

Modelo IDF regional para el estado Cojedes, Venezuela

Edilberto Guevara Pérez ⁽¹⁾, Nahir Carballo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

⁽²⁾ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, San Carlos, Venezuela

Email: eguevara@uc.edu.ve, nahirdelc@gmail.com

Resumen

Los patrones de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de las lluvias extremas se usan en el diseño de obras hidráulicas menores. En el Estado Cojedes esa información es escasa, por lo que es necesario realizar investigaciones para generar modelos matemáticos y así estimar los parámetros. Con registros históricos de 48 estaciones pluviométricas distribuidas en el Estado y sus adyacencias, se determinó la intensidad de las lluvias extremas para duraciones entre 5 minutos y 24 horas. Los valores históricos de duración, intensidad y periodo de retorno, se ajustaron por estación, y para todo el Estado, mediante el método de los mínimos cuadrados, al modelo de Bernard (1932): $I = (k \cdot T^m) / (D + c)^n$. Para la bondad de ajuste se utiliza el coeficiente de determinación y el error estándar de los estimados. En el Modelo regional $R^2 = 0,995$ y los modelos puntuales de 0.99; dándose un buen ajuste del modelo con los datos observados.

Palabras clave: Lluvias extremas, análisis IDF, análisis de tormentas, modelos de tormentas.

Regional IDF model for Cojedes state, Venezuela

Abstract

Intensity Duration Frequency (IDF) pattern of storms are used in the design of small hydraulic structures. In Cojedes state this kind of information is rather scarce, and there is a need of researches to find mathematical models to estimate the storm design parameters. Based on the historical records of 48 rain gauges distributed over the state and its adjacencies, IDF analysis for storm durations between 5 minutes and 24 hours was done, and using the MSM procedure, mathematical models were adjusted for the IDF of each rain gauge (punctual model) as well as for the whole state (regional model) following the general pattern suggested by Bernard(1932): $I = (k \cdot T^m) / (D + c)^n$. The effectiveness of fitting was established by the determination coefficient and standard error of estimates. For point models $R^2 = 0.99$; while for regional model $R^2 = 0.995$, denoting in both cases a good agreement.

Keywords: Extreme rainfalls, IDF-analysis, storm analysis, storm models.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de pequeñas estructuras hidráulicas requiere del conocimiento de las características de las tormentas, tal como Intensidad, Duración, Frecuencia y Altura total de precipitación. Las relaciones Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) y Altura - Área - Duración (AAD) son importantes para el diseño y aún se usan cuando existe información. Últimamente su importancia se ha incrementado debido al énfasis introducido en la planificación sobre el manejo de la contaminación difusa de la escorrentía en áreas urbanas y rurales.

Las relaciones IDF normalmente se presentan como familias de curvas o mapas para cada período de retorno, de los cuales se extraen las magnitudes de Intensidad deseadas para el diseño. En regiones con poca información los patrones IDF tiene que establecerse utilizando los escasos datos disponibles. Un evento de tormenta se define mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante la tormenta, o mediante el denominado patrón IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia de las lluvias extremas). En el estado Cojedes existe escasa información sobre la dis-

tribución espacial y temporal de las tormentas, situación ésta que conduce a un sobre o sub-dimensionamiento de las estructuras. Las consecuencias pueden ser un elevado riesgo de falla en el funcionamiento de las obras o un costo innecesariamente alto. Ante esta situación, se requiere el desarrollo de investigaciones que permitan determinar modelos regionales sobre la base de la información disponible para estimar los parámetros de diseño de las obras hidráulicas. El objetivo de esta investigación es el de establecer un modelo regional para dichos patrones utilizando la estructura general propuesta por Bernard (1932) y la linealización de la curva de precipitaciones acumuladas [1].

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Algunos análisis hidrológicos requieren de la estimación de intensidades o alturas de precipitación para duraciones y frecuencias preestablecidas. Dichos datos generalmente se encuentran disponibles en forma de tablas, gráficos o mapas. Una tormenta o lluvia de diseño se especifica a través de sus parámetros Intensidad, Duración y Frecuencia, ya sea expresadas como magnitudes o relacionadas en un modelo matemático que se deduce sabiendo que la Intensidad I , la Duración D y la Altura o Profundidad de lluvia P se relacionan como se indica a continuación:

$$P = I \times D; \text{ o } I = P/D \quad (1)$$

Para lluvias puntuales la relación IDF se expresa matemáticamente mediante la expresión general:

$$I = k T^m / (D + c)^n \quad (2)$$

donde T es la Frecuencia (período de retorno) expresado en años; D es la duración de diseño; c , k , m , n , son parámetros de ajuste del modelo.

Para la elaboración de las Curvas IDF se suelen utilizar funciones de distribución de frecuencias. En trabajos anteriores [1-4] se ha enfatizado sobre el uso estandarizado en Venezuela de la Distribución de Valores Extremos de Gumbel Tipo I; y recomiendan simplificar dicha función mediante el uso de la Ecuación General de Frecuencia, es decir el denominado método de Factor de Frecuencia de Chow (3):

$$I_T = \mu_I + \sigma_I K_T \quad (3)$$

donde μ_I y σ_I son el promedio y la desviación estándar

de I ; K_T es el Factor de Frecuencia, el cual se encuentra tabulado en los textos de hidrología o estadística como una función del período de retorno T y del número de años de registros utilizados en el análisis. Para largos períodos de registro, el valor de K_T se calcula mediante la siguiente expresión (4):

$$K_T = - [0.45 + 0.7797 \ln\{-\ln(1 - 1/T)\}] \quad (4)$$

Para estimaciones preliminares la Ecuación (4) se puede utilizar para cualquier longitud de registro, ya que los resultados están dentro de los niveles de error aceptables. La altura total o profundidad de lluvia P y la duración D se relacionan en forma parabólica, como se indica en (5):

$$P = D / (A + BxD) \quad (5)$$

Donde: A y B son parámetros a ser ajustados por correlación. Transformando la Ecuación (5) se puede obtener una relación lineal entre I y D , como (6a y 6b):

$$P/D = I = 1 / (A + BxD) \quad (6a)$$

$$1/I = D/P = A + BxD \quad (6b)$$

El parámetro I vendría a ser el equivalente de μ_I en la ecuación (3) y en lo sucesivo se usan indistintamente en forma sinónima.

Siguiendo el mismo razonamiento, se deduce la siguiente expresión para la desviación estándar (7):

$$\sigma_I = 1 / (A' + B' \times D) \quad (7)$$

A , A' , B y B' son parámetros a ser ajustados por correlación. Las ecuaciones (6) y (7) se pueden utilizar en conexión con las ecuaciones (3) y (4) para estimar la Intensidad de Diseño para duraciones y frecuencias preestablecidas, como un método alternativo al modelo dado por la Ecuación (2).

Otros modelos se han propuesto para estimar las relaciones IDF. Así, Bilham [5] desarrolló la ecuación presentada en (8).

$$n = 1.25 D (r + 0.1)^{-3.55} \quad (8)$$

donde n es el número de ocurrencias en 10 años; r es

la profundidad de precipitación en pulgadas; y D es la duración en horas.

En la ingeniería hidráulica lo que usualmente se desea conocer es el período de recurrencia para una altura de lluvia o intensidad. Esto se obtiene transformando la ecuación (8) en tal forma que:

1. Para la altura P

$$P = [(2.114 \times 10^5 T D)/600]^{1/3.55} - 2.54 \quad (9)$$

donde T es la frecuencia de ocurrencia expresada como una vez en T años = $10/n$; D es la duración D en minutos.

2. Para la Intensidad I :

$$I = (60/D)[(202.3 T D)^{-3.55} - 2.54] \quad (10)$$

Wenzel [6] desarrolló el siguiente modelo (11) para estimar I en diferentes ciudades de Estados Unidos de Norte América:

$$I = c/(D^e + f) \quad (11)$$

donde I es la intensidad dada en mm/h; D , duración en minutos; c , e , f , son parámetros que varían como sigue: c entre 20 y 124; e , entre 0.63 y 0.97; f , entre 2.06 y 13.9. La Organización Meteorológica Mundial proporciona la siguiente ecuación (12) para estimar los valores envolventes superiores para I :

$$I = 422 D^{-0.525} \quad (12)$$

donde I está dada en mm/h y D en horas. Sobre la base de la ecuación (2), la variación de I en Venezuela se expresa mediante el método de la intensidad instantánea en conexión con el coeficiente de avance de las

tormentas [7-8], como sigue (ecuaciones 13 y 14):

$$I = C [(1 - n) (D + b)] / (D + b)^{n+1} \quad (13)$$

$$D = T_a / r \quad (14)$$

Donde:

$$C = T^x$$

T = Intervalo de recurrencia en años

x , b , n , son parámetros a ser ajustados

D = Duración total de la tormenta

T_a = Tiempo al pico del hietograma.

r = coeficiente de avance (0.410; $s = 0.075$ para Venezuela [8]). Los valores de I en términos de D y T_a se encuentran usando las ecuaciones (13) y (14).

En [9] se utiliza el análisis IDF para definir la distribución de lluvias cortas en Venezuela, los autores encontraron el modelo (ecuación 15 y 16), para estimar la lluvia total P_D en función de la duración D para valores menores que 60 minutos y la lluvia de 60 minutos, P_{60} :

$$R = 0.14 D^{0.49} \quad (15)$$

$$r = 0.980 \quad (16)$$

donde $R = P_D / P_{60}$

Si bien, la ecuación (15) no trata directamente con la Intensidad, permite estimar su magnitud para duraciones cortas conociendo la tormenta de 60 minutos de duración.

En [9]y [3] se presentan los resultados dados en la Tabla 1 para las curvas IDF en Venezuela, utilizando las ecuaciones (6) y (7).

Tabla 1. Resultados del cálculo de intensidades máximas de tormentas en Venezuela [3]

Parámetro	μI [mm/h]	Rango	σI [mm/h]	Rango	Modelos Para μI ; σI (D [min])
A	0.520	0.040-2.341	1.365	0.221-4.087	[60/ (A + B D)]
B	0.016	0.008-0.038	0.043	0.001-0.163	Para μI Modelo (6)
R	0.999		0.990		Para σI Modelo (7)
St. Error (%)	11		28		

Para la región central de Venezuela (estados Aragua, Carabobo y Cojedes), sobre la base de los registros pluviográficos de 14 estaciones, en [4] se han desarrollado los siguientes modelos para estimar los valores de la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia:

Modelo I: Con un coeficiente de correlación de $r = 0.996$ (ecuación 2):

$$I = \frac{634T^{0.222}}{(D + 4)^{0.714}} \quad (17)$$

I en mm/h y D en minutos.

Modelo II: Para ser ajustado a la estructura dada en la ecuación (3):

$$\mu_I = 60 / (0.50 + 0.016 D) ; \text{ con } r = 0.998 \quad (18)$$

$$\sigma_I = 60 / (1.75 + 0.037 D) ; \text{ con } r = 0.99 \quad (19)$$

$$K_T = - [0.45 + 0.7797 \text{Ln}\{-\text{Ln}(1 - 1/T)\}] \quad (20)$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio y del régimen pluviométrico

El estado Cojedes posee una superficie total de 14.800 Km² y está delimitado por las coordenadas geográficas: Longitud Oeste: 67° 45' 00" a 68° 59' 00" y Latitud Norte: 10° 05' 17" a 8° 30' 48". Presenta 9 municipios y su actividad económica se centra principalmente en la agricultura y la ganadería (INE, PNUD y Gobernación del estado Cojedes, 2001). El sistema hidrográfico del Estado está constituido por las cuencas de los ríos Camoruco, Tinaco, Tirgua, Pao y Cojedes; con una extensión conjunta 19.259 Km², y tiempos de concentración de 6.5; 13.0; 10.4; 13.4 y 42.4 horas, respectivamente [10].

“Las precipitaciones se caracterizan por poseer un periodo lluvioso que va desde mayo a octubre, con dos máximas que oscilan alrededor de los 213 mm en los meses de junio a julio (distribución bimodal) y una precipitación promedio en este lapso de 160 mm; el periodo seco abarca los meses de noviembre a abril, con una mínima precipitación en los meses de enero a febrero de alrededor de 8 mm mensual y

un promedio para dicho lapso de 160 mm; la precipitación media anual para el Estado, es de 1.430 mm y fluctúa entre un máximo de 1.978 mm en la zona norte del estado (zona montañosa) y un mínimo de 1.233 mm en los alrededores de las Galeras del Pao”.

El número de estaciones pluviométricas ubicadas en el estado y zonas adyacentes es de 58; no obstante, sólo 48 poseen datos confiables [11].

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En la fase preliminar se recabaron en las oficinas del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) los registros históricos de las precipitaciones máximas anuales para duraciones de 5, 15 y 30 minutos; 1, 2, 3, 6, 9, 12 y 24 horas. En la Tabla 2 se resumen las características de la red de medición. Sólo se tomaron en cuenta las series anuales continuas. En el caso de series discontinuas se consideró para el análisis la sub-serie anual continua de mayor amplitud.

Para el análisis de frecuencia de las lluvias máximas se utilizó la distribución empírica de Weibull, calculando el período de retorno para cada evento mediante la expresión $T = (n + 1)/m$; donde T viene a ser el período de retorno del evento en años, n el número de años de registro de la variable analizada y m el orden que le corresponde a cada valor de la variable en la serie de tiempo ordenada en forma decreciente. La intensidad promedio máxima, se determinó dividiendo la altura de precipitación y la duración respectiva, referida a una hora [12].

En lo que sigue se va a describir más detalladamente el procedimiento para estimar los parámetros de ajuste del modelo dado en la ecuación (2), que es el que se va a utilizar en este trabajo:

Tomando la transformada logarítmica de la ecuación (2), efectuando el cambio de variables que se indica y reemplazando las nuevas variables en dicha ecuación, se obtiene:

$$\log I = \log k + m \cdot \log T - n \cdot \log(D + c) \quad (21)$$

$$y = \log(I) \quad (22)$$

$$a_o = \log(k) \quad (23)$$

$$a_1 = m \quad (24)$$

$$x_1 = \log(T) \quad (25)$$

$$a_2 = -n \quad (26)$$

$$x_2 = \log(d + c) \quad (27)$$

$$y = a_o + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 \quad (28)$$

La ecuación (28) es una familia de líneas rectas de pendiente a_2 , ordenadas al origen a_o y espaciamiento a_1 , cuya solución se obtiene formulando el siguiente sistema de ecuaciones:

Donde:

$$\sum y = Na_o + a_1 \cdot \sum x_1 + a_2 \cdot \sum x_2 \quad (29)$$

$$\sum (x_1 \cdot y) = a_o \cdot \sum x_1 + a_1 \cdot \sum (x_1^2) + a_2 \cdot \sum (x_1 \cdot x_2) \quad (30)$$

$$\sum (x_2 \cdot y) = a_o \cdot \sum x_2 + a_1 \cdot \sum (x_1 \cdot x_2) + a_2 \cdot \sum (x_2^2) \quad (31)$$

N: número de datos observados utilizados para el ajuste

a_o , a_1 y a_2 : parámetros de ajuste del modelo

x_1 : logaritmo del período de retorno

x_2 : duración de la lluvia (con el valor c agregado de ser necesario)

y : intensidad de la lluvia, obtenida de las estaciones pluviométricas.

Una vez calculados los coeficientes a_o , a_1 y a_2 , es posible valorar los parámetros k , m y n de la ecuación (2). Multiplicando el valor de la intensidad obtenido mediante la ecuación (2) por la duración D se obtiene el modelo matemático dado en la ecuación (32) para calcular la altura de precipitación acumulada:

$$P_D = D (k T^m / (D + c))^n \quad (32)$$

Donde:

PD: lluvia acumulada en el tiempo D en mm

T: período de retorno en años

D: duración de la lluvia en horas

k , m , n y c : parámetros ajustados como se indicó anteriormente

La curva masa de precipitación, representa la altura total de precipitación que, en promedio, se produce en el área de influencia del pluviógrafo durante una tormenta. Esta curva se calcula mediante algún método de estimación de la lluvia media sobre el área (promedio aritmético, polígono de Thiessen, o isoyetas). A partir de estas curvas se puede obtener un hietograma de diseño que se usa para alimentar a algún modelo de relación lluvia – escurrimiento.

Siguiendo el procedimiento indicado, se determinaron las intensidades promedio máximas para cada duración y período de retorno (lluvias locales). Los parámetros del modelo de correlación de la Ecuación (2), se ajustaron mediante el empleo del método de estimación: Quasi – Newton y la función de pérdida (*Loss Function*):

$$L = (obs - pred)^2 \quad (33)$$

Donde:

L. función de pérdida (*Loss Function*)

obs: valor observado

pred: valor predicho

Con el propósito de evaluar la calidad predictora del modelo se calculó el coeficiente de determinación (R^2), el porcentaje de la varianza explicada por el modelo, el error estándar de los parámetros estimados, la matriz de correlación de los parámetros estimados; asimismo, se graficó los valores predichos por el modelo versus los observados, la distribución de los residuales y la distribución de los residuales en papel normal [13].

Para la obtención del modelo regional, sólo se tomaron en cuenta los datos de 26 estaciones (Arismendi, El Baúl carretera, Cachinche, Campo Carabobo, Caño Benito, La Ceiba–Camoruco, Cojeditos, El Amparo, Galera, Guabinas, Guayabito, Hato Las Babas, Hato Paradero, Jobalito, Aguadita, Manaure, Manrique, Mata Oscura, La Morena, Palo Quemao, Pao Oficina, Pao Planta, San Rafael de Onoto, Tinaco, Vallecito y Las Vegas–Charcote. El área de influencia de cada estación se estableció mediante el procedimiento de los Polígonos de Thiessen [2, 9, 12]. Para el análisis se utilizó el período continuo de registros 1972-1983 y duraciones entre 15 minutos y 9 horas.

Tabla 2. Características de las estaciones climatológicas usada en la modelación de las tormentas para el estado Cojedes (Fuente: Ramones y Vivas, [11]).

Estación	Serial	Latitud N	Longitud O	Tipo	Período de Registros	Estado
Las Majaguas	2334	09°39'13"	68° 59' 37"	C2	1963-1990	Portuguesa
Auro	2228	09° 42' 39"	69° 14' 21"	PR	1957-1983	Lara
Agua Blanca	2238	09° 39' 30"	69° 05' 00"	C2	1962-1990	Portuguesa
S.R. de Onoto	2331	09° 41' 24"	68° 48' 25"	PR	1955-1990	Portuguesa
Tocuyano	2351	09° 32' 13"	68° 57' 09"	PR	1957-1983	Portuguesa
Central Matilde	1381	10° 08' 39"	68° 52' 11"	C3	1943-1990	Yaracuy
Guabinas	2357	09° 41' 27"	68° 52' 55"	PR	1967-1990	Cojedes
Cojeditos	2340	09° 38' 47"	68° 55' 10"	PR	1963-1983	Cojedes
Santa Teresa	2342	09° 31' 23"	68° 51' 37"	PR	1963-1990	Cojedes
Guayabito	2362	09° 30' 31"	68° 48' 31"	PR	1957-1983	Cojedes
Palo Quemado	3303	09° 25' 00"	68° 42' 00"	PR	1967-1990	Cojedes
El Amparo	3301	09° 18' 36"	68° 45' 25"	PR	1967-1983	Cojedes
Los Cogollos	6357	10° 09' 19"	68° 41' 38"	PR	1966-1990	Yaracuy
Ceiba – Camoruco	2333	09° 39' 03"	68° 44' 23"	PR	1963-1983	Cojedes
Nirgua	1373	10° 09' 43"	68° 33' 35"	PR	1967-1990	Yaracuy
Morena	2340	09° 41' 32"	68° 35' 47"	C3	1959-1983	Cojedes
Los Colorados	2354	09° 38' 33"	68° 37' 04"	PR	1967-1983	Cojedes
Vega – Charcote	2364	09° 30' 29"	68° 37' 58"	PR	1955-1990	Cojedes
Temerla	1380	10° 15' 33"	68° 25' 52"	PR	1963-1990	Yaracuy
Miranda – Trinidad	1385	10° 10' 32"	68° 25' 11"	PR	1966-1990	Carabobo
Vallecito	2308	09° 52' 52"	68° 27' 57"	PR	1963-1990	Cojedes
Manrique	2324	09° 48' 42"	68° 31' 02"	PR	1966-1983	Cojedes
Hato Las Babas	3304	09° 29' 52"	58° 29' 00"	PR	1967-1990	Cojedes
Canoabo	1370	10° 18' 15"	68° 16' 40"	PR	1964-1990	Carabobo
Montalbán	1365	10° 13' 02"	68° 20' 16"	PR	1966-1990	Carabobo
Tinaquillo	2316	09° 55' 18"	58° 17' 38"	PR	1964-1990	Cojedes
La Aguadita	2326	09° 48' 49"	68° 22' 31"	PR	1964-1983	Cojedes
Tinaco	2336	09° 42' 12"	68° 26' 24"	PR	1956-1990	Cojedes
Baúl Carretera	3309	08° 59' 40"	68° 14' 51"	PR	1964-1990	Cojedes

Tabla 2. (Cont) Características de las estaciones climatológicas usada en la modelación de las tormentas para el estado Cojedes (Fuente: Ramones y Vivas, [11]).

Estación	Serial	Latitud N	Latitud O	Tipo	Período de Registros	Estado
Baúl Carretera	3309	08° 59' 40"	68° 14' 51"	PR	1964-1990	Cojedes
Chirgua Cabecera	1318	10° 17' 40"	68° 10' 24"	PR	1967-1990	Carabobo
Bejuma Panamericana	1368	10° 10' 11"	68° 15' 33"	PR	1964-1990	Carabobo
Morita Caserío	2348	09° 39' 19"	68° 15' 30"	PR	1957-1990	Carabobo
Guataparo Dique	1359	10° 10' 30"	68° 03' 34"	C3	1952-1984	Carabobo
Campo de Carabobo	1397	10° 00' 13"	68° 09' 48"	PR	1951-1990	Carabobo
Cachinche	2318	09° 54' 00"	68° 08' 30"	PR	1968-1989	Carabobo
Pao Planta	2338	09° 45' 37"	68° 06' 44"	PR	1964-1990	Cojedes
Pao Oficina	2349	09° 39' 00"	68° 08' 00"	PR	1964-1990	Cojedes
Galera	2350	09° 28' 44"	68° 10' 31"	PR	1964-1990	Cojedes
Caño Benito	2378	09° 19' 52"	68° 09' 10"	PR	1954-1990	Cojedes
Manaure	2404	09° 57' 58"	67° 48' 20"	PR	1963-1990	Carabobo
Mata Oscura	2352	09° 31' 56"	68° 54' 20"	PR	1963-1983	Cojedes
Hato Paradero	2427	09° 46' 20"	67° 34' 40"	PR	1961-1990	Guarico
S.J. Tiznado	2465	09° 23' 20"	67° 33' 42"	PR	1967-1990	Guarico
Los Naranjos	3403	08° 52' 38"	67° 30' 35"	PR	1954-1990	Guarico
Corozo Pando	3454	08° 31' 00"	67° 35' 00"	PR	1959-1990	Guarico
Sarare	2229	09° 47' 10"	69° 09' 09"	PR	1958-1990	Lara
Arismendi	3331	08° 29' 03"	68° 22' 13"	C2	1971-1990	Cojedes
Jobalito	3332	08° 41' 15"	68° 05' 43"	PR	1972-1990	Cojedes

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los parámetros de ajuste del modelo matemático utilizado para estimar la intensidad de las lluvias extremas en función de la duración en horas y el período de retorno en años en cada una de las 46 estaciones pluviográficas utilizadas en el estudio.

Se puede observar, a excepción de una sola estación (Tinaquillo), la magnitud de los coeficientes de determinación es sorprendentemente elevada, indican-

do un buen ajuste de los datos observados al modelo propuesto para estimar las intensidades. Sin embargo, hay que hacer notar que las magnitudes de cada parámetro muestran una gran variabilidad indicando que las lluvias no son uniformes y más bien varían de una estación a otra.

Así tenemos que los rangos de variación de los parámetros K, m, c, n y R², son respectivamente, 13-85; 0,114-0,632; 0,140-0,766; 0,135-1,277; y 0,54- 0,99.

Tabla 3. Parámetros de ajuste de los modelos IDF ($I = k T_m / (D + c)n$) para estimar la intensidad de las lluvias extremas en función de la duración, D y el período de retorno, T en el estado Cojedes.

	Parámetro				
Estación climatológica	K	M	c	n	R ² en %
Las Majaguas	43,182	0,215	0,257	0,939	98,981
Auro	39,602	0,273	0,163	0,848	98,024
Agua Blanca	42,663	0,222	0,216	0,829	97,569
S.R. de Onoto	50,975	0,272	0,378	0,958	97,870
Tocuyano	50,975	0,272	0,378	0,958	97,870
Central Matilde	44,274	0,281	0,328	0,983	98,960
Guabinas	45,318	0,301	0,428	0,899	92,108
Cojeditos	34,867	0,289	0,184	0,856	98,968
Santa Teresa	45,943	0,228	0,332	0,885	98,396
Guayabito	48,735	0,229	0,270	0,863	97,797
Palo Quemado	53,295	0,343	0,589	1,032	96,014
El Amparo	39,451	0,299	0,229 ^{n,s}	0,852	94,694
Los Cogollos	17,091	0,496	-0,117 ^{n,s}	0,671	91,046
Ceiba – Camoruco	60,208	0,168	0,439 ^{n,s}	0,952	89,768
Nirgua	22,169	0,450	0,203	0,934	95,358
Morena	44,496	0,270	0,297	0,890	98,575
Los Colorados	45,977	0,299	0,419	0,877	95,530
Vega – Charcote	32,924	0,293	0,179	0,819	97,552
Temerla	84,934	0,241	0,766	1,277	96,589
Miranda – Trinidad	22,765	0,324	0,050 ^{n,s}	0,815	91,176
Vallecito	46,333	0,189	0,265	0,884	97,699
Manrique	47,577	0,243	0,313	0,931	98,188
Hato Las Babas	36,676	0,302	0,273	0,862	96,320
Canoabo	28,343	0,264	0,106	0,863	95,661
Montalbán	29,988	0,272	0,345 ^{n,s}	1,052	94,311
Tinaquillo	10,515	0,488	-0,250	0,135	54,152
La Aguadita	42,484	0,233	0,207	0,812	98,243
Tinaco	43,146	0,262	0,352	0,882	96,357
Baúl Carretera	69,275	0,218	0,529	1,049	98,322

Tabla 3.(Cont) Parámetros de ajuste de los modelos IDF ($I = k T^m / (D + c)^n$) para estimar la intensidad de las lluvias extremas en función de la duración, D y el período de retorno, T en el estado Cojedes.

	Parámetros				
Estación climatológica	K	M	c	n	R ² en %
Chirgua Cabecera	13,004	0,632	-0,171	0,514	87,398
Bejuca Panamericana	19,196	0,394	0,045 ^{n.s.}	0,702	95,655
Morita Caserío	53,244	0,235	0,417	1,041	98,481
Guataparo Dique	22,384	0,457	0,014 ^{n.s.}	0,669	96,135
Campo de Carabobo	36,886	0,334	0,272	0,893	96,272
Cachinche	26,994	0,286	0,128 ^{n.s.}	0,845	94,942
Pao Planta	46,037	0,370	0,473	1,059	96,068
Pao Oficina	31,544	0,345	0,171 ^{n.s.}	0,735	84,201
Galera	47,394	0,320	0,328	0,938	99,000
Caño Benito	53,690	0,303	0,601	1,065	96,322
Manaure	36,474	0,419	0,513	1,066	93,375
Mata Oscura	41,371	0,114	0,155 ^{n.s.}	0,779	88,063
Hato Paradero	35,761	0,295	0,302	0,945	96,422
S.J. Tiznado	54,583	0,296	0,591	0,983	96,401
Los Naranjos	43,412	0,331	0,333	0,957	93,329
Corozo Pando	39,947	0,275	0,166	0,823	95,638
Sarare	37,420	0,296	0,215	0,858	98,651
Arismendi	74,021	-0,022 ^{n.s.}	0,320 ^{n.s.}	0,865	87,042
Robalito	85,014	-0,765	0,417	0,848	98,076

Nota: ^{n.s.} : parámetro no significativo a un nivel de confianza del 95 %.

Como se puede observar, a excepción de una sola estación (Tinaquillo), la magnitud de los coeficientes de determinación es sorprendentemente elevada, indicando un buen ajuste de los datos observados al modelo propuesto para estimar las intensidades. Sin embargo, hay que hacer notar que las magnitudes de cada parámetro muestran una gran variabilidad indicando que las lluvias no son uniformes y más bien varían de una estación a otra. Así tenemos que los rangos de variación de los parámetros K , m , c , n y R^2 , son respectivamente, 13-85; 0,114-0,632; 0,140-0,766; 0,135-1,277; y 0,54- 0,99. A nivel puntual, de todos

los modelos generados, el de la estación climatológica Tinaquillo no debe emplearse como herramienta de predicción, ya que la varianza explicada mediante este modelo puntual es muy baja. Los modelos correspondientes a las estaciones: Pao Oficina, Chirgua Cabecera, Mata Oscura, Arismendi y Ceiba Camoruco deben usarse y sólo para estimaciones preliminares. En los otros modelos puntuales se observa un elevado nivel de ajuste a los datos observados.

Para el modelo regional se siguió el mismo procedimiento que para los modelos puntuales, pero utilizando todos los datos en un solo conjunto, los resulta-

dos obtenidos fueron:

$$I = 53,13 T^{0,122} / (D + 0,32)^{0,92} \quad (34)$$

$$R^2 = 0,995$$

donde: I es la intensidad de la lluvia en mm/h; T es el período de retorno en años; y D es la duración de la lluvia en horas.

A pesar de la variabilidad de los parámetros de los modelos puntuales, el modelo regional único encontrado para estimar las intensidades máximas para diferentes duraciones y periodos de retorno en cualquier parte del Estado Cojedes muestra un coeficiente de correlación elevado, por lo que se puede utilizar para estimaciones preliminares de las intensidades de diseño en el Estado.

Comparando los valores estimados de intensidades mediante el modelo regional dado anteriormente con las estimaciones obtenidas mediante los modelos I y II dados por [4] para la región central de Venezuela, no se encuentran diferencias significativas en los resultados, lo cual confirma la bondad de los resultados de la presente investigación. Sin embargo, es recomendable utilizar los modelos obtenidos para estimaciones preliminares y revisar los parámetros de los modelos cada vez que se disponga de mayor información.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre la base del análisis y discusión de los resultados de esta investigación se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Pese a la falta de homogeneidad hidrológica en el Estado, los modelos IDF desarrollados, tanto a nivel puntual, como regional, se ajustan muy bien a los datos observados.

Los modelos puntuales pueden utilizarse para estimaciones preliminares en áreas que estén dentro del radio de influencia de la estación que posee el modelo puntual, a excepción de aquellas que específicamente se ha determinado que los modelos no son lo suficientemente confiables, como es el caso de la estación Tinaquillo, o aquellas en las que los parámetros

de ajuste del modelo no tienen un nivel de confianza significativo (en la Tabla 3).

En aquellas zonas que no disponen de un modelo puntual o éste es no significativo se puede utilizar el modelo regional para estimar las intensidades de diseño a nivel preliminar.

Se recomienda repetir esta investigación incluyendo registros históricos más recientes a fin de incrementar la calidad predictora de los modelos.

Se recomienda evaluar la consistencia de los registros históricos de las estaciones pluviométricas: Tinaquillo, Pao Oficina, Chirgua Cabecera, Mata Oscura, Arismendi y Ceiba Camoruco.

REFERENCIAS

- [1] Guevara, E. (2002 b): "Distribución del hietograma de las tormentas en la región central de Venezuela". Memorias en CD del IV Congreso de Investigación y I Congreso de Postgrado en la Universidad de Carabobo. 4 – Nov. 2003. Valencia, Venezuela.
- [2] Guevara E., y Cartaya H. (1991): Hidrología. Una introducción a la hidrología aplicada. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo.
- [3] Guevara, E. (2002 a): "Design Parameter Modelling of Tropical Storms in Venezuela". Proceedings of The International Conference on Water Resources and Environmental Engineering. Dresden, Germany. Pp. 420 – 427.
- [4] Guevara, E. (2002 c): "Modelo regional para la estimación de las lluvias de diseño en la región central de Venezuela". Memorias en CD del IV Congreso de Investigación y I Congreso de Postgrado en la Universidad de Carabobo. 4 – Nov. 2003. Valencia, Venezuela.
- [5] Bilham E. G. (1962): "The classification of heavy Falls of Rain in short periods". H.M.S.O., London. Republished.
- [6] Wenzel, H. G. (1982): "Rainfall for Urban Stormwater Design". In Urban Storm Water Hydrology.

Ed. By David F. Kibler, WRM 7. AGU. Washington DC.

- [7] Guevara, E and H. Cartaya. (1998): "Storm Advancement Coefficient for the Design Precipitation Hyetographs in Venezuela". Proceedings of the Eighteenth Annual American Geophysical Union Hydrology Days. Hydrology Days Publications. Colorado State University, Fort Collins, CO. USA. pp 121 - 130. Copy right. 1998 by Morel Seitoux
- [8] Guevara, E. (2000): "Patrón de distribución del hietograma de las tormentas en Venezuela".III Congreso de Investigación en la Universidad de Carabobo. Junio 04 - 09. 2000. Valencia, Venezuela
- [9] Guevara, E. y H. Cartaya (2001): "An Intensity - Duration- Frequency Model for Design Storms in Venezuela". Proceedings of XXI American Geophysical Union Hydrology Days. Hydrology Days Publication. Colorado State University, Fort Collins, CO, USA. pp 85 - 96.
- [10] Ruiz, J (1990), "Principales características morfo-métricas de cinco cuencas del estado Cojedes, su correlación e inferencias en el aspecto cualitativo del escurrimiento". Proyecto de investigación. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. pp. 22-24
- [11] Ramones, R. y Vivas, I. (2001): " Curvas de intensidad – duración – frecuencia de lluvias en el estado Cojedes". Trabajo de ascenso no publicado. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora, Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. Cojedes, Venezuela. pp. 1-2; pp. 45-46 y anexo 2.
- [12] Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994) Manual de hidrología aplicada. Santa Fé de Bogota, Colombia. Mc Graw – Hill. pp. 455-499.
- [13] Montgomery, D. (1991): "Diseño y análisis de experimentos" (Lic. Jaime Delgado Saldivar Trad.) México: Grupo Editorial Iberoamericana. pp. 429 – 462.