the estimated intensity (equation 6) was lower than that calculated probabilistically or observed; in contrast, when it leads to a positive value, the estimated intensity was higher than the observed intensity.

Cuadro 4. Intensidades (mm h^{-1}) de las curvas IDF de la estación pluviográfica Villahermosa calculadas con la distribución Logística Generalizada. Valores estimados entre paréntesis con la fórmula de Chen para: $R=0.330$, $F=1.4466$ y $P_1^{10}=76.8$ mm.

Table 4. Intensities (mm h^{-1}) of the IDF curves of the Villahermosa recording rain gauge station calculated with the Generalized Logistic distribution. Estimated values between parentheses with the Chen formula for $R=0.330$, $F=1.4466$ y $P_1^{10}=76.8$ mm.

Tr [†] (años)	Duraciones (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	180	240	1440
5	193.0 (236.8)	157.1 (181.3)	134.1 (149.9)	120.2 (129.3)	103.0 (103.5)	85.2 (81.7)	72.8 (68.7)	60.4 (57.5)	52.3 (49.9)	46.4 (44.5)	33.7 (34.3)	27.5 (28.5)	7.7 (8.8)
E.R. [‡]	[22.7]	[15.4]	[11.8]	[7.6]	[0.5]	[-4.1]	[-5.6]	[-4.8]	[-4.6]	[-4.1]	[1.8]	[3.6]	[14.3]
10	223.9 (273.5)	179.9 (209.4)	151.8 (173.2)	135.6 (149.4)	118.1 (119.6)	97.1 (94.4)	81.9 (79.3)	67.9 (66.4)	58.3 (57.7)	51.6 (51.4)	37.5 (39.6)	31.4 (32.9)	9.3 (10.1)
25	264.4 (322.1)	209.4 (246.6)	174.6 (204.0)	155.7 (176.0)	138.5 (140.8)	113.3 (111.2)	93.7 (93.4)	77.6 (78.2)	65.8 (68.0)	58.2 (60.5)	42.2 (46.7)	36.5 (38.7)	11.7 (11.9)
50	296.3 (358.9)	232.2 (274.8)	192.2 (227.2)	171.4 (196.1)	155.2 (156.9)	126.3 (123.9)	102.8 (104.1)	85.1 (87.1)	71.6 (75.7)	63.0 (67.4)	45.7 (52.0)	40.5 (43.1)	13.9 (13.3)
100	329.9 (395.7)	255.9 (302.9)	210.5 (250.5)	187.7 (216.1)	173.3 (173.0)	140.4 (136.6)	112.2 (114.8)	93.0 (96.0)	77.4 (83.5)	67.9 (74.4)	49.2 (57.3)	44.7 (47.6)	16.5 (14.6)
E.R. [‡]	[19.9]	[18.4]	[19.0]	[15.1]	[-0.2]	[-2.7]	[2.3]	[3.2]	[7.9]	[9.6]	[16.5]	[6.5]	[-11.5]
EEA [§]	14.3	10.1	6.5	7.0	5.6	3.5	2.2	1.8	1.5	1.7	1.2	0.9	9.5

[†]Periodo de retorno; [‡]error relativo (ecuación 7); [§]error estándar de ajuste (mm h^{-1}) ♦ [†]Return period; [‡]relative error (equation 7); [§]standard error of fit (mm h^{-1}).

$$E.R. = \frac{\left(i_t^{Tr}\right)_{estim} - \left(i_t^{Tr}\right)_{obser}}{\left(i_t^{Tr}\right)_{obser}} 100 \quad (7)$$

donde el error relativo se expresa en porcentaje y presenta un valor negativo cuando la intensidad estimada (ecuación 6) resultó menor que la calculada probabilísticamente u observada; en cambio, cuando conduzca a un valor positivo indica que la intensidad estimada resultó superior a la observada.

En el Cuadro 5 se muestran los cálculos relativos a la estimación de los cocientes R y F , en la estación pluviométrica Villahermosa, usando sus predicciones de lluvia diaria y la ecuación 1.

En el Cuadro 4, relativo a las curvas IDF en la estación Villahermosa, se observa que los errores relativos positivos más grandes se presentan en las duraciones menores y tienen valor máximo de 20 %, en cambio los negativos son inferiores a 10 %. Lo anterior indica que el procedimiento regional sugerido reproduce bastante bien las curvas IDF.

Una conclusión similar se deduce del procesamiento probabilístico de las estaciones pluviográficas Pueblo Nuevo y Boca del Cerro, con errores relativos más grandes, quizás debido al empleo de registros más cortos de intensidades, pues tales diferencias resultaron positivas y en las duraciones menores. Esto último se apoya en la excelente concordancia que se observó en la curva ID de periodo de retorno 5 años de ambas estaciones.

Table 5 shows the calculations relative to the estimation of quotients R and F in the Villahermosa recording rain gauge station, using its daily rainfall predictions and equation 1.

In Table 4, relative to the IDF curves in the Villahermosa station, it is observed that the largest positive relative errors occur in the shorter durations and have a maximum value of 20 %; in contrast, the negative errors are below 10 %. This indicates that the suggested regional procedure reproduces the IDF curves quite well.

A similar conclusion is deduced from the probabilistic processing of the Pueblo Nuevo and Boca del Cerro recording rain gauge stations, with larger relative errors, perhaps due to the use of shorter intensity records since the results of these differences were positive and in the shorter durations. This is supported in the excellent concordance observed in the IDF curve of the 5-year return period of both stations.

Estimation of IDF curves in anomalous registers

The intensity registers of the Jalpa de Méndez, Dos Patrias and Teapa stations are of the shortest; they were detected as discordant and each corresponds to the three defined altitude intervals. Because of these characteristics, they were processed probabilistically to obtain their IDF curves, of which only those corresponding to the Dos Patrias station are shown (Table 6). Again, this table presents, between

Cuadro 5. Cálculos relativos a la estimación de los cocientes R y F en la estación pluviométrica Villahermosa, para estimar sus curvas IDF.

Table 5. Calculations relative to the estimation of R and F quotients at the Villahermosa rain gauge station for estimating IDF curves.

Concepto:	Periodos de retorno en años					
	2	5	10	25	50	100
Predicciones de lluvia diaria, obtenidas con la distribución Logística Generalizada (mm).	119.1	162.9	196.8	248.5	295.4	350.8
Predicciones de lluvia horaria, obtenidas con la ecuación regional 1 (mm).	59.4	69.2	76.8	88.3	98.8	111.1
Cocientes R	0.441	0.376	0.345	0.314	0.296	0.280
Cocientes R promedio y	0.342	0.330	0.318	0.330	$F = \frac{111.1}{76.8} = 1.4466$	
cociente F	(R_{prom})	(R_{med})	(R_3)	(R_{adop})		

Estimación de las curvas IDF en registros anómalos

Los registros de intensidades de las estaciones Jalpa de Méndez, Dos Patrias y Teapa, los más cortos, fueron detectados como discordantes y corresponden cada uno a los tres pisos de altitud definidos. Por esas características fueron procesados probabilísticamente para obtener sus curvas IDF, de las que sólo se muestran (Cuadro 6) las correspondientes a la estación Dos Patrias. En este cuadro se presentan entre paréntesis circular las intensidades estimadas con la ecuación 6, cuyos cocientes R y F fueron calculados con las predicciones de lluvia horaria estimadas con las relaciones regionales definidas (ecuación 2). También se indican en paréntesis rectangular los errores relativos (ecuación 7).

De manera general las curvas IDF estimadas con el procedimiento regional conducen a intensidades superiores a las obtenidas a través del análisis probabilístico de los registros disponibles. Se observa que los errores relativos llegan casi al 100 % en las duraciones cortas y el periodo de retorno extremo de 100 años, de ahí disminuyen hacia las duraciones mayores. Las excepciones ocurren en Jalpa de Méndez en duraciones mayores de 60 min, desde el periodo

parentheses, the intensities estimated with equation 6, whose R and F quotients were calculated with the hourly rainfall predictions estimated with the defined regional relationships (equation 2). Also, between brackets, relative errors are indicated (equation 7).

Generally, IDF curves estimated with the regional procedure lead to intensities higher than those obtained with the probabilistic analysis of the available records. It is observed that relative errors reach almost 100 % in short durations and the end return period of 100 years; from there they decrease toward the longer durations. The exceptions occur in Jalpa de Méndez in durations longer than 60 min from the 10-year return period. The same occurs in Dos Patrias (Table 6) but only in the durations of 180 and 240 minutes, forward of the 25-year return period.

An important aspect of the representativity of the estimated IDF curves is the extraordinary similarity occurring in the extreme duration of 1440 min, whose relative error, in no case, exceeds 15 % (Tables 4 and 6), and in some cases is exactly the same as in Boca del Cerro and Teapa. This is remarkable due to the fact that the compared intensity estimations proceed from the daily predictions and the Chen formula (equation 6).

Cuadro 6. Intensidades (mm h^{-1}) de las curvas IDF de la estación pluviográfica Dos Patrias calculadas con la distribución GVE. Valores estimados entre paréntesis con la fórmula de Chen para $R = 0.360$, $F = 1.3998$ y $P_1^{10} = 103.8$ mm.

Table 6. Intensities (mm h^{-1}) of IDF curves at the Dos Patrias recording rain gauge station calculated with GVE distribution. Values between parentheses estimated with the Chen formula for $R = 0.360$, $F = 1.3998$ y $P_1^{10} = 103.8$ mm.

Tr [†] (años)	Duraciones (min)												
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	180	240	1440
5	182.9 (324.2)	137.1 (250.3)	117.0 (207.3)	108.9 (178.8)	93.7 (142.7)	80.0 (112.0)	68.8 (93.6)	60.8 (77.9)	55.5 (67.3)	51.0 (59.7)	38.0 (45.5)	30.8 (37.5)	9.9 (10.9)
E.R. [‡]	[77.3]	[82.6]	[77.2]	[64.2]	[52.3]	[40.0]	[36.0]	[28.1]	[21.3]	[17.1]	[19.7]	[21.8]	[10.1]
10	206.3 (368.5)	143.8 (284.5)	123.0 (235.7)	116.3 (203.3)	100.8 (162.2)	85.5 (127.3)	74.4 (106.4)	67.6 (88.5)	63.2 (76.6)	59.4 (67.9)	47.2 (51.8)	38.8 (42.6)	11.6 (12.4)
25	234.6 (427.1)	149.1 (329.8)	127.9 (273.2)	123.0 (235.6)	107.5 (188.0)	90.4 (147.6)	80.0 (123.4)	75.2 (102.6)	72.3 (88.7)	70.1 (78.7)	62.1 (60.0)	52.0 (49.4)	14.0 (14.4)
50	254.6 (471.5)	151.6 (364.0)	130.2 (301.5)	126.6 (260.1)	111.2 (207.5)	93.1 (162.9)	83.3 (136.2)	80.1 (113.3)	78.6 (98.0)	78.1 (86.9)	76.1 (66.2)	64.5 (54.5)	15.9 (15.9)
100	273.7 (515.8)	153.2 (398.2)	131.8 (329.9)	129.3 (284.5)	114.1 (227.0)	95.0 (178.2)	85.9 (149.0)	84.6 (123.9)	84.7 (107.2)	86.2 (95.0)	93.1 (72.5)	80.0 (59.7)	18.0 (17.4)
E.R. [‡]	[88.5]	[159.9]	[150.3]	[120.0]	[98.9]	[87.6]	[73.5]	[23.9]	[26.6]	[10.2]	[−22.1]	[−25.4]	[−3.3]
EEA [§]	12.3	5.3	2.9	3.0	1.9	3.0	2.1	2.4	2.6	2.9	4.1	3.9	10.1

[†]Periodo de retorno; [‡]error relativo (ec.7); [§]error estándar de ajuste (mm h^{-1}) ♦ [†]Return period; [‡]relative error (equation 7); [§]standard error of fit (mm h^{-1}).

de retorno de 10 años. Igual ocurre en Dos Patrias (Cuadro 6) pero sólo en las duraciones de 180 y 240 minutos, a partir del periodo de retorno de 25 años.

Un aspecto muy importante de la representatividad de las curvas IDF estimadas es la similitud extraordinaria ocurrida en la duración extrema de 1440 min, cuyo error relativo en ningún caso (Cuadros 4 y 6) excede del 15 %, y en algunos casos es casi exacta como en Boca del Cerro y Teapa. Lo anterior es destacable debido a que las estimaciones de intensidad comparadas proceden de las predicciones diarias y de la fórmula de Chen (ecuación 6).

Parámetros de las curvas IDF estimadas

En Cuadro 7 se exponen los resultados de la aplicación del procedimiento regional sugerido para estimar curvas IDF, a partir de los seis registros pluviométricos disponibles de lluvia máxima diaria anual.

CONCLUSIONES

El análisis probabilístico de las series de máximos anuales, de la información pluviográfica de una hora de duración y de la pluviométrica relativa a la máxima diaria, permite obtener sus predicciones asociadas a seis periodos de retorno (T_r) de diseño. Con esas predicciones ($P_1^{T_r}$ y $P_D^{T_r}$), en la Planicie Costera de Tabasco, México, se encontró una relación lineal entre ellas, función de la altitud; esto se verifica por una pendiente mayor de la recta de regresión conforme la altitud crece.

Teniendo definidas las relaciones regionales entre $P_1^{T_r}$ y $P_D^{T_r}$, en cualquier estación pluviométrica de la

Parameters of the estimated IDF curves

Table 7 presents the results of the application of the regional procedure suggested for estimating IDF curves from the six available rain gauge records of annual maximum daily rainfall.

CONCLUSIONS

The probabilistic analysis of the series of annual maximums of the one-hour rainfall information and of rain gauged relative to the daily maximum enables predictions associated with six design return periods (T_r). From these predictions ($P_1^{T_r}$ and $P_D^{T_r}$), it was found that on the Tabascan Coastal Plain, Mexico, they are related linearly, function of altitude; this is verified by a steeper slope of the regression line as altitude increases.

Having defined the regional relationships between $P_1^{T_r}$ and $P_D^{T_r}$, at any rain gauge station of the zone whose amplitude of daily maximum rainfall records allows estimation with guaranteed predictions; IDF curves can be estimated with the procedure exhibited here for applying the Chen formula. The contrast of the proposed regional method was successful in recording rain gauge stations with long available records; also, its application in other selected localities leads to more severe, and therefore more reliable, IDF curves regarding safety of a hydrological design. In all of the IDF curves estimated, excellent correspondence was found in the 1440 min duration in which the compared intensities proceed from different data.

When this regional method of estimating IDF curves is applied to other geographic zones of the

Cuadro 7. Parámetros de las seis curvas IDF estimadas con la fórmula de Chen, según el procedimiento regional desarrollado.

Table 7. Parameters of the six IDF curves estimated with the Chen formula, following the regional procedure developed.

Estación pluviométrica:	FDP [†] para estimar $P_D^{T_r}$:	Ec. para estimar $P_h^{T_r}$:	P_1^{10} (mm)	R_{adap}	F	a	b	c
Villahermosa	LOG	(1)	76.8	0.330	1.4466	16.554	5.102	0.664
Pueblo Nuevo	GVE	(2)	85.1	0.390	1.5194	21.643	7.139	0.728
Boca del Cerro	LP3	(3)	85.2	0.425	1.3862	24.958	8.333	0.764
Jalpa de Méndez	LP3	(1)	75.0	0.340	1.3093	17.339	5.435	0.675
Dos Patrias	GVE	(2)	103.8	0.360	1.3998	18.988	6.111	0.696
Teapa	LOG	(3)	105.4	0.421	1.4184	24.570	8.199	0.760

[†]Función de distribución de probabilidades; LOG, logística generalizada; GVE, general de valores extremos; LP3, Log-Pearson tipo III ♦ Probability distribution function; LOG, generalized logistic; GVE, general extreme values; LP3, Log-Pearson type III.

zona cuya amplitud de registro de lluvias máximas diarias permita estimar con garantía sus predicciones, se pueden estimar unas curvas IDF con el procedimiento expuesto para aplicar la fórmula de Chen. El contraste del método regional propuesto fue exitoso en las estaciones pluviográficas de amplio registro disponible; además su aplicación en otras localidades seleccionadas conduce a curvas IDF más severas y por tanto más confiables en relación con la seguridad de un diseño hidrológico. En todas las curvas IDF estimadas hubo correspondencia excelente en la duración de 1440 min, donde las intensidades comparadas proceden de datos diferentes.

Al aplicar este método regional de estimación de curvas IDF en otras zonas geográficas del país, se debe de actualizar la información pluviográfica y pluviométrica por procesar, para incorporar los posibles efectos recientes, en las tormentas de la zona, generados por el cambio climático. Por tanto, y en función de la información pluviográfica y pluviométrica disponible, se establecerán los lapsos por procesar en ambos registros, para buscar una simultaneidad temporal local y regional.

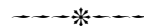
AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los M. en I. Enrique Campos Campos y Leobardo Alejandro Quiroga, profesores de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, el haber proporcionado al autor toda la información pluviográfica y pluviométrica procesada. Todos los datos y resultados de las curvas IDF procesadas, no mostrados por limitación de espacio, están disponibles con el autor.

Al editor asignado y a los dos árbitros anónimos, se agradecen sus observaciones y comentarios, los cuales ayudaron a volver más explícito el trabajo.

country, the recording rain gauge information to be processed should be updated to incorporate possible recent effects on storms in the zone generated by climate change. Therefore, and in function of the available rain gauge information, time lapses will be established to be processed in both registers, to seek local and regional temporal simultaneousness.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Campos A., D. F. 2006. Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos. Avances en Hidráulica 13. AMH-IMTA. México, D. F. 172 p.
- Campos A., D. F. 2010a. Estimación de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. *In*: Campos A., D. (ed). Introducción a la Hidrología Urbana. San Luis Potosí, S.L.P. pp: 53-75.
- Campos A., D. F. 2010b. Verificación de la homogeneidad regional mediante tres pruebas estadísticas. Tecnología y Ciencias del Agua I: 157-165.
- Campos A., D. F. 2012. Descripción y aplicación de la versión corregida del Test de Langbein para verificar homogeneidad regional. Ingeniería, Investigación y Tecnología XIII: 411-416.
- Chen, C-L. 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas. *J. Hydraulics Eng.* 109: 1603-1621.
- Fill, H. D., and J. R. Stedinger. 1995. Homogeneity test based upon Gumbel distribution and a critical appraisal of Dalrymple's test. *J. Hydrol.* 166: 81-105.
- Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis. 1997. Screening the data. *In*: Regional Frequency Analysis. An approach based on L-moments. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. pp: 44-53.
- 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.
- Montgomery, D. C., E. A. Peck, y G. G. Vining. 2002. Regresión lineal simple. *In*: Introducción al Análisis de Regresión Lineal. Compañía Editorial Continental. México, D. F. pp: 13-60.
- Shaw E. M., K. J. Beven, N. A. Chappell, and R. Lamb. 2011. Estimating floods and low flows in the UK. *In*: Hydrology in Practice. Spon Press. London. England. 4th edition. pp: 322-350.
- Weiss, L. L. 1964. Ratio of true fixed-interval maximum rainfall. *J. Hydraul. Div.* 90: 77-82.