

# RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

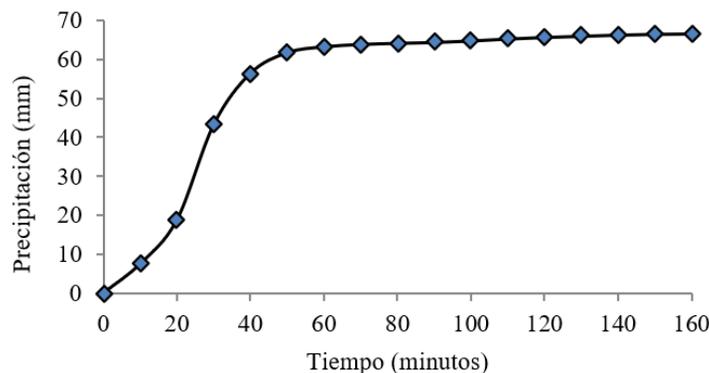
## Curvas de intensidad, duración y frecuencia derivada de lluvia máxima diaria a partir de datos de seis estaciones meteorológicas en Nicaragua

### Intensity, duration and frequency curves derived of diary maximum rainfall from data of six meteorological stations, Nicaragua

Miguel Enrique Blanco Chávez

MSc. Ingeniería Ambiental, Profesor Titular, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-4209> / meblanco\_ch@yahoo.es

Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua



#### RESUMEN

En los sitios de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos se requiere determinar las curvas intensidad, duración y frecuencia de lluvia para estimar caudales máximos. El objetivo de esta investigación fue estimar la correlación que hay entre la precipitación máxima diaria, las intensidades máximas para diferentes duraciones de lluvia, y los períodos de retorno, utilizando datos de lluvias de seis estaciones meteorológicas de la zona del Pacífico y zona Central del país. Se ha utilizado la función de distribución Gumbell para obtener las curvas intensidad, duración y frecuencia en las estaciones pluviográficas, para duraciones de cinco a 120 minutos. Con la prueba Smirnov-Kolmogorov, para un nivel de significancia de 5 %, se determinó que la función Gumbell tiene un buen ajuste con la probabilidad empírica de los datos analizados. Utilizando una relación potencial de las intensidades para diferentes duraciones, los períodos de retorno, y las precipitaciones máximas de 24 horas, se han obtenido ecuaciones que permiten estimar las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) a partir de las precipitaciones máximas de 24 horas. Estas ecuaciones podrían ser utilizadas para estimar las curvas de intensidad, duración y frecuencia en sitios donde únicamente se dispone de datos de precipitaciones diarias en la zona de influencia de las seis estaciones meteorológicas.

**Palabras clave:** precipitación diaria, intensidad máxima, análisis de frecuencia, período de retorno.

#### ABSTRACT

In the places of hydraulics resources facility, it is required to estimate the intensity-duration-frequency rainfall curves, in order to estimate the maximum discharges. The aim of this study was to estimate the correlations between the annual diary maximum precipitation, the maximum intensities for different rainfall durations, and the returns periods, using rainfall data of six meteorological stations from the Pacific and Central zones of the country. The Gumbell distribution has been used to obtain the intensity-duration-frequency curves for the pluviograph stations, for durations of five to 120 minutes. Using the Smirnov-Kolmogorov test, with a 5% significant level, it was determined that the Gumbell distribution has a good adjustment with the analyzed data's empirical probability. Using a potential relation for the intensities with different durations, the return periods, and the 24 h maximum precipitations, equations were developed to allow to estimate the intensity-duration-frequency curves from the 24 h maximum precipitations. These equations could be used to obtain the IDF curves in those places where only available dairy precipitations, in the six meteorological stations.

**Keywords:** Dairy precipitation, maximum intensity, frequency analysis, return period.

Recibido: 29 de abril del 2024  
Aceptado: 29 de octubre del 2024



Los artículos de la revista La Calera de la Universidad Nacional Agraria, Nicaragua, se comparten bajo términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento, No Comercial, Compartir Igual. Las autorizaciones adicionales a las aquí delimitadas se pueden obtener en el correo [donauld.juarez@ci.una.edu.ni](mailto:donauld.juarez@ci.una.edu.ni)

© Copyright 2024. Universidad Nacional Agraria (UNA).

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) son ampliamente utilizadas en los cálculos hidrológicos para el diseño de obras hidráulicas como alcantarillas, puentes, vertederos de presas, canales de drenaje pluvial, y en estudios de amenazas por inundaciones y erosión hídrica. Las curvas IDF sólo se puede obtener en estaciones meteorológicas que disponen de pluviógrafos, los cuales registran la precipitación acumulada a lo largo del tiempo, en un gráfico, donde se pueden hacer lecturas de la lluvia cada cinco minutos, y con eso estimar las intensidades. En Nicaragua la mayoría de las estaciones son pluviométricas, únicamente registran la precipitación total acumulada en 24 horas, por lo que en esos sitios no se dispone de información para la obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

Campos (1978), como se citó en Torne Angulo, (2023), indica que cuando no hay registros horarios de lluvias, se proponen ecuaciones para estimar su intensidad con diferente duración a partir de las series de precipitación máxima en 24 horas, obteniendo buenos resultados.

Otros autores como Hassan El-Sayed (2017) en Egipto, Mejía Arrieta (2017) y Vargas y Díaz Granados (1998) en Colombia, determinaron ecuaciones que relacionan las intensidades máximas anuales y sus períodos de retorno con las precipitaciones máximas diarias, con coeficientes de determinación  $R^2 > 0.80$ . De igual manera en Turquía, Sen (2019), en la India, Basumatary y Sundar Sil (2017), presentaron modelos matemáticos para estimar las curvas IDF como función de la lluvia máxima diaria, obteniendo también buenos resultados.

Para el análisis de frecuencia de las intensidades máximas anuales de diferentes duraciones, se ha utilizado la función de distribución de probabilidad de valores extremos Tipo uno de Gumbell (Chow, 1953), porque se adapta bien a las distribuciones empíricas de probabilidad de eventos máximos de lluvias (Chow *et al.*, 1988). También se utilizó la función Gumbell para el análisis de las series de precipitación máxima diaria, para obtener sus valores para diferentes períodos de retorno. Se comprobó la bondad del ajuste de la función Gumbell mediante la prueba Smirnov-Kolmogorov (Villón Béjar, 2006).

Tomando en cuenta la insuficiente cantidad de estaciones pluviográficas en amplias regiones del país, se dificulta la precisión en la estimación de las intensidades máximas, y por consiguiente los caudales máximos de diseño asociados; se hace necesario plantear procedimientos que permitan solventar esta limitación en los estudios hidrológicos que se realizan en dichas zonas del país.

El objetivo de este estudio fue determinar las ecuaciones potenciales que relacionan los datos de las curvas de intensidad, duración y frecuencia con las precipitaciones

máximas de 24 horas, que nos permita estimar la intensidad, duración y frecuencia en aquellos sitios que únicamente disponen de datos diarios de precipitación, solventando así la escasa disponibilidad de datos pluviográficos para estimar las curvas intensidad, duración y frecuencia.

### MATERIALES Y MÉTODOS

**Análisis de independencia de las series de precipitación máxima diaria anual.** Los supuestos del análisis de frecuencia de una serie de datos es que son aleatorios, que no dependen de los valores anteriores, garantizando así que son datos independientes. Para el análisis de independencia de las precipitaciones máximas de 24 horas, se utilizó el siguiente coeficiente de autocorrelación.

$$R_h = \frac{C_h}{C_o} \quad (1)$$

$$C_h = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-h} (Y_t - Y_m)(Y_{t+h} - Y_m) \quad (2)$$

$$C_o = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (Y_t - Y_m)^2 \quad (3)$$

Donde:

$R_h$  = Coeficiente de autocorrelación

$C_h$  = Función de auto covarianza

$C_o$  = Función de varianza

$h$  = Desfase en años

$Y_t$  = Valor de la intensidad de lluvia en el año  $t$

$Y_m$  = Valor medio de la serie de intensidades de lluvia

$N$  = Número de años de la serie de intensidades de lluvia.

El valor resultante de  $R_h$  oscilará entre -1 y +1.

Con los valores del coeficiente de autocorrelación  $R_h$ , con desfase  $h$  desde cero a diez años, se procede a graficar el desfase contra  $R_h$  (Figura 1), obteniendo así el correlograma de la serie de precipitaciones máximas de 24 horas.

Cuando los valores de  $R_h$  se aproximan a cero, los valores de la serie no son autocorrelativos, es decir, el valor actual no depende del valor anterior, y se puede inferir que la serie es independiente.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

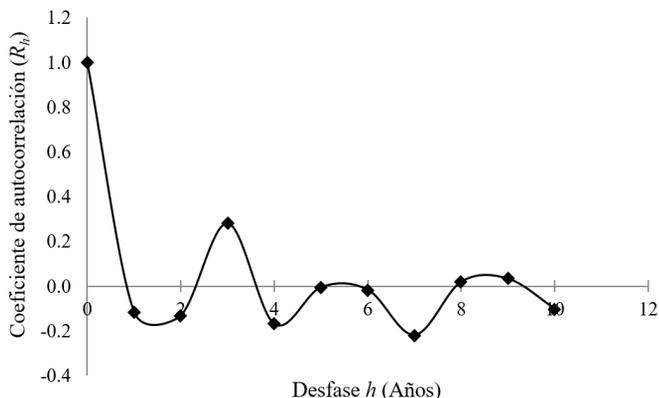


Figura 1. Correlograma de precipitación máxima de 24 horas.

**Obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia.** Para obtener las curvas IDF se realizó el análisis de frecuencia con la función de probabilidad Gumbel (valores extremos tipo I), la que ajusta bien a las precipitaciones máximas anuales (Chow *et al.*, 1988; Muñoz y Zamudio, 2018; Wilches *et al.*, 2020). La función de distribución de probabilidad acumulativa para Valores Extremos Tipo I (EVI) es:

$$F(X) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{x - \mu}{\alpha} \right) \right] \quad (4)$$

Para todo  $-\alpha \leq x \leq \alpha$

Los parámetros de la función son estimados con:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad (5)$$

$$\mu = X_{med} - 0.5772 \alpha \quad (6)$$

Donde:

$\alpha$  = Parámetro de escala

$\mu$  = Parámetro de posición, llamado también moda de la distribución

$S$  = Desviación estándar de la serie analizada  $x$

$X_{med}$  = Media de la serie analizada  $x$

Se puede definir una variable reducida:

$$Y = \frac{X - \mu}{\alpha} \quad (7)$$

Sustituyendo:

$$F(x) = \exp[-\exp(-Y)] \quad (8)$$

Despejando  $Y$ :

$$Y = -\text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{1}{F(x)} \right) \right] \quad (9)$$

También se puede calcular con el período de retorno  $T$  la probabilidad acumulada  $p(x \leq X)$ :

$$F(x_T) = \frac{T - 1}{T} \quad (10)$$

Sustituyendo  $F(x_T)$  en  $Y$ , se obtiene la variable  $Y_T$ :

$$Y_T = -\text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{T}{T - 1} \right) \right] \quad (11)$$

Para la distribución de Valores Extremos Tipo I (EVI),  $X_T$  está relacionado con  $Y_T$  por medio de:

$$X_T = \mu + \alpha Y_T \quad (12)$$

Donde  $X_T$  es valor máximo de la variable para un determinado período de retorno de la serie analizada.

**Bondad del ajuste.** Se revisó la bondad del ajuste de la distribución de probabilidad teórica de la función de Gumbel (EVI) a la distribución de probabilidad empírica de los datos de intensidades con la prueba de Smirnov-Kolmorov, en la que se compara las desviaciones máximas de la probabilidad de la función Gumbell respecto a la probabilidad empírica  $\Delta P_{max}$ , con la desviación máxima de Smirnov-Kolmogorov  $\Delta_{max}$ . En esta prueba se utilizó un nivel de significancia  $\alpha$  de 5%. Para que se acepte el ajuste de la función Gumbell (EVI) se debe cumplir que  $\Delta P_{max} \leq \Delta_{max}$  (Villón Béjar, 2006).

La distribución de probabilidad empírica (Chow *et al.*, 1988) se calculó con la fórmula de Weibull:

$$p = m/(N+1) \quad (13)$$

Donde:

$p$  = Probabilidad empírica

$m$  = Número de orden de una serie ordenada de menor a mayor

$N$  = Número total de datos de la serie

**Correlación de las IDF a partir de precipitaciones máximas de 24 horas.** Se utilizó una ecuación tipo exponencial propuesta por Vargas y Díaz Granados (1998) que plantea:

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

$$I = \frac{a T^b M^d}{t^c} \quad (14)$$

Donde:

$I$  = Intensidad de precipitación en milímetros por hora ( $\text{mmh}^{-1}$ ).  
 $T$  = Período de retorno en años, asociado a la intensidad  $I$ .  
 $M$  = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas (mm), a nivel multianual, para un determinado  $T$   
 $t$  = Duración de la lluvia en minutos  
 $a, b, c$  y  $d$  = Parámetros de ajuste de la regresión

Para obtener los parámetros de la ecuación anterior se procedió a hacer una transformación de ecuación exponencial a una de tipo lineal, mediante la aplicación de logaritmos naturales a ambos lados de (14):

$$\ln I = \ln A - c \ln(t) \quad (15)$$

$$\ln A = \ln k + b \ln(T) \quad (16)$$

$$\ln k = \ln a + d \ln(M) \quad (17)$$

La aplicación de este artificio permite establecer una relación lineal entre los logaritmos de las variables, por lo que se puede aplicar la técnica de los mínimos cuadrados para determinar los valores óptimos de cada parámetro (Mejía Arrieta, 2017).

Se obtuvieron los coeficientes  $A$  y  $c$  de (15) por correlación lineal. Con el método de mínimos cuadrados se obtuvo la ecuación de la recta de mejor ajuste, usando como variable independiente  $X = \ln(t)$  y variable dependiente  $Y = \ln(I)$ . Los valores  $A$  y  $c$  se obtuvieron para cada período de retorno en cada estación seleccionada. La calidad de esta correlación se evaluó mediante el coeficiente de determinación  $R^2$ . La correlación lineal se realizó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Una vez obtenidos los valores de  $A$  de cada período de retorno especificado ( $T$ ), se procedió a resolver (16), correlacionando la variable independiente  $X = \ln(A)$  con la variable dependiente  $Y = \ln(T)$ , aplicando nuevamente el método de mínimos cuadrados, para la estimación de los coeficientes "k" y "b" respectivamente.

Una vez obtenidos los valores de k, y con los valores de la variable independiente  $M$  de cada período de retorno especificado, se procedió a resolver (17), correlacionando la variable  $X = \ln(M)$  con la variable dependiente  $Y = \ln(k)$ , aplicando nuevamente el método de mínimos cuadrados, para la estimación de los coeficientes "a" y "d" respectivamente.

De esta forma quedaron determinados los coeficientes  $a, b, c,$  y  $d$  de (14), la cual permite obtener las

intensidades máximas para duraciones de lluvia menores que 24 horas, para un determinado período de retorno.

**Datos utilizados.** Se utilizaron datos de seis estaciones meteorológicas, que disponían de series de intensidades máximas anuales para diferentes duraciones de lluvia, y las series de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de duración. El Cuadro 1 muestra el nombre de las estaciones, el período de registro de información y el estado de la información según período de registro.

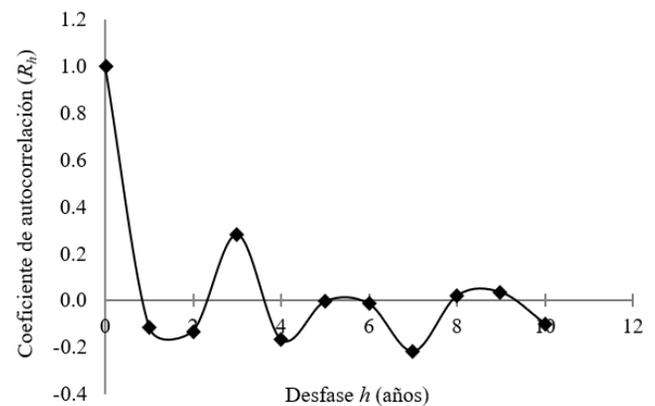
**Cuadro 1.** Estaciones meteorológicas seleccionadas en el estudio

Estación	Período	Período faltante
Managua Aeropuerto	1971-2012	Completo
Masaya Lagunas	1977-2002	Completo
Campos Azules	1971-2001	1988-1992
Rivas	1975-2002	Completo
Juigalpa	1980-2001	1998
Jinotega	1975-2002	1998

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

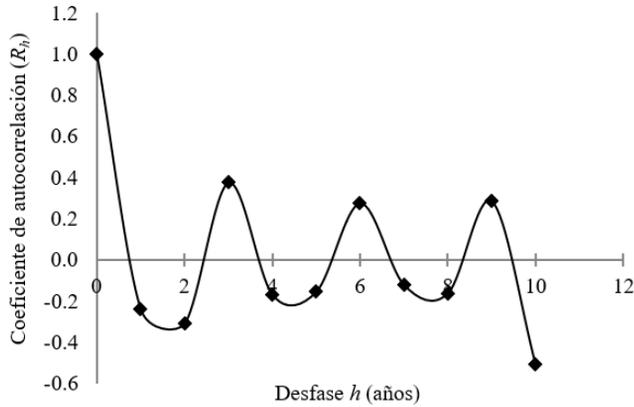
Se realizó la prueba de independencia de las series de precipitación máxima de 24 horas en las estaciones mediante el coeficiente de autocorrelación según la ecuación (1). Esto permitió obtener los correlogramas que se muestran de la Figuras 2 a la Figura 7.

En todas las series el correlograma muestra bajos valores del coeficiente de auto correlación  $R_h$ , indicando que los datos de las series no dependen de los datos de los años previos, esto es, la variable precipitación máxima de 24 horas es independiente o aleatoria, por lo que se pueden utilizar en el análisis de frecuencia con la función de distribución de valores extremos (EVI) de Gumbell. Esto se hace extensivo a las series de intensidades máximas con diferentes duraciones.

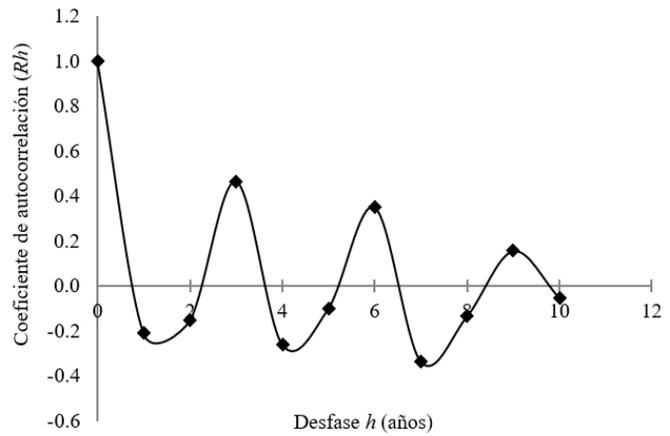


**Figura 2.** Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Managua Aeropuerto.

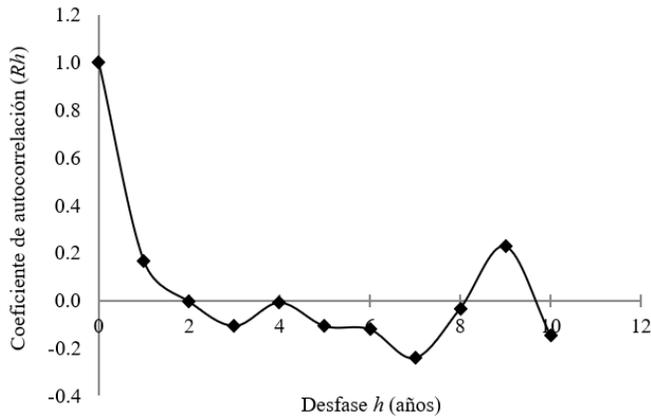
**RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE**



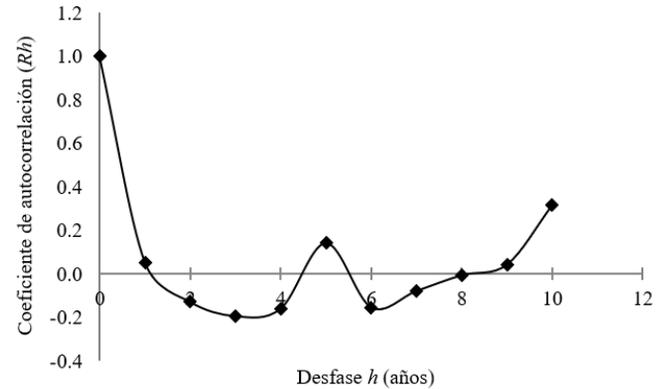
**Figura 3.** Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Masaya Lagunas.



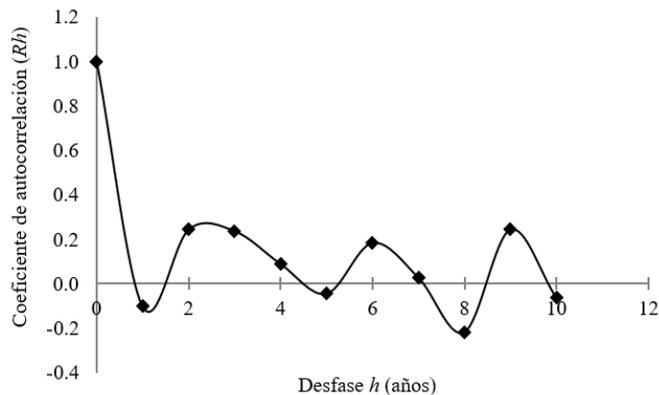
**Figura 6.** Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Juigalpa.



**Figura 4.** Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Campos Azules.



**Figura 7.** Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Jinotega.



**Figura 5.** Correlograma de precipitación máxima de 24 h en la estación Rivas.

Para la obtención de las curvas IDF utilizando la función Gumbell (EVI), mediante el análisis de frecuencia se determinaron los parámetros de la ecuación (4), para las series de intensidades máximas y duraciones de lluvias de 5, 10, 15, 30, 60, 120 y 1 440 minutos. En el Cuadro 2 se indican los valores de dichos parámetros.

Posteriormente se realizó la prueba de bondad del ajuste Smirnov-Kolmogorov a la función Gumbell ajustada a los datos de intensidades máximas anuales de cada estación. En el Cuadro 3 se muestran los valores de desviaciones máximas obtenidas para las intensidades y diferentes duraciones de lluvia ( $\Delta P$ ) y la desviación máxima permitida ( $\Delta$  máximo) de la prueba Smirnov-Kolmogorov.

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 2. Parámetros de la función Gumbell para las series de precipitación máxima de 24 horas

Estación	Parámetro	Duración en minutos						
		5	10	15	30	60	120	1440
Managua	$\alpha$	30.311	19.406	17.871	15.616	14.457	11.371	1.397
Aeropuerto	$\mu$	140.398	117.716	97.489	67.827	43.022	23.423	3.160
Masaya	$\alpha$	26.902	18.241	15.957	14.679	11.392	7.316	0.832
Lagunas	$\mu$	130.453	106.179	89.928	66.962	44.013	25.512	2.298
Campos	$\alpha$	115.350	10.350	11.744	10.058	10.506	5.803	0.992
Azules	$\mu$	120.221	99.426	82.306	59.868	39.368	24.344	3.590
	$\alpha$	29.577	16.778	16.527	12.300	13.057	8.441	1.174
Rivas	$\mu$	123.271	99.166	86.261	63.283	43.171	24.221	3.802
	$\alpha$	33.692	18.242	15.930	14.205	8.877	7.387	1.040
Juigalpa	$\mu$	137.031	109.080	90.179	59.170	40.512	22.919	3.061
	$\alpha$	29.867	23.100	20.303	13.072	8.203	6.308	0.864
Jinotega	$\mu$	103.072	80.378	66.666	47.847	31.780	15.589	2.295

Cuadro 3. Desviaciones máximas  $\Delta P$  para la función Gumbell ajustada a las intensidades

Estación	Parámetro	Duración en minutos						
		5	10	15	30	60	120	1440
Managua	$\Delta P$ máx	0.149	0.137	0.099	0.070	0.083	0.079	0.073
Aeropuerto	$\Delta$ máx	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210
Masaya	$\Delta P$ máx	0.142	0.121	0.111	0.075	0.123	0.128	0.071
Lagunas	$\Delta$ máx	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267
Campos	$\Delta P$ máx	0.176	0.188	0.105	0.157	0.104	0.098	0.177
Azules	$\Delta$ máx	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267	0.267
Rivas	$\Delta P$ máx	0.199	0.098	0.084	0.078	0.113	0.111	0.117
	$\Delta$ máx	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257	0.257
Juigalpa	$\Delta P$ máx	0.179	0.173	0.240	0.155	0.110	0.094	0.102
	$\Delta$ máx	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284	0.284
Jinotega	$\Delta P$ máx	0.157	0.118	0.123	0.104	0.060	0.082	0.058
	$\Delta$ máx	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262	0.262

$\Delta P$  máx es la desviación máxima que se presenta entre la probabilidad empírica de las intensidades observadas y la probabilidad teórica calculada con la función Gumbell para dichos datos, y  $\Delta$  máx es la máxima desviación de probabilidad permitida en la prueba Smirnov-Kiomogorov para que se acepte el ajuste de la función Gumbell a los datos de intensidades analizadas.

Se observa que las desviaciones máximas de la función Gumbell  $\Delta P$  son menores que las desviaciones máximas de la prueba Smirnov-Kiomogorov  $\Delta$  máximo, por lo que se acepta el ajuste de (4) a los datos de intensidades máximas de diferentes duraciones en las seis estaciones del estudio.

Una vez verificada la bondad del ajuste, se procedió a obtener las intensidades máximas anuales con (4) ajustada, para cada estación seleccionada y para diferentes períodos de retorno, las que se muestran desde el Cuadro 4 al Cuadro 9.

Cuadro 4. Intensidades máximas anuales ( $mmh^{-1}$ ) para la estación Managua Aeropuerto (69027)

T	Duración en minutos						
	5	10	15	30	60	120	1440
5	185.86	146.82	124.30	91.25	64.71	40.48	5.26
10	208.61	161.39	137.71	102.97	75.56	49.01	6.30
15	221.44	169.60	145.27	109.58	81.68	53.82	6.90
20	230.43	175.35	150.57	114.21	85.96	57.20	7.31
50	258.67	193.44	167.22	128.76	99.43	67.79	8.61
75	271.06	201.37	174.53	135.14	105.34	72.44	9.18
100	279.83	206.99	179.70	139.66	109.53	75.73	9.59

Cuadro 5. Intensidades máximas anuales ( $mmh^{-1}$ ) para la estación Masaya Lagunas (69115)

T	Duración en minutos						
	5	10	15	30	60	120	1440
5	170.80	133.54	113.86	88.98	61.10	36.49	3.55
10	190.99	147.23	125.84	99.99	69.65	41.98	4.17
15	202.38	154.95	132.59	106.21	74.47	45.07	4.52
20	210.36	160.36	137.32	110.56	77.85	47.24	4.77
50	235.42	177.36	152.19	124.24	88.46	54.06	5.54
75	246.42	184.81	158.72	130.24	93.12	57.05	5.88
100	254.21	190.09	163.33	134.49	96.42	59.17	6.13

Cuadro 6. Intensidades máximas anuales ( $mmh^{-1}$ ) para la estación Campos Azules (69129)

T	Duración en minutos						
	5	10	15	30	60	120	1440
5	143.25	114.95	99.92	74.95	55.13	33.05	5.08
10	154.76	122.72	108.73	82.50	63.01	37.40	5.82
15	161.26	127.10	113.71	86.76	67.46	39.86	6.24
20	165.81	130.17	117.19	89.74	70.57	41.58	6.54
50	180.12	139.81	128.13	99.11	80.36	46.99	7.46
75	186.39	144.04	132.93	103.22	84.66	49.36	7.87
100	190.83	147.04	136.33	106.13	87.70	51.04	8.15

Cuadro 7. Intensidades máximas anuales ( $mmh^{-1}$ ) para la estación Rivas (69070)

T	Duración en minutos						
	5	10	15	30	60	120	1440
5	167.63	124.33	111.05	81.73	62.76	36.88	5.56
10	189.83	136.92	123.45	90.96	72.55	43.22	6.44
15	202.35	144.03	130.45	96.17	78.08	46.79	6.94
20	211.12	149.00	135.35	99.82	81.95	49.29	7.29
50	238.68	164.63	150.75	111.28	94.12	57.16	8.38
75	250.77	171.49	157.50	116.31	99.46	60.61	8.86
100	259.33	176.35	162.29	119.86	103.23	63.05	9.20

Cuadro 8. Intensidades máximas anuales ( $mmh^{-1}$ ) para la estación Juigalpa (69037)

T	Duración en minutos						
	5	10	15	30	60	120	1440
5	187.57	136.44	114.07	80.48	53.83	34.00	4.62
10	212.85	150.13	126.03	91.14	60.49	39.54	5.40
15	227.12	157.85	132.77	97.15	64.25	42.67	5.84
20	237.10	163.26	137.49	101.36	66.88	44.86	6.15
50	268.50	180.26	152.34	114.60	75.15	51.74	7.12
75	282.27	187.72	158.85	120.41	78.78	54.76	7.54
100	292.02	192.99	163.46	124.52	81.35	56.90	7.84

Cuadro 9. Intensidades máximas anuales ( $mmh^{-1}$ ) para la estación Jinotega (55020)

T	Duración en minutos						
	5	10	15	30	60	120	1440
5	147.87	115.03	97.12	67.46	44.08	25.05	3.59
10	170.28	132.36	112.36	77.27	50.24	29.78	4.24
15	182.93	142.14	120.95	82.80	53.71	32.45	4.61
20	191.78	148.99	126.97	86.67	56.14	34.32	4.86
50	219.61	170.51	145.89	98.86	63.79	40.20	5.67
75	231.82	179.96	154.19	104.20	67.14	42.78	6.02
100	240.46	186.64	160.06	107.98	69.51	44.61	6.27

Con los datos de intensidades anteriores y las precipitaciones máximas promedios anuales en 24 h (M) se obtuvieron los parámetros a, b, c, y d de (14), auxiliándonos de (15), (16) y (17). Los Cuadros 10 y 11 muestran los parámetros obtenidos para cada estación en estudio.

Cuadro 10. Parámetros de calibración de la ecuación de correlación (14).

Estación	a	b	d
Managua Aeropuerto	297.97	0.067	0.127
Masaya Lagunas	264.54	0.099	0.158
Campos Azules	202.55	0.047	0.206
Rivas	217.02	0.095	0.185
Juigalpa	309.82	0.107	0.138
Jinotega	255.19	0.145	0.159

RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

Cuadro 11. Parámetro c de calibración de la ecuación de correlación (14)

T	Managua Aeropuerto	Masaya Lagunas	Campos Azules	Rivas	Juigalpa	Jinotega
5	0.475	0.470	0.450	0.455	0.533	0.555
10	0.448	0.459	0.429	0.440	0.524	0.549
15	0.436	0.454	0.419	0.433	0.519	0.547
20	0.428	0.450	0.413	0.429	0.516	0.545
50	0.408	0.441	0.395	0.417	0.508	0.541
75	0.401	0.438	0.389	0.413	0.505	0.540
100	0.396	0.436	0.384	0.410	0.504	0.539

En la correlación de las intensidades y las duraciones, de (15), se obtuvieron coeficientes de determinación R<sup>2</sup> que variaron de 0.95 a 0.99, en la correlación del parámetro A y los períodos de retorno, de (16), se obtuvieron coeficientes de determinación R<sup>2</sup> de 0.99, y en la correlación del parámetro k y las precipitaciones máximas de 24 horas, de (17), se obtuvieron coeficientes de determinación R<sup>2</sup> de 0.97, como se puede ver en el Cuadro 12. Estos valores de R<sup>2</sup> se consideran altos, y nos indican que se ha obtenido una buena correlación de las intensidades y las precipitaciones máximas de 24 horas.

Cuadro 12. Coeficientes de determinación R<sup>2</sup> para (15), (16) y (17)

Ecuación	Estaciones					
	Managua Aeropuerto	Masaya Lagunas	Campos Azules	Rivas	Juigalpa	Jinotega
(15)	0.98 - 0.99	0.976-0.977	0.955-0.975	0.97-0.98	0.99	0.97-0.98
(16)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
(17)	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Vargas y Díaz (1998) en Colombia, quienes obtuvieron valores de R<sup>2</sup> superior a 0.90, con excepción de la región del Caribe Colombiano donde en promedio fue de 0.73. De igual forma Mejía Arrieta (2017), en la región del Atlántico de Colombia, en un estudio para determinar curvas IDF a partir de precipitación máxima de 24 horas, obtuvo valores de R<sup>2</sup> entre 0.95 y 0.99. En el sur de Turquía, Sen (2019) desarrolló ecuaciones para obtener curvas IDF a partir de precipitación máxima de 24 horas, con errores relativos menores del 10%.

Se resalta que los parámetros a, b y d no varían con el período de retorno (Cuadro 10). El parámetro a de las cuatro estaciones de la Zona del Pacífico varía de 200 a 298, con el mayor valor en la estación Managua Aeropuerto, en cambio para las dos estaciones de la Zona Central varía de 255 a 309. El parámetro b de las cuatro estaciones de la Zona del Pacífico varía de 0.047 a 0.099, con el mayor valor en la estación Masaya, en cambio para las dos estaciones de la Zona Central varía de 0.107 a 0.145. El parámetro d no tiene una tendencia específica para la Zona del Pacífico como en la Central, sus valores son similares, variando de 0.127 a 0.206, en cambio los parámetros a y b han mostrado que en la Zona

Central se presentan sus mayores valores.

Los valores del parámetro c mostrados en el Cuadro 11, en general disminuyen al aumentar el período de retorno T, en la Zona del Pacífico se presentan sus valores más bajos, entre 0.384 y 0.475, en cambio en la Zona Central se presentan los

valores más altos del parámetro c, que varían entre 0.504 y 0.555. Se ha evidenciado que hay una regionalización para los parámetros a, b y c de (14), la cual podría representar regímenes de precipitaciones diferentes de cada zona.

Finalmente se revisó la correlación de los datos de intensidades obtenidos con (12), la función Gumbell (Cuadros 4 al 9), con las intensidades obtenidas con (14) calibrada, obteniendo coeficientes R<sup>2</sup> mínimos que varían entre 0.974 y 0.994 (Cuadro 13), los valores más altos corresponden a la estaciones Managua Aeropuerto cuyo R<sup>2</sup> = 0.988 (se analizó un registro de 42 años) y Juigalpa cuyo R<sup>2</sup> = 0.994 (se analizó un registro de 21 años), en cambio los valores más bajos corresponden a Jinotega cuyo R<sup>2</sup> = 0.974 (se analizó un registro de 27 años) y Campos Azules cuyo R<sup>2</sup> = 0.974 (se analizó un registro de 26 años). Estos resultados confirman que el ajuste obtenido para (14) representa adecuadamente las intensidades máximas anuales derivadas con la función Gumbell.

Cuadro 13. Coeficientes de determinación R<sup>2</sup> para las intensidades obtenidos de (12) y (14)

Estación	Managua Aeropuerto	Masaya Lagunas	Campos Azules	Rivas	Juigalpa	Jinotega
R <sup>2</sup>	0.988	0.984	0.974	0.982	0.994	0.974

CONCLUSIONES

Es posible calibrar una ecuación que relacione las series de intensidades máximas anuales de una estación pluviográfica con la serie de precipitación máxima de 24 horas, obteniendo coeficientes de determinación altos, R<sup>2</sup>>0.97.

Los parámetros de la ecuación potencial de correlación de intensidades máximas anuales y precipitaciones máximas diarias a, b, y c, presentaron rangos de valores típicos para la Zona del Pacífico y Central del país, en cambio el parámetro d no presentó diferencias entre las dos regiones del país.

La ecuación ajustada con datos de intensidades de las seis estaciones con pluviógrafos permite obtener las curvas IDF para duraciones menores que 24 h, en las estaciones vecinas que sólo disponen de datos diarios de precipitación y que tienen régimen pluviométrico similar a las estaciones pluviográficas en estudio.

## RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basumatary, V., & Sundar Sil, B. (2017). Generation of rainfall Intensity-Duration-Frequency curves for the Barak River basin. *Meteorology, Hydrology and Water Management*, 6, 1-11. <http://www.mhwm.pl/pdf-79175-15962?filename=Generation%20of%20Rainfall.pdf>
- Campos, D. (1978). *Cálculo de las curvas IDF a partir de registros de lluvia máxima en 24 horas y relaciones duración lluvia Promedio*. Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural.
- Chow, V. T. (1953). *Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities, bulletin 414*. University of Illinois.
- Chow, V. T., Maidment, D. y Mays, L. (1988). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.
- Hassan El-Sayed, E. A. (2017). Development of synthetic rainfall distribution curves for Sinai area. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1949-1957. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.01.010>
- Mejía Arrieta, B. S. (2017). *Estimación de curva IDF a partir de lluvias máximas en 24 horas en el departamento del Atlántico* [Tesis de grado, Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11323/238>
- Muñoz B., J.E. y Zamudio, H. E. (2018). Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolinéas en el departamento de Boyacá. *Tecnura*, 22(58), 53-64. <https://doi.org/10.14483/22487638.14295>
- Sen, Z. (2019). Annual daily maximum rainfall-based IDF curve derivation methodology. *Earth Systems and Environment*, 3, 463–469. <https://doi.org/10.1007/s41748-019-00124-x>
- Torne Angulo, L. M. (2023). *Construcción de las curvas de intensidad, duración y frecuencia en el Municipio de Arjona, Bolívar (1999-2020)* [Tesis de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Digital. [https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/16244/documento-final\\_corregido\\_20\\_f-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/16244/documento-final_corregido_20_f-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vargas, M. R. y Díaz Granados, D. M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia*. Universidad de los Andes.
- Villón Béjar, M. (2006). *Hidrología estadística*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Wilches, F. J., Hernández Ávila, R., & Caballero Guerrero, A. R. (2020). IDF curves and maximum rainfall in 24 hours in the subregions of La Mojana and San Jorge in the northern Colombia. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(10), 2884-2894. <https://doi.org/10.37624/IJERT/13.10.2020.2884-2894>