

## **CURVAS SINTÉTICAS REGIONALIZADAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA COLOMBIA**

Por: Rodrigo Vargas M.  
Ing. Civil  
Programa Magíster en Ing. Civil  
Universidad de los Andes  
Santa Fe de Bogotá D.C.  
Colombia

Mario Diaz-Granados O.  
Profesor Asociado  
Depto. Ing. Civil y Ambiental  
Universidad de los Andes  
Santa Fe de Bogotá D.C.  
Colombia

### **RESUMEN**

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos lluvia-escurrentía en cuencas pequeñas para las cuales no existen registros de caudal. Los métodos tradicionales de cálculo de curvas IDF requieren el uso de información pluviográfica. El empleo de ecuaciones que permitan estimar las curvas IDF a partir de información pluviométrica constituye una alternativa para aquellas zonas que solo disponen de registros de lluvias a nivel diario. A partir de 165 curvas IDF ubicadas en diversas zonas de Colombia y los resúmenes multianuales pluviométricos de las mismas, se evaluaron las principales ecuaciones propuestas en la literatura y se establecieron nuevas ecuaciones para 4 grandes regiones de Colombia.

### **ABSTRACT**

Intensity-Duration-Frequency curves (IDF) allow estimation of superficial drainage volumes through the use of rainfall-runoff models for small basins without streamflow data. Traditional methods for deriving IDF curves require the use of pluviographic data. Estimation of synthetic IDF curves from pluviometric information is an alternative for those zones that have only daily rainfall data. Using 165 IDF curves from different zones in Colombia, and with their annual pluviometric summaries, equations of this type derived somewhere else were evaluated, and a group of new ones is proposed for four regions of the country.

## INTRODUCCIÓN

En el diseño de obras de drenaje y de estructuras hidráulicas es indispensable conocer el comportamiento hidrológico del área. En las zonas en las cuales no se disponen registros de caudales, éstos se deben determinar mediante modelos hidrológicos lluvia-escurrentía. En estos modelos es necesario precisar la profundidad de precipitación máxima que se espera tener con un determinado periodo de recurrencia. Al analizar esta información se puede obtener el volumen máximo de agua que debe ser evacuado en un cierto lapso de tiempo. De ahí se obtiene el caudal de diseño de la obra, el cual establece el tamaño de la misma y afecta directamente los costos de construcción.

En general, las zonas de las cuales no se dispone de información histórica de caudales son cuencas pequeñas o subcuencas en las cuales el tiempo de concentración es relativamente corto. Usualmente las duraciones de estos eventos son menores a 24 horas, siendo las 3 primeras horas las más importantes.

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) sintetizan el comportamiento pluvial de una zona y su determinación es de vital importancia por los motivos antes mencionados. En estas curvas se puede conocer la intensidad máxima de precipitación que se espera tener durante determinada duración de lluvia, en un evento que en promedio ocurriría cada cierto número de años.

## JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Usualmente las curvas IDF se determinan mediante análisis del mayor número posible de registros pluviográficos pertenecientes a la estación de estudio. En las cartas pluviográficas están consignados los perfiles de cada tormenta, es decir la profundidad de precipitación acumulada en función del tiempo. El problema que se presenta es la escasez de estaciones que registran información de este tipo, probablemente a causa de sus altos costos de instalación y mantenimiento. La mayor parte de estaciones existentes en el país son pluviométricas y registran la información de precipitación a nivel diario, por lo cual no se puede realizar el análisis de frecuencia tradicional. La información generada por éstas es discreta y no continua, por lo cual no se conoce la forma en que se distribuye la precipitación a lo largo de cada tormenta, sino únicamente con un nivel de agregación de 24 horas. La estimación de curvas IDF a partir de información pluviométrica se presenta como una alternativa muy importante para resolver este problema. A través de los años se han propuesto diversas ecuaciones empíricas que pretenden describir las curvas IDF de una forma generalizada. Adicionalmente, se han elaborado otras que permiten generar curvas IDF sintéticas a partir de información pluviométrica. Mediante esta investigación se evaluó la aplicabilidad de las principales ecuaciones propuestas en la literatura en el caso particular de Colombia, y se analizaron nuevas ecuaciones empíricas como alternativa a las probadas en otros sitios del planeta. Se realizaron análisis en conjunto y por regiones climatológicas, esto último con el fin de aumentar la confiabilidad de las curvas sintéticas.

## **PROCEDIMIENTO**

### **RECOPILACIÓN DE CURVAS IDF**

La primera gran etapa del análisis la constituyó la recopilación de cerca de 250 curvas IDF para diferentes estaciones del país. Estas curvas fueron tomadas de diversos estudios de ingeniería, anuarios meteorológicos, y artículos publicados. Las principales fuentes de información fueron el FONADE, la EAAB, la C.V.C., las EEPPM, CENICAFE, y algunas de las principales firmas de consultoría del país. Se consideraron aquellas curvas que fueron calculadas por métodos tradicionales de análisis de frecuencia puntuales y de las cuales se pudieran conocer unos mínimos criterios de determinación.

### **SELECCIÓN DE CURVAS IDF REALES**

A partir de las curvas recopiladas, se tomaron en cuenta únicamente aquellas que fueron determinadas con por lo menos diez años de registros pluviográficos, con lo cual se tendría una mejor calidad de información. El número de curvas reales se redujo a cerca de 170.

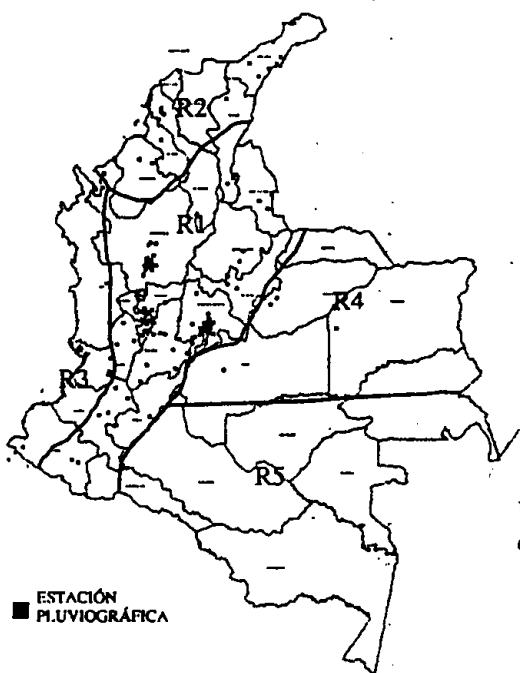
### **RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA**

Se consiguió la información pluviométrica correspondiente a las estaciones para las cuales se habían escogido las curvas reales. De acuerdo con las ecuaciones utilizadas para estimar curvas IDF sintéticas (ver numeral 3.6), la información pluviométrica requerida corresponde a los resúmenes multianuales de precipitación máxima en 24 horas, el número de días con lluvia y la precipitación multianual. Esta información fue solicitada a la entidad operadora de cada estación en medio magnético, aunque en algunos casos fue necesario consultar directamente los anuarios meteorológicos correspondientes al periodo de registro con el cual fueron calculadas las curvas. Para algunas estaciones no se logró conseguir esta información, con lo cual el grupo final de estaciones analizadas fue de 165.

### **REGIONALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES**

Con el propósito de aumentar la confiabilidad de las ecuaciones propuestas, y en razón al número de curvas disponibles durante la segunda etapa de la investigación, se decidió dividir el territorio nacional en 5 grandes zonas. Esto permitió hacer análisis independientes con estaciones que pertenecieran a la misma región geográfica, buscando condiciones meteorológicas regidas por fenómenos similares para cada grupo de estaciones.

La división se hizo con base en la propuesta por Vélez (1983), la cual contempla las siguientes regiones climatológicas: Región Andina (R1), Región del Caribe (R2), Región del Pacífico (R3), Región Orinoquia (R4), y Región Amazonia (R5). En la Figura 1 se muestra la ubicación de las 165 estaciones utilizadas en los análisis.



**Figura 1.**

Ubicación de las estaciones pluviográficas utilizadas en los análisis.

### ECUACIONES QUE DESCRIBEN LAS CURVAS IDF

En 1932, Bernard propuso una ecuación general para las curvas IDF.

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \quad (1)$$

en donde  $I$  es la intensidad media en mm/h,  $T$  es el tiempo de retorno en años,  $t$  es la duración en horas;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes que dependen del sitio.

Powell, por su parte, propuso en el mismo año los valores de  $b$  y  $c$  de la ecuación de Bernard como 0.25 y 0.75 respectivamente.

De esta forma la ecuación de Powell es:

$$I = K \cdot \frac{T^{0.25}}{t^{0.75}} \quad (2)$$

en donde  $K$  es una constante que depende del sitio;  $T$  y  $t$  son los mismos parámetros de la ecuación de Bernard.

Como parte del análisis, se estableció la aplicabilidad de estas dos ecuaciones. En la primera fase del estudio (Vargas, 1997), después de analizar 62 estaciones se concluyó lo siguiente: siendo la ecuación de Powell un caso particular de la ecuación de Bernard, restringe las pendientes de las curvas y la separación entre las mismas (lo cual sucede al asignar valores únicos a los coeficientes  $c$  y  $b$  respectivamente).

En la segunda fase del estudio (Vargas, 1998) se verificó la ecuación de Bernard con las 165 curvas IDF obteniendo los valores para cada parámetro de la ecuación que se presentan en la Tabla 1. El análisis se hizo por regiones y para el conjunto total de curvas.

Tabla 1. Valores de los parámetros de la Ecuación de Bernard

	A		B		c		r <sup>2</sup>
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	
R. Andina (R1)	30.4	9.9	0.19	0.04	0.65	0.09	0.98
R. Caribe (R2)	42.3	9.3	0.21	0.10	0.49	0.12	0.97
R. Pacífico (R3)	36.4	10.6	0.19	0.07	0.56	0.12	0.96
R. Orinoquia (R4)	41.3	10.3	0.20	0.08	0.56	0.08	0.98
TODAS	33.3	10.9	0.19	0.06	0.61	0.12	0.97

La ecuación de Bernard es válida para duraciones de lluvia mayores o iguales a 5 minutos.

### ECUACIONES PARA LA ESTIMACION DE CURVAS IDF

En 1969, Bell propuso un método para poder estimar las curvas IDF, utilizando como base información de Estados Unidos continental, Hawaii, Alaska, Puerto Rico, Australia, Suráfrica y Rusia. Bell propuso una ecuación para estimar las curvas a partir de lluvias agregadas cada 10 minutos ( $P_{2,10}$ ) y otra para información a nivel horario ( $P_{2,60}$ ). Esta última es:

$$P_{T,t} = (0.35 \cdot \ln(T) + 0.76) \cdot (0.54 \cdot t^{0.25} - 0.50) \cdot P_{2,60} \quad (3)$$

válida para T entre 2 y 100 años y t entre 5 y 120 minutos. En esta ecuación  $P_{T,t}$  es la profundidad de precipitación, en pulgadas, correspondiente a un evento de precipitación con una duración de t minutos y un periodo de retorno de T años. Bell propone estimar  $P_{2,60}$  a partir de información a nivel diario con base en relaciones empíricas desarrolladas previamente por Hershfield y Wilson en 1955:

$$P_{2,60} = 0.17 M N^{0.33} \quad \text{si } 0.0 < M < 2.0 \text{ pulg.} \quad \text{y } 1 < N \leq 80$$

$$P_{2,60} = 0.21 M^{0.67} N^{0.33} \quad \text{si } 2.0 < M < 4.5 \text{ pulg.} \quad \text{y } 1 < N \leq 80$$

en donde M es el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria y N es el número promedio anual de días con tormenta (thunderstorm days).

Sin embargo, los resultados obtenidos mediante la utilización de la ecuación que emplea  $P_{2,60}$  en vez de  $P_{2,10}$  son descritos por el propio Bell como "desafortunadamente menos satisfactorios". Es por esto que se recomienda su uso sólo en caso de ser necesario.

En la primera etapa de este estudio se analizó la aplicabilidad de la ecuación de Bell para Colombia. Para las 62 estaciones inicialmente analizadas, en el 50% de los casos el valor estimado de intensidad tuvo un error relativo menor a  $\pm 40\%$  y sólo en el 32% de los casos fue menor a  $\pm 20\%$ . Se concluyó que la ecuación de Bell no es confiable para su aplicación en el país, probablemente por la diferencia de condiciones hidroclimatológicas que existen con las regiones en las cuales fue derivada. Esta ecuación resulta aplicable exclusivamente en zonas que presenten precipitaciones máximas diarias que sean menores a 2 pulgadas. En Colombia una gran parte de regiones no se ajustan a esa condición.

En 1983 Chen propuso una fórmula generalizada para las curvas IDF en los Estados Unidos:

$$I_t^T = \frac{a \cdot I_1^{10} \log(10^{2-x} T^{x-1})}{(t+b)^c} \quad (4)$$

en donde  $I_t^T$  es la intensidad en pulg/h,  $T$  es el tiempo de retorno en años,  $t$  es la duración en horas,  $x$  es la relación  $R_1^{100} / R_1^{10}$ ;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son parámetros que dependen de la relación  $R_1^{10} / R_{24}^{10}$ .  $R_1^T$  está definida como la profundidad de precipitación correspondiente a una duración  $t$  y un tiempo de retorno  $T$ .

En 1992, Kothiyari y Garde realizaron un estudio de curvas IDF para la India con 80 curvas IDF reales, en el cual verificaron diferentes ecuaciones propuestas en la literatura y propusieron una nueva ecuación. Partieron de los resultados obtenidos por Raudkivi (1979), quien encontró que las propiedades de las celdas convectivas asociadas con lluvias de corta duración (menor a 24 horas) son similares en regiones hidrológicamente diferentes. Además, a partir de una comparación entre las ecuaciones que representan curvas IDF para duraciones cortas propuestas por Chow (1964), Raudkivi (1979), Gert et al. (1987), Chen (1983), y Hargreaves (1988), encontraron que los exponentes de los parámetros  $t$  y  $T$  de la Ecuación 1 varían entre 0.18 y 0.26 para  $t$  y entre 0.7 y 0.85 para  $T$ . Los resultados obtenidos con la ecuación de Chen (1983) no resultaron satisfactorios por lo cual los investigadores decidieron calibrar diferentes ecuaciones semejantes a la de Bernard (1932). Después de un detallado estudio encontraron que aquella que permite estimar las curvas IDF de la manera más aproximada es la siguiente:

$$I = C \frac{T^{0.20}}{t^{0.71}} (R_{24}^2)^{0.33} \quad (5)$$

en donde  $I$  es la intensidad media en mm/h,  $T$  es el tiempo de retorno en años,  $t$  es la duración en horas,  $R_{24}^2$  es la profundidad de precipitación en mm correspondiente a un periodo de retorno de 2 años y una duración de 24 horas, y  $C$  es una constante que depende de las estaciones analizadas. En el caso de la India  $C=8.31$ , con errores menores a  $\pm 30\%$  en el 95% de los casos.

Para una misma estación el valor de  $C$  es diferente para  $t \leq 10$  min. Esto indica que la inclusión del término  $R_{24}^2$  no refleja todos los factores que afectan un punto de la curva.

## ECUACIONES PROPUESTAS PARA COLOMBIA

En la primera etapa de la investigación se consideró apropiado utilizar la ecuación de Kothiyari y Garde pero en una forma más generalizada:

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot (R_{24}^2)^d \quad (6)$$

De este modo se calculó el valor  $R_{24}^2$  para cada una de las 53 estaciones de las cuales se tenían registros multianuales de precipitación máxima diaria. Se calibró la ecuación con 36

de las estaciones y luego se verificó con las restantes 17. Los resultados de la regresión indicaron que la ecuación de mejor ajuste, con un coeficiente de determinación  $r^2=0.91$ , es:

$$I = 0.65 \cdot \frac{T^{0.22}}{t^{0.62}} \cdot (R_{24}^2)^{0.92} \quad (7)$$

En la segunda etapa de la investigación la Ecuación 6 fue modificada para facilitar el procesamiento de la información. Se reemplazó el término  $R_{24}^2$  por el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria  $M$ , de tal manera que quedó:

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \quad (8)$$

Por otro lado, durante la primera etapa se consideró que, dado que la ecuación de Kothyari y Garde no tiene en cuenta el número de días tormentosos al año (el cual si se tiene en cuenta la ecuación de Bell), resultaba conveniente ajustar una ecuación que tuviera un parámetro adicional que contribuyera a describir el régimen de lluvias de un sitio. Se tomó el número de días con lluvia al año. De esta manera, la ecuación correspondiente es:

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \quad (9)$$

En donde  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  y  $e$  son coeficientes posteriormente determinados mediante análisis de regresión para las mismas estaciones con las que se realizó el análisis de la Ecuación 6.

$N$  es el promedio del número de días con lluvia al año.

El coeficiente de determinación fue  $r^2=0.91$  y la ecuación quedó:

$$I = 1.83 \cdot \frac{T^{0.22}}{t^{0.62}} \cdot M^{0.87} \cdot N^{-0.17} \quad (10)$$

Los resultados obtenidos con las Ecuaciones 7 y 10 fueron prácticamente idénticos: en promedio, en el 87% de los casos la intensidad estimada resultó tener un error menor a  $\pm 40\%$  y en el 56% de los casos se obtuvo un error menor a  $\pm 20\%$ .

Uno de los objetivos de la segunda etapa era la incorporación de un mayor número de estaciones en todo el país. De esta forma se podrían calibrar de nuevo las Ecuaciones 8 y 9, y eventualmente regionalizarlas.

A partir de las 165 curvas se calibraron y verificaron las Ecuaciones 8 y 9, y dos nuevas ecuaciones que involucran dos parámetros adicionales. Estas ecuaciones son:

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \cdot PT' \quad (11)$$

$$I = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \cdot PT' \cdot ELEV^g \quad (12)$$

donde los parámetros adicionales son la precipitación media anual  $PT'$  en mm y la elevación sobre el nivel del mar  $ELEV'$  en msnm.

El ajuste de las ecuaciones 8, 9, 11 y 12 con base en las 165 estaciones produjo los valores de los parámetros que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados para el conjunto total de 165 estaciones

	a	b	C	D	E	f	g	r <sup>2</sup>
ec.8	2.16	0.19	0.62	0.63				0.88
ec.9	2.83	0.19	0.62	0.62	-0.04			0.88
ec.11	3.87	0.19	0.62	0.35	-0.33	0.32		0.89
ec.12	3.69	0.19	0.62	0.32	-0.23	0.30	-0.03	0.89

El mismo análisis efectuado por regiones arrojó los valores consignados en las Tablas 3 a 6.

Tabla 3. Resultados para la Región Andina (R1). 116 estaciones

	a	b	C	D	E	f	g	r <sup>2</sup>
ec.8	0.94	0.18	0.66	0.83				0.93
ec.9	1.22	0.19	0.66	0.83	-0.05			0.93
ec.11	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08		0.93
ec.12	1.64	0.19	0.65	0.73	-0.13	0.08	-0.01	0.93

Tabla 4. Resultados para la Región del Caribe (R2). 28 estaciones

	a	b	C	D	e	f	g	r <sup>2</sup>
ec.8	24.85	0.22	0.50	0.10				0.72
ec.9	16.66	0.21	0.50	0.03	0.15			0.72
ec.11	8.51	0.21	0.50	-0.01	-0.08	0.28		0.74
ec.12	8.39	0.21	0.49	-0.01	-0.04	0.26	-0.01	0.74

Tabla 5. Resultados para la Región del Pacífico (R3). 17 estaciones

	a	b	C	D	e	f	g	r <sup>2</sup>
ec.8	13.92	0.19	0.58	0.20				0.88
ec.9	3.02	0.19	0.58	0.04	0.44			0.90
ec.11	2.31	0.19	0.58	-0.20	0.12	0.40		0.91
ec.12	2.75	0.19	0.58	-0.19	0.14	0.37	-0.01	0.91

Tabla 6. Resultados para la Región Orinoquia (R4). 4 estaciones

	a	b	C	D	e	f	g	r <sup>2</sup>
ec.8	5.53	0.17	0.63	0.42				0.91
ec.9	75.03	0.17	0.63	0.12	-0.23			0.91
ec.11	1.3E-26	0.19	0.58	1.19	-1.46	8.28		0.97
ec.12	1.4E-28	0.19	0.58	5.63	-1.52	6.64	-0.62	0.97

En las Figuras 2 a 6 se grafican las intensidades estimadas con cada una de las cuatro ecuaciones contra las intensidades observadas (extraídas de las 165 curvas IDF recopiladas), para el conjunto total de estaciones y para cada región, donde adicionalmente se indican las bandas de +/-20% y de +/-40% de error relativo.

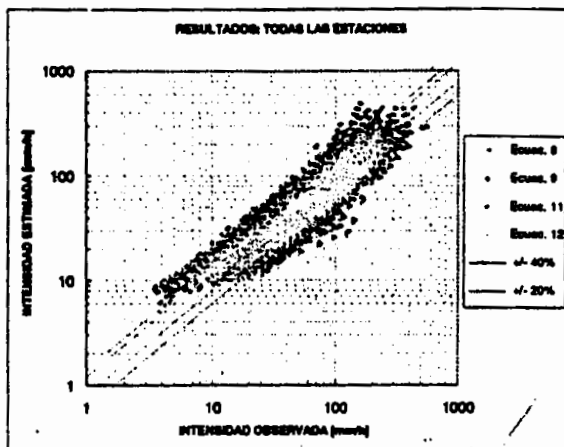


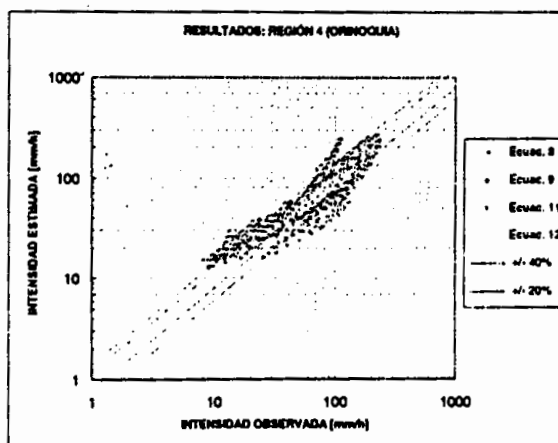
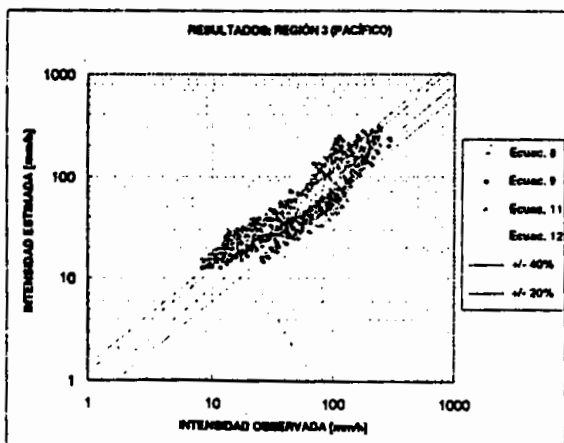
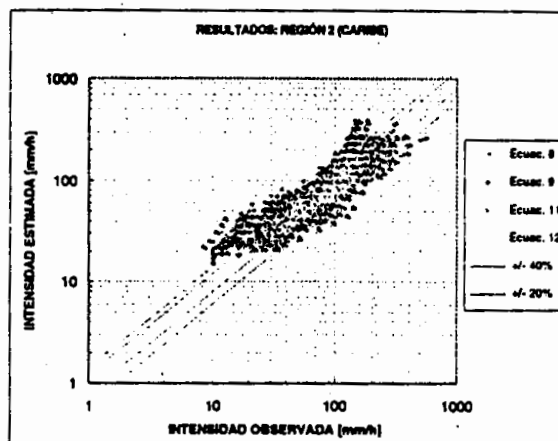
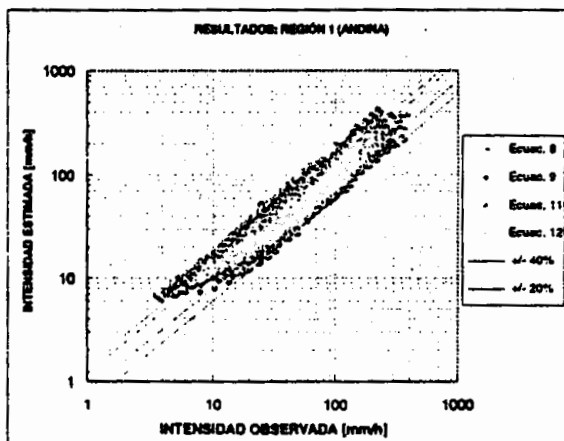
Figura 2.

Figura 3.

Figura 4.

Figura 5.

Figura 6.



Los porcentajes de datos estimados comprendidos en las bandas de  $\pm 20\%$  y  $\pm 40\%$  de error relativo se muestran en la siguiente Tabla 7:

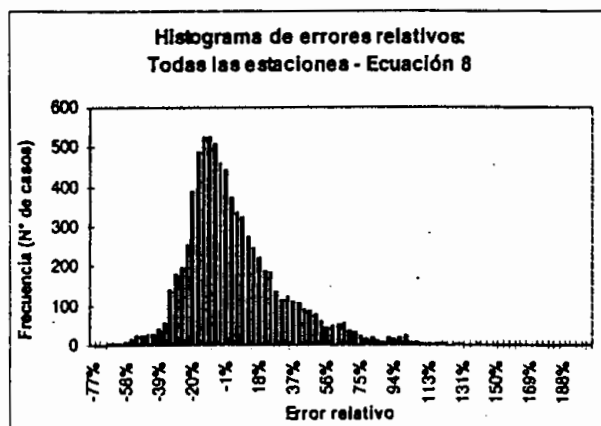
Tabla 7. Porcentajes de datos estimados en bandas de error relativo

	Región 1		Región 2		Región 3		Región 4		TODAS	
	±20%	±40%	±20%	±40%	±20%	±40%	±20%	±40%	±20%	±40%
ec.8	68	92	46	82	61	88	45	92	61	88
ec.9	68	92	48	83	65	91	47	91	61	88
ec.11	69	92	46	80	61	85	46	83	46	86
ec.12	69	92	46	81	61	86	47	90	47	87

nota: los valores de la tabla están en %

Como se puede observar los resultados obtenidos con cada una de las cuatro ecuaciones son bastante similares. Sin embargo, se concluye que la elevación sobre el nivel del mar no constituye un parámetro significativo. Los otros tres parámetros considerados sí permiten describir de manera aproximada, y en muchos casos suficiente, las curvas IDF. Esto parece lógico ya que M, N y PT son tal vez los valores que sintetizan de la mejor forma las características pluviométricas de una estación.

En las Figuras 7 a 11 se muestran las distribuciones de errores relativos para el conjunto total de estaciones, como resultado de aplicar la Ecuación 8.



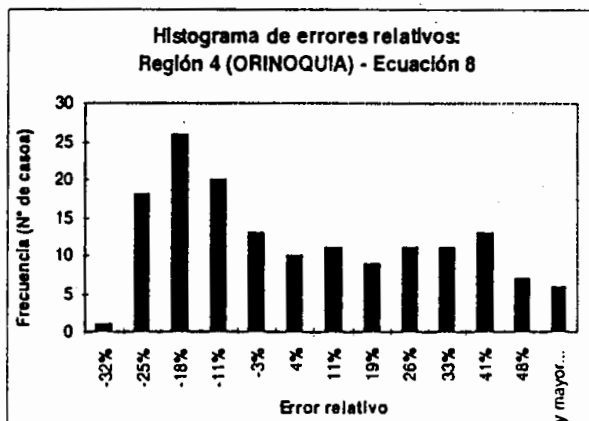
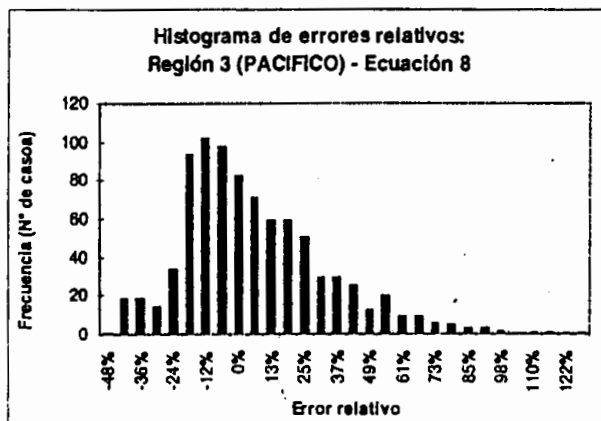
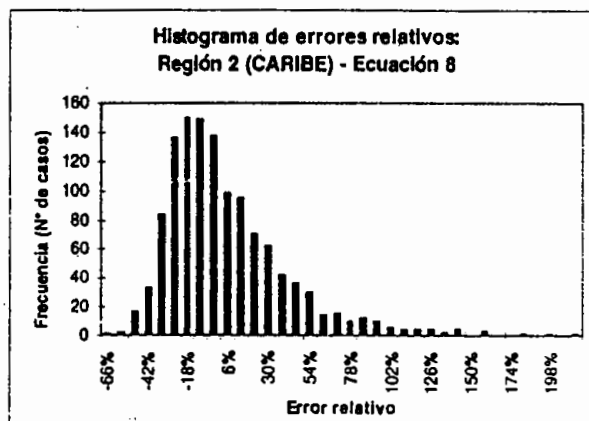
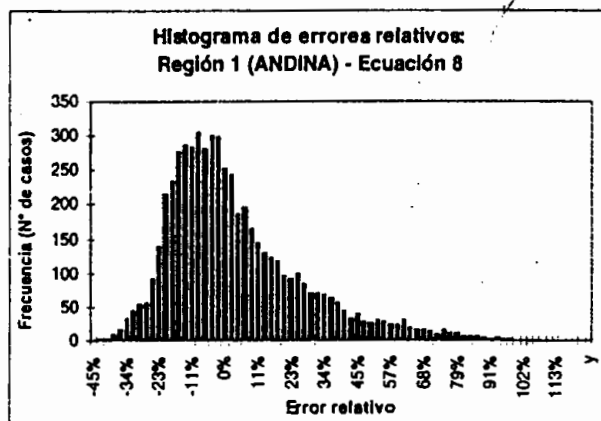
**Figura 7.**

**Figura 8.**

**Figura 9.**

**Figura 10.**

**Figura 11.**



Se omiten los histogramas correspondientes a las otras 3 ecuaciones ya que los resultados son muy parecidos.

Los promedios y desviaciones estándar de los errores relativos (en %) correspondientes a cada una de las 4 ecuaciones se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Promedios y desviaciones estándar de los errores relativos

	R. Andina (R1)		R. Caribe (R2)		R. Pacífico (R3)		R. Orinoquia (R4)		TODAS	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
ec.8	2	23	1	36	3	27	3	25	2	29
ec.9	2	23	1	36	3	25	3	25	2	29
ec.11	3	24	0	37	4	28	-18	23	-6	31
ec.12	3	24	0	37	4	28	-15	21	-6	30

nota: los valores de la tabla están en %

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La utilización de cualquiera de las tres primeras ecuaciones propuestas para Colombia (Ecuaciones 8, 9 y 11) resulta conveniente en la estimación de curvas IDF a partir de resúmenes multianuales de lluvias diarias.
- La ecuación 12 se descarta ya que, a pesar de arrojar resultados similares, la elevación sobre el nivel del mar no constituye un parámetro significativo.
- El nivel de confiabilidad de las curvas sintéticas está directamente relacionado con la cantidad de información disponible para calibrar las ecuaciones correspondientes a cada región climatológica. El error esperado al estimar una intensidad de lluvia en la Región Orinoquia (R4) es mayor que en las Regiones 1, 2 y 3. Esto no es sorprendente si se tiene en cuenta que para esta zona del país sólo se recopilaban 4 curvas IDF reales.
- En la región Andina (R1) se obtuvieron los mayores niveles de confiabilidad. La gran mayoría de intensidades estimadas se concentran alrededor de las intensidades observadas, con una baja dispersión de datos.
- En las regiones Caribe y Pacífico (R2 y R3 respectivamente) se obtuvieron resultados bastante aceptables, a pesar de que la dispersión es mayor que en la región Andina (R1). El menor número de curvas analizadas parece ser la razón.
- Es necesario disponer de un mayor número de curvas reales para aquellas zonas del país como la Orinoquia y la Amazonia. En esta última no se consiguió ninguna curva real, por lo cual no se pudo obtener ninguna ecuación regionalizada.

El procedimiento a seguir para la obtención de curvas sintéticas Intensidad-Duración-Frecuencia en un determinado sitio del país es el siguiente:

- Determinar la región climatológica a la cual pertenece la zona de estudio, de acuerdo a su ubicación (ver Figura 1).
- Establecer los siguientes parámetros pluviométricos:
  - promedio del valor máximo anual de precipitación diaria M
  - número de días con lluvia al año N
  - precipitación media anual PT
- Elegir una de las Ecuaciones 8, 9 y 11 de acuerdo la siguiente relación:

Parámetros disponibles	Ecuaciones utilizables
M	8
M, N	8, 9
M, N, PT	8, 9, 11

- Escoger los exponentes correspondientes a la ecuación que se vaya a utilizar (ver Tablas 3 a 6). En caso de que la zona de estudio esté ubicada en la Región 5 (Amazonia) deberán utilizarse los coeficientes consignados en la Tabla 2.
- Aplicar la ecuación resultante para periodos de retorno entre 2 y 100 años y para duraciones de lluvia entre 5 y 360 minutos.

## BIBLIOGRAFIA

- Bell F. C., Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships, Journal of Hydraulics Division, Vol. 95, N° HY1, Enero 1969.
- Bernard M. M., Formulas for Rainfall Intensities of Long Durations, Trans. ASCE, Vol. 96, 1932.
- Chen C., Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, N° 12, Diciembre 1983.
- Chow V. T., Handbook of applied Hydrology, MacGraw-Hill Book Co., New York, N.Y., 1964.
- Gert, A., Wall, D.J., White, E.L., Dunn, C.N., Regional rainfall intensity-duration-frequency curves for Pennsylvania, Water Resour. Bulletin, 23(3), 1987.
- Hargreaves G. H., Extreme Rainfall for Africa and other Developing Areas, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 114, N° 2, Mayo 1988.
- Hershfield D. M., Weiss L. L. y Wilson W. T., Synthesis of Rainfall-Intensity Frequency Regime, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.81, N°HY Proc. Paper 774, Julio 1955.
- Kothyari U. C. y Garde R. J., Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formula for India, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.118, N° 2, Febrero 1992.
- Powell R. W., Discussion of 'Formulas for Rainfall Intensities of Long Durations', de Bernard M. M., Trans., ASCE, 96, 1932.
- Raudkivi A. J., An Advance Introduction to Hydrological Processes and Modelling, Oxford Pergamon Press, New York, 1979.

- Vargas R., Curvas Sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes, Julio 1997.
- Vargas R., Curvas Sintéticas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia. Regionalización e implementación de un SIG, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Los Andes, Julio 1998.
- Vélez F., Curvas Intensidad Duración Frecuencia En Regiones Climatológicas De Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas De Aquino, 1983.