

ANÁLISIS PRELIMINAR DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN COLOMBIA

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE HIGHEST PRECIPITATION LEVELS IN COLOMBIA

Jorge Luis, Corredor Rivera

Ingeniero Civil, Profesor Auxiliar, Facultad de Ingeniería, Investigador Grupo Visión Colombia Hídrica.
Universidad Militar Nueva Granda, Bogotá, Colombia, jcorred@umng.edu.co

Fecha de recepción: Noviembre 3 de 2006

Fecha de aprobación: Junio 9 de 2007

RESUMEN

En los estudios hidrológicos que se realizan en Colombia se efectúa la evaluación de la precipitación máxima con aquella metodología que se considere más conveniente en el contexto de un proyecto de obras hidráulicas específico. Este estudio solamente refleja un análisis preliminar para lluvias máximas en 24 horas utilizando la información suministrada por el IDEAM a este respecto, en su aplicación se utilizó la teoría de valores extremos Gumbel Tipo III, mediante el empleo de los denominados factores de frecuencia en su presentación estadística, para 518 estaciones con registros de tipo pluvial. Este documento únicamente busca llegar a los interesados en esta temática; por tal motivo se ha dado importancia a los aspectos metodológicos, además, porque los resultados que se obtienen son simplemente la primera aproximación a este tipo de evaluación sobre precipitación máxima en 24 horas.

PALABRAS CLAVE: Factor de frecuencia, valor extremo.

SUMMARY

In the hydrologic studies that are made in Colombia, the evaluation of the highest precipitation level is made with the methodology that is considered the most convenient in the context of a specific hydraulic project. This project reflects a preliminary analysis of the highest levels of precipitation in 24 hours using the information provided by the IDEAM to this respect. In its application the theory of extreme values Gumbel Type III was used, by using the denominated factors of frequency in its statistical presentation, for 518 stations with registers of pluvial type. This document only aims to reach the interested ones in this topic; for this reason, special importance has been given to the methodological aspects. In addition the obtained results are presented as guidelines only.

KEY WORDS: Frequency factor, extreme value.

INTRODUCCION

El conocimiento de la climatología de una región determinada depende del nivel de instrumentación hidrometeorológica que se encuentre en la misma. Históricamente, en Colombia la red hidrometeorológica se ha venido desarrollando más como una exigencia de los proyectos que requieren de este tipo de mediciones, que como una manifestación expresa por conocer cómo es el comportamiento hidroclimatológico del país en sus diferentes regiones. Es así como en la década de los setentas con el incremento en el sector hidroeléctrico se instaló una generosa red hidrometeorológica en aquellas cuencas sobre las cuales se identificaron los proyectos que presentaron una mayor viabilidad para su posible ejecución, a mediados de la década de los ochentas decae el interés por el sector hidroeléctrico y resurge el sector de riego y drenaje con el mismo efecto. Finalmente, superadas las expectativas sobre estos dos sectores, adquieren especial interés los aspectos ambientales y en particular el control de inundaciones, dando lugar a la instalación de estaciones de alta tecnología para transmisión de datos en tiempo real. En conclusión, existen zonas del país que carecen de mediciones hidrometeorológicas para las cuales se proponen y ejecutan proyectos de aprovechamiento hídrico.

El proyecto se desarrolló como una aplicación de la distribución Gumbel para lluvias máximas en 24 horas registradas en diferentes estaciones del país. Aunque no se realizó un análisis de distribución espacial, utilizando los procedimientos de interpolación disponibles en Arcview se logró representar gráficamente la tendencia que la precipitación puede seguir según la distribución utilizada. Esta apreciación solamente busca explicar que la inclusión o el retiro de la información de una estación puede alterar la interpretación del régimen pluvial esperado en una región específica, por tanto, su estudio debe profundizarse según el tipo de aprovechamiento hídrico para el cual se realice el análisis, mas aún cuando localmente no exista una red climatológica convenientemente distribuida o con un número escaso de estaciones.

Es una realidad que el desarrollo hídrico del país apenas empieza a tener relevancia en el campo investigativo y en el sector profesional, desde otro punto de vista la formación de tecnólogos y profesionales sobre la medición, el estudio y aprovechamiento de recursos hídricos en el país es todavía limitada, aquellos que la tienen están en buena parte vinculados al sector oficial o a las universidades, dejando la consultoría a este respecto con recursos profesionales limitados. Por lo anterior, este documento ha sido escrito con la finalidad de interesar a los profesionales en formación y en ejercicio que no se encuentren suficientemente documentados, para que dispongan de una metodología de evaluación con fácil acceso a las ecuaciones y procedimientos en forma integral, para que realicen evaluaciones en sitios con déficit de información de una forma más cercana a los procedimientos que se utilizan en forma convencional en estudios de precipitación máxima.

1. MARCO TEÓRICO

Los enfoques estadísticos para los análisis hidroclimatológicos siempre han gozado de amplia aceptación, teniendo en cuenta que se trata de manejo de datos históricos, sobre los cuales se fundamenta la proyección de valores medios, extremos, análisis de percentiles u otra modalidad. Así mismo, se analiza la confiabilidad de la información mediante diferente tipo de pruebas, igualmente de carácter estadístico.

Algunos autores hacen mención de la mejor adaptabilidad de una distribución de frecuencias sobre otra, dependiendo de la variable hidrometeorológica estudiada. Hay quienes afirman, por ejemplo, que la distribución Gumbel se adapta mejor en los análisis de precipitación y la distribución Logpearson en el caso de la evaluación de caudales (Haan, 1973, p. 112). Para este proyecto se trabajó con las dos distribuciones mencionadas, sin embargo, solamente se presenta la aplicación de la primera de ellas, siguiendo la recomendación antes anotada. En cualquier caso, estos análisis son siempre de tipo puntual (referido a la estación estudiada) y queda a criterio de quien maneje la información escoger una u otra, según su experiencia y conocimiento de la región.

La distribución Gumbel tiene diferentes presentaciones, la función de distribución de probabilidad de excedencia utilizada en este trabajo, es decir, la probabilidad de que un evento pueda alcanzar valores mayores o iguales a un valor específico, dada por la ecuación (Hershfield, 1961):

$$X = X_n + K S_n \quad (1)$$

X = Valores de la variable x_i para un valor específico de probabilidad

X_n = Promedio de los "n" valores de la variable x_i ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$)

$$X_n = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

S_n = Desviación estándar de los "n" valores de la variable x_i

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_n)^2}{n-1}} \quad (3)$$

K = Factor de frecuencia

$$K = \frac{y - \mu_n}{\sigma_n} \quad (4)$$

y = Variable reducida, la cual depende de la probabilidad estudiada

μ_n, σ_n = Parámetros que dependen del número de datos “n” de la muestra, pueden calcularse como la media y la desviación estándar de la serie de datos que se genera a partir de la ecuación:

$$y_i = \frac{-\ln(-\ln(n+1-i))}{n+1} \quad (5)$$

n = Números de datos patrón

i = Números de datos de la muestra

y_i = Es la serie de datos cuya media y desviación estándar son μ_n, σ_n , respectivamente

Dada la dificultad en el manejo de esta ecuación se utiliza frecuentemente los valores que se muestran en la Tabla 1, los cuales son el resultado de la aplicación de la ecuación (5).

Para la probabilidad de excedencia de un evento el valor de (y) en la ecuación (4) se obtiene de (Haan, 1979):

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{Tr} \quad (7)$$

P = Probabilidad

Tr = Período de retorno

Una metodología de uso frecuente en la evaluación de la precipitación máxima (WMO, 1973) que se apoya en los análisis de frecuencia, es la propuesta por David Hershfield quien indica el empleo de factores de corrección por la longitud del período de registro (número de datos) para la media (F_x) y la desviación estándar (F_s), por la influencia del valor máximo sobre el promedio (f_x) y sobre la desviación estándar (f_s), los cuales se muestran en las Figuras 1 a 4, respectivamente. Adicionalmente, teniendo en cuenta que las lecturas de los valores de lluvia en los pluviómetros no se hace a la hora 24 como hora final de cada día, sino a las 7 horas, cuando se toma una sola lectura, se considera un factor de ajuste para la precipitación máxima en 24 horas dado por la relación (m), consistente en la pendiente de la recta que corrige el valor máximo registrado (X) y este aumentado en un 50% del valor de precipitación máxima adyacente (P_o), como se muestra en la Figura 5.

Combinando las ecuaciones anteriores, se obtiene finalmente:

$$y = \ln \left(\frac{1}{\ln \frac{1}{1-P}} \right) \quad (8)$$

Tabla 1. Valores de μ_n y σ_n

n	μ_n	σ_n	n	μ_n	σ_n	n	μ_n	σ_n
8	0.4843	0.9043	35	0.5403	1.1285	64	0.5533	1.1793
9	0.4902	0.9288	36	0.5410	1.1313	66	0.5538	1.1814
10	0.4952	0.9497	37	0.5418	1.1339	68	0.5543	1.1834
11	0.4996	0.9676	38	0.5424	1.1363	70	0.5548	1.1854
12	0.5035	0.9833	39	0.5430	1.1388	72	0.5552	1.1873
13	0.5070	0.9972	40	0.5436	1.1413	74	0.5557	1.1890
14	0.5100	1.0095	41	0.5442	1.1436	76	0.5561	1.1901
15	0.5128	1.0206	42	0.5448	1.1458	78	0.5565	1.1923
16	0.5157	1.0316	43	0.5453	1.1480	80	0.5569	1.1938
17	0.5181	1.0411	44	0.5458	1.1499	82	0.5572	1.1953
18	0.5202	1.0493	45	0.5463	1.1519	84	0.5576	1.1967
19	0.5220	1.0566	46	0.5468	1.1538	86	0.5580	1.1980
20	0.5236	1.0628	47	0.5473	1.1557	88	0.5583	1.1994
21	0.5252	1.0696	48	0.5477	1.1574	90	0.5586	1.2007
22	0.5368	1.0754	49	0.5481	1.1590	92	0.5589	1.2020
23	0.5283	1.0811	50	0.5485	1.1607	94	0.5592	1.2032
24	0.5296	1.0864	51	0.5489	1.1623	96	0.5595	1.2044
25	0.5309	1.0915	52	0.5493	1.1638	98	0.5598	1.2044
26	0.5320	1.0961	53	0.5497	1.1653	100	0.5600	1.2065
27	0.5332	1.1004	54	0.5501	1.1667	150	0.5646	1.2253
28	0.5343	1.1047	55	0.5504	1.1681	200	0.5672	1.2360
29	0.5353	1.1086	56	0.5508	1.1696	250	0.5688	1.2429
30	0.5362	1.1124	57	0.5511	1.1708	300	0.5699	1.2479
31	0.5371	1.1159	58	0.5515	1.1721	400	0.5714	1.2545
32	0.5380	1.1193	59	0.5518	1.1734	500	0.5724	1.2588
33	0.5388	1.1226	60	0.5521	1.1747	750	0.5738	1.2651
34	0.5396	1.1255	62	0.5527	1.1770	1000	0.5745	1.2685
						α	0.5772	1.2826

La ecuación (1) entonces adquiere la presentación (Hershfield, 1961):

$$X = (X_n F_x f_x + K S_n F_s f_s) m \quad (9)$$

A partir de la ecuación (9) puede obtenerse fácilmente el Factor de Frecuencia (K) mediante el método de Hershfield.

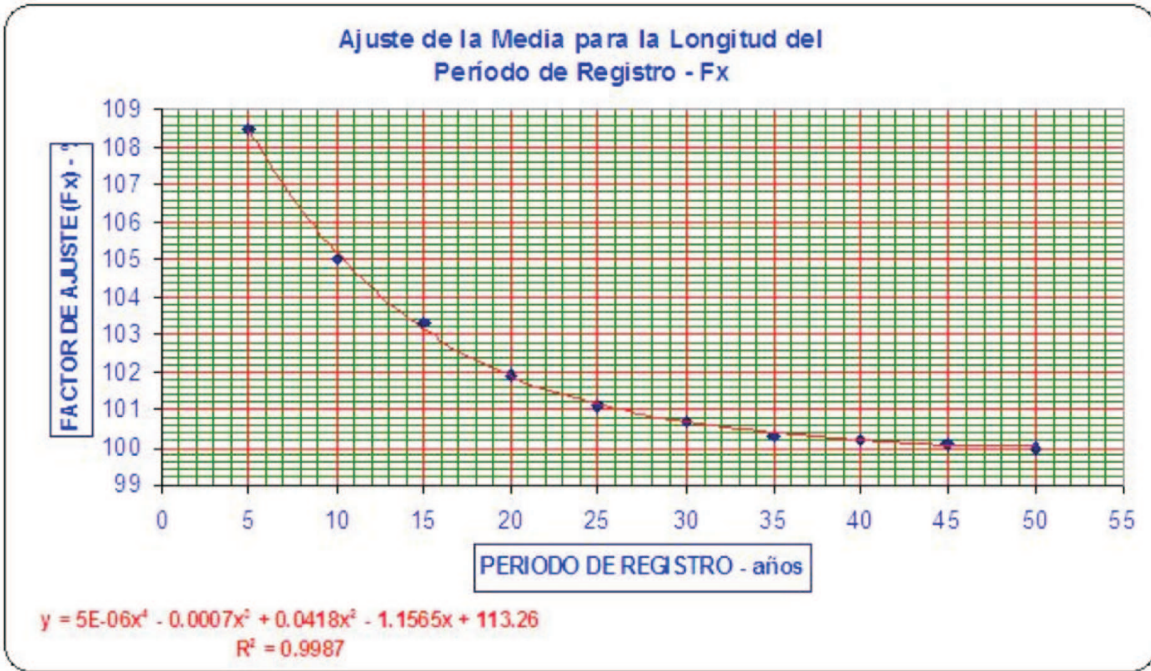


Figura 1. Factor de corrección F_x



Figura 2. Factor de corrección F_s

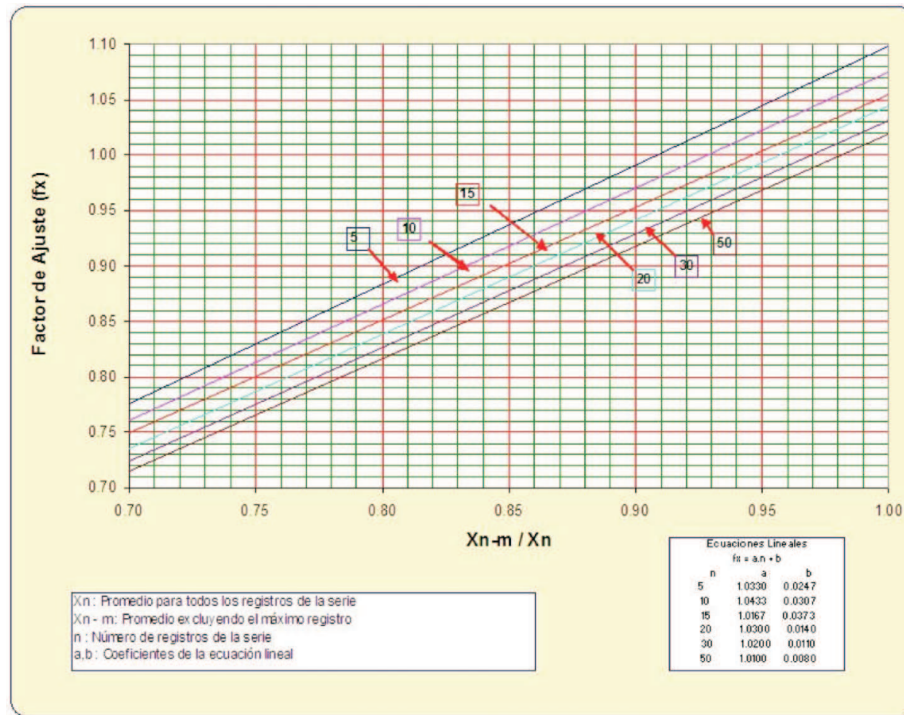


Figura 3. Factor de corrección f_x

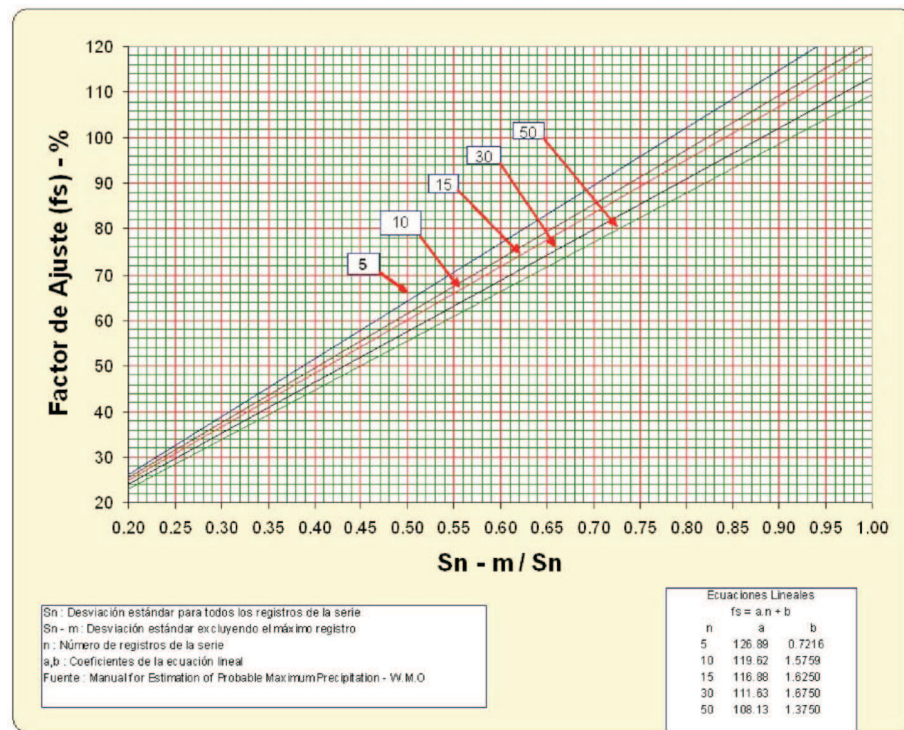


Figura 4. Factor de corrección f_s

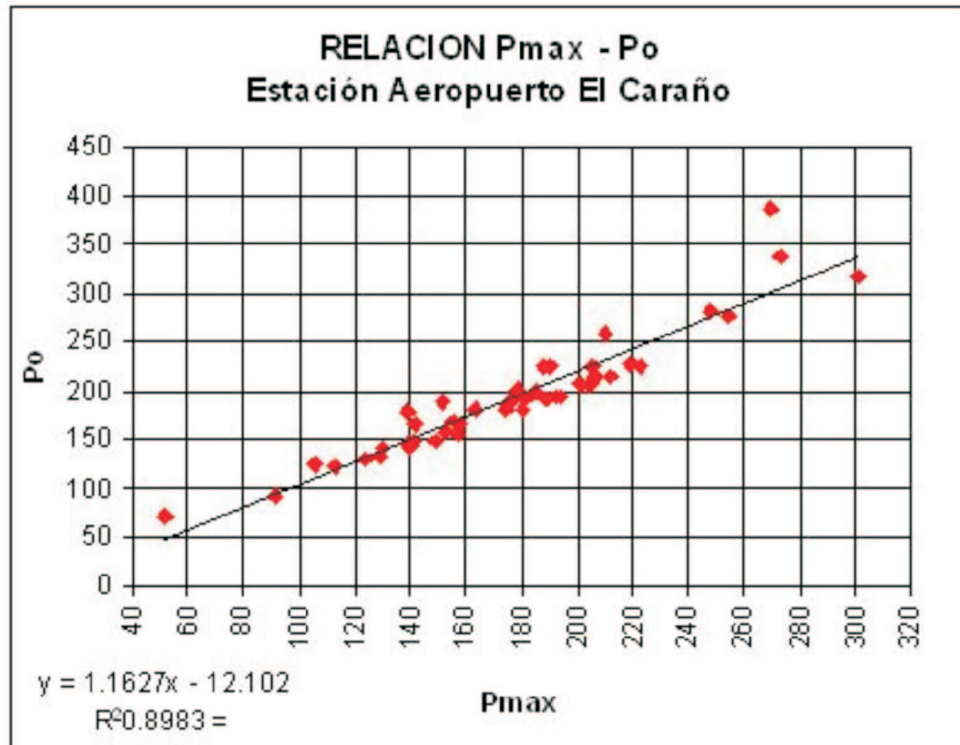


Figura 5. Factor de corrección debido a la precipitación máxima adyacente (ejemplo)

2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En la evaluación de la precipitación máxima en 24 horas se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- La metodología planteada se empleó en forma puntual para cada estación que fue analizada, por tal motivo, los resultados obtenidos son también puntuales, es decir, no se consideró la distribución espacial de la precipitación.
- Las estaciones fueron seleccionadas siempre que existiera para cada año al menos el 75% de información, es decir, registros en ocho meses del año.
- Únicamente se trabajó con el valor máximo de cada año, registrado en las estaciones seleccionadas.
- Se consideraron periodos de retorno de uso convencional en el diseño de obras hidráulicas en Colombia.

En cuanto fue posible se buscó que las estaciones seleccionadas estuvieran distribuidas en el territorio nacional.

Para la aplicación de la metodología planteada, por su sencillez, se elaboró una hoja de cálculo en EXCEL (Albornoz, et. al.) según el modelo de formato que se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Hoja de cálculo para el factor de frecuencia -K

ESTACION :		APTO EL CARAÑO			CORRIENTE :		ATRATO		
CODIGO :		1104501			MUNICIPIO:		QUIBDO		
LONG:		76° 37'	LAT :		05° 43'	ELEV :	53	(msnm)	
						TIPO :		SP	
No	FECHA D.M.A.	Pmax. (mm)	Pady. (mm)	Po (mm)	ANALISIS DE FRECUENCIA TEORIA DE VALORES EXTREMOS - GUMBEL				
1	12-May-47	130.4	20.4	140.6			m_n	0.5468	
2	2-ene-48	51.8	41.3	72.5			s_n	1.1538	
3	03-Nov-49	123.6	15.7	131.5					
4	22-dic-50	174.0	13.5	180.8	Tr	y	Ky	Px	K
5	09-Nov-53	106.0	38.0	125.0					
6	29-Nov-58	91.0	0.0	91.0	2.33	0.5786	0.0276	178.2	0.03
7	28-Jul-59	206.5	18.5	215.8	5	1.4999	0.8261	216.8	0.83
8	13-Jun-60	158.0	15.7	165.9	10	2.2504	1.4765	248.1	1.48
9	08-May-61	180.7	0.0	180.7	25	3.1985	2.2983	287.7	2.30
10	21-Jul-62	113.0	20.2	123.1	50	3.9019	2.9079	317.1	2.91
11	8-dic-63	179.0	45.5	201.8	100	4.6001	3.5130	346.3	3.51
12	02-Sep-64	190.0	69.0	224.5	200	5.2958	4.1160	375.4	4.12
13	30-dic-70	270.0	230.0	385.0	500	6.2136	4.9114	413.7	4.91
14	27-dic-66	163.0	37.0	181.5	1000	6.9073	5.5126	442.7	5.51
15	22-Jul-67	205.5	37.0	224.0	10000	9.2103	7.5087	539.0	7.51
16	13-dic-68	178.2	35.2	195.8					
17	16-dic-69	194.0	3.0	195.5					
18	1-ene-70	185.0	28.0	199.0					
19	23-abr-71	141.0	15.0	148.5					
20	2-ene-72	142.0	47.0	165.5	Constante			11.98	
21	20-Nov-73	188.0	72.0	224.0	Coeficiente de X			1.17	
22	18-Jul-74	301.0	30.0	316.0	R cuadrado			0.90	
23	05-Sep-75	273.0	130.0	338.0	Nº de Observaciones			46.00	
24	11-ago-76	176.0	25.9	189.0	Grados de Libertad			44.00	
25	21-Mar-77	157.0	0.2	157.1					
26	1-ago-78	212.0	7.5	215.8					
27	17-Mar-84	180.0	30.0	195.0					
28	05-Jun-80	205.0	5.2	207.6					
29	21-abr-86	140.0	7.0	143.5					
30	08-Oct-87	129.0	10.0	134.0					
31	28-Sep-88	139.3	79.6	179.1					
32	30-Mar-84	247.9	68.6	282.2					
33	6-ago-85	210.5	96.9	259.0					
34	6-abr-86	223.2	6.0	226.2					
35	29-Nov-87	181.7	21.1	192.3					
36	22-Jun-88	151.8	72.5	188.1					
37	25-abr-89	254.6	44.2	276.7					
38	21-ene-90	152.1	10.8	157.5					
39	28-Nov-91	149.1	0.9	149.6					
40	21-Nov-92	154.9	25.8	167.8					
41	10-Nov-93	219.0	17.8	227.9					
42	27-Jul-94	189.9	3.3	191.6					
43	31-Mar-95	192.1	5.9	195.1					
44	19-Jul-96	201.6	11.2	207.2					
45	14-Feb-97	138.7	14.8	146.1					
46	06-Nov-97	188.2	8.2	192.3					
n		46.00	Kobs.	2.82	Fx =	1.001	Xn* =	177.63	
Pmax.		301.00	Xn-m	174.16	fx =	1.003	Sn* =	49.77	
Xn		176.92	Sn-m	44.95	Fs =	1.005	Cv* =	0.28	
Sn		48.22	Xn-m/Xn	0.98	fs =	1.027	P10000* =	538.97	
Cv		0.27	Sn-m/Sn	0.93	m =	1.163	K10000* =	7.26	

RELACION Pmax - Po

$y = 1.1627x - 12.102$
 $R^2 = 0.8983$

NOTAS :
 1. Fuente de Datos : IDEAM
 2. Fuentes Bibliográficas : Indicadas en la bibliografía

3. RESULTADOS

En la aplicación de esta metodología se estudiaron 763 estaciones de las cuales fueron seleccionadas finalmente 518, las cuales fueron empleadas para obtener los resultados que se incluyen en la Tabla 3 y en las Figuras 6 a 15 se muestra su variación en el territorio colombiano.

La nube de puntos que se observa en las figuras mencionadas anteriormente corresponde a la red de estaciones seleccionadas, también puede verse que la distribución de la variación de la precipitación depende de los valores registrados en las diferentes estaciones. Cabe anotar que para visualizar el comportamiento de la precipitación se utilizaron los medios disponibles en Arc View.

El concepto de Precipitación Máxima se utiliza en la evaluación del valor de esta variable para el estimativo de caudales para diseño de obras hidráulicas de mayor envergadura, dados los altos niveles de seguridad que ellas deben ofrecer, sin embargo, la tendencia actual en cuanto hace referencia al recurso hídrico es buscar el empleo de obras medianas a pequeñas que permitan la oferta en la conservación y preservación de un entorno ambiental sostenible.

Tabla 3. Valores de las variables analizadas

Variable	Unidad	Mínimo	Medio	Máximo
No de datos		8	21	56
P _{máx}	(mm)	39	136	440
P _{2.33}	(mm)	27	82	212
P ₅	(mm)	34	103	252
P ₁₀	(mm)	37	120	284
P ₂₅	(mm)	38	141	331
P ₅₀	(mm)	39	157	382
P ₁₀₀	(mm)	40	172	433
P ₂₀₀	(mm)	41	188	484
P ₅₀₀	(mm)	43	208	552
P ₁₀₀₀	(mm)	44	224	602
P ₁₀₀₀₀	(mm)	47	276	771

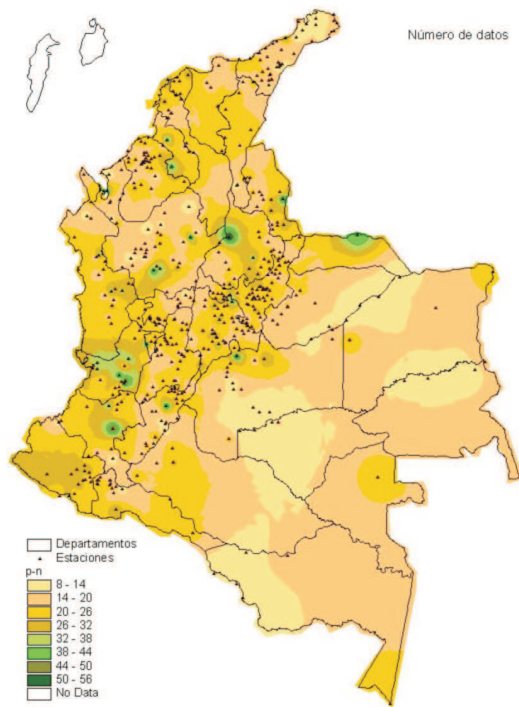


Figura 6. Número de datos

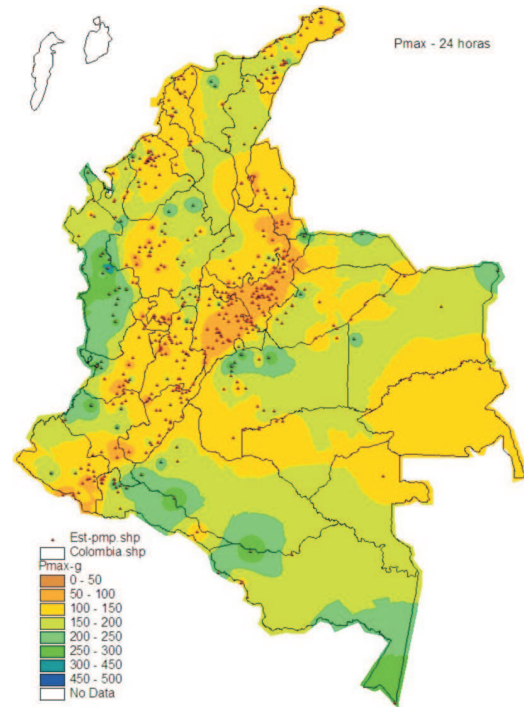


Figura 7. Precipitación máxima

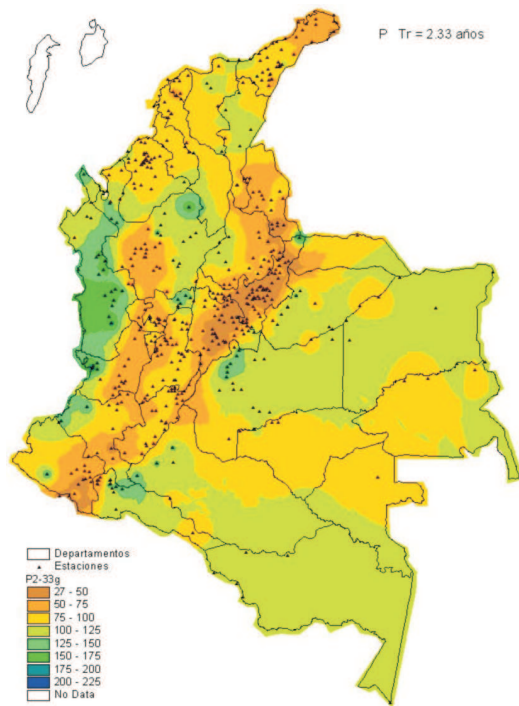


Figura 8. P Tr = 2.33 años

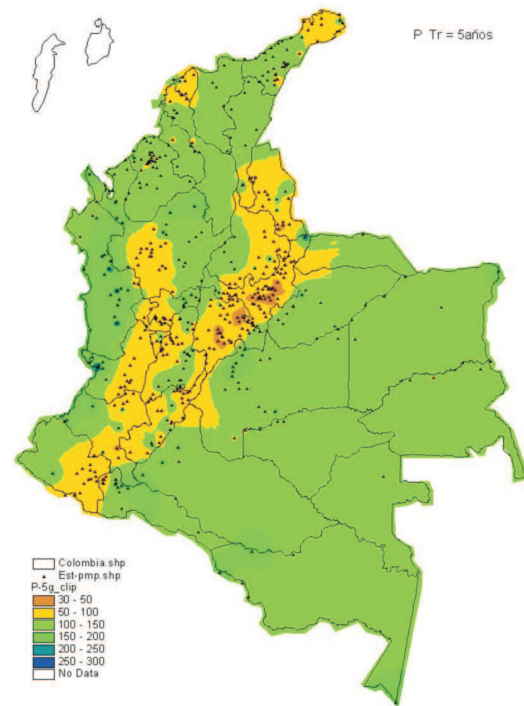


Figura 9. P Tr = 5 años

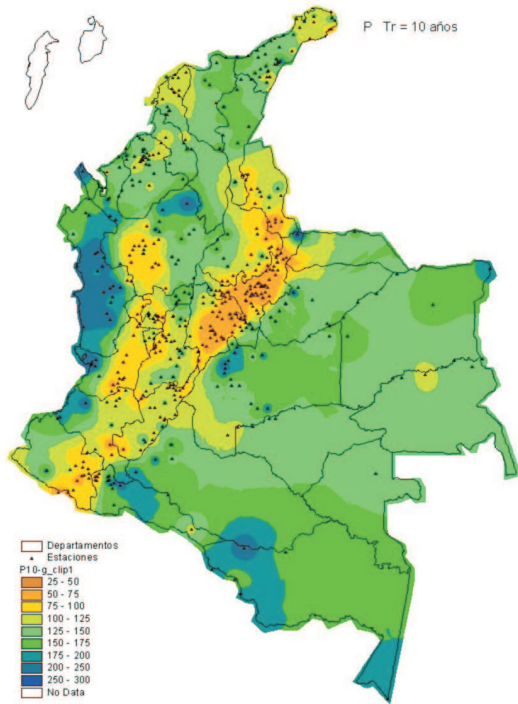


Figura 10. P Tr = 10 años

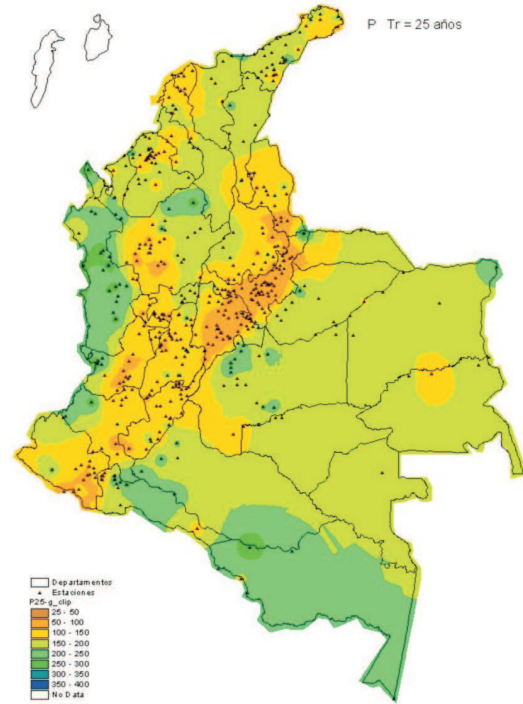


Figura 11. P Tr = 25 años

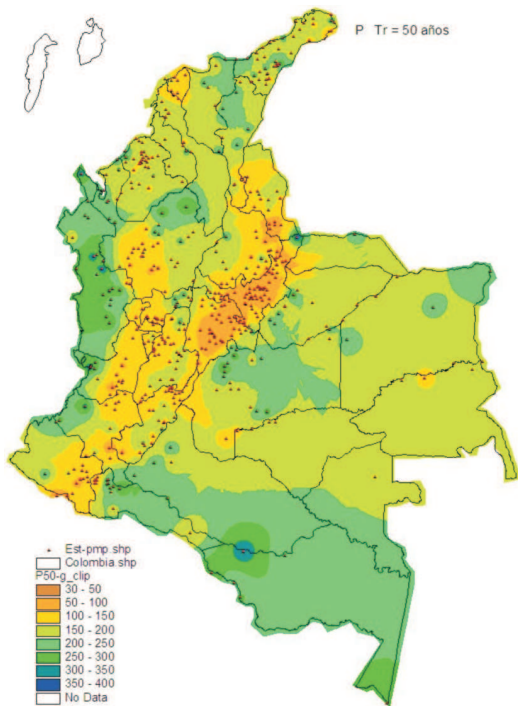


Figura 12. P Tr = 50 años

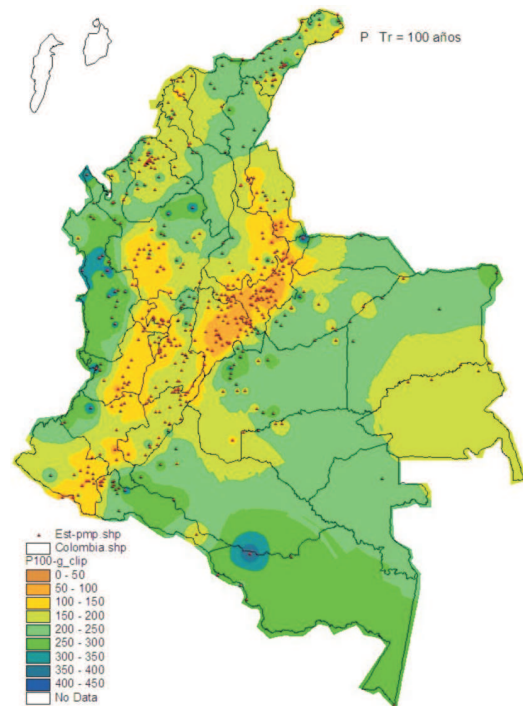


Figura 13. P Tr = 100 años

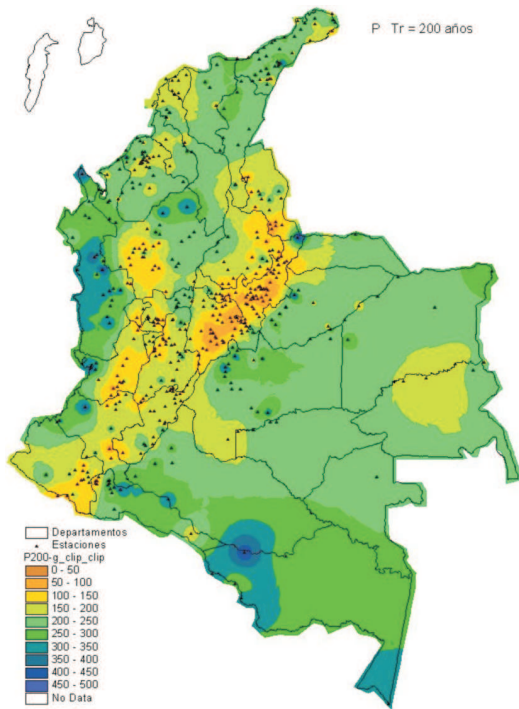


Figura 14. P Tr = 200 años

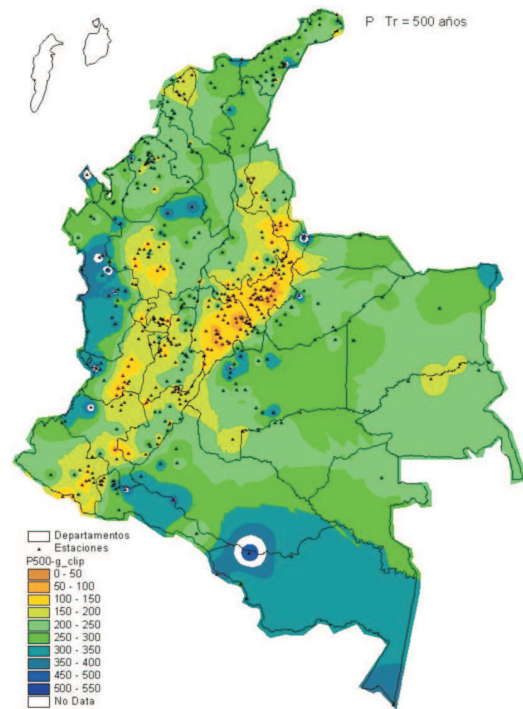


Figura 15. P Tr = 500 años

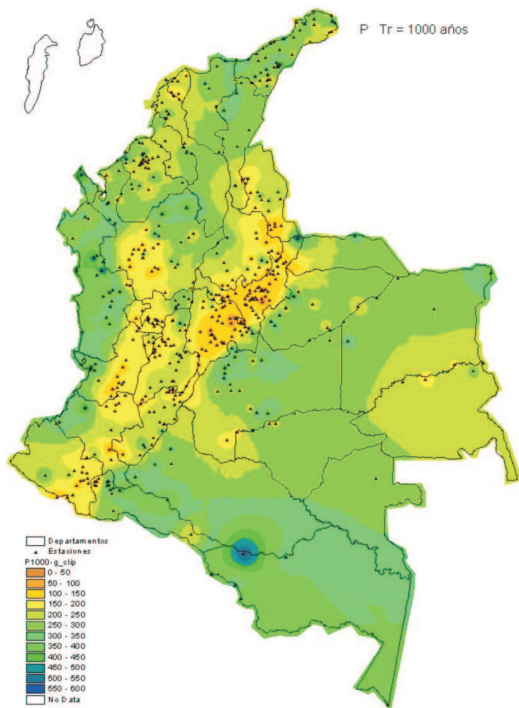


Figura 14. P Tr = 1000 años

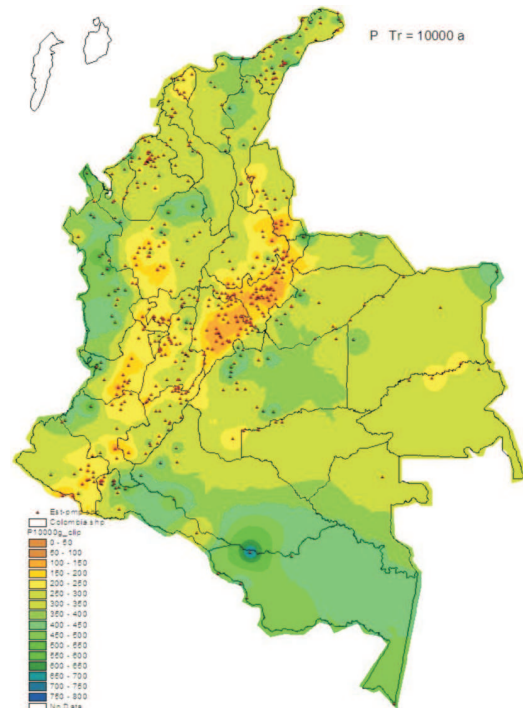


Figura 15. P Tr = 10000 años

4. CONCLUSIÓN

La hidroclimatología se caracteriza por el amplio manejo de información numérica que representa el comportamiento de las diferentes variables que comprende, pero que solamente puede ser interpretada cuando se forma parte de esos números. Es decir, el manejo de números produce números, les falta el sentimiento. La estadística y las probabilidades solamente son una herramienta para orientar la toma de decisiones sobre los valores que deben seleccionarse para el diseño de las obras hidráulicas sujetas a los estudios de tipo hidroclimatológico.

La Figura 6 muestra que la mayor cantidad de información sobre precipitación máxima en 24 horas se concentra en sitios que presentan algún interés especial como son los desarrollos hidroeléctricos, proyectos de riego y drenaje y aeropuertos fronterizos. La Orinoquía y la Amazonía tienen una escasa densidad de estaciones debido a su baja densidad de población y a su cobertura vegetal que dificulta tal labor.

Para la red pluviométrica utilizada, en la Figura 7 se muestra la variación de la precipitación máxima en 24 horas en el territorio colombiano, se encuentran valores superiores a 200 mm/24 horas, los cuales deben ser analizados con detalle aunque se encuentran en zonas que son característicamente de mayor pluviosidad.

Las Figuras 8 a 15 indican la variación de la precipitación para diferentes periodos de retorno de acuerdo con la distribución Gumbel. Mediante la aplicación ArcView puede observarse que las tendencias de ocurrencia de valores máximos se mantienen en sitios específicos y que la influencia de una estación sobre las vecindades es relativamente la misma en proporción al valor estimado para cada período de retorno.

Por lo anterior, la oferta sobre resultados concluyentes debe concentrarse en áreas pequeñas sobre las cuales puedan darse con algún nivel de certidumbre valores apropiados para el diseño de obras hidráulicas.

El diseñador puede considerar, según el riesgo que se elija, aquel período de retorno que considere más apropiado, teniendo en cuenta que no existe un umbral diferente al que él elija. En este contexto, se debe analizar simultáneamente el valor del Factor de Frecuencia (K) que depende del número de datos considerado (Corredor, 2006) y por ende tiene influencia directa en el valor de precipitación estimado.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos a sus estudiantes de la Universidad La Gran Colombia, quienes colaboraron con el suministro y procesamiento de la información sobre 167 estaciones con registros de tipo pluvial, al IDEAM y varias empresas privadas quienes suministraron también información para su empleo con fines académicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBORNOZ, Stella, BOLÍVAR Gilma, CORREDOR Jorge; Análisis del factor de frecuencia (K) para el cálculo de la precipitación máxima probable en Colombia según el método de Hershfield; Bogotá, 1986, Universidad Santo Tomás de Aquino, Facultad de Ingeniería Civil.
- [2] CORREDOR, Jorge, (2006). El Factor de Frecuencia (K) para la estimación de la PMP en Colombia, XVII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Popayán.
- [3] HAAN, Charles, (1979). Statistical methods in hydrology; The Iowa State University Press.
- [4] HERSHFIELD D. M. (September de 1961). Estimating the probable maximum precipitation, Journal Hydraulics Division Proceedings, Society of American Society of Civil Engineers, N° 2933.
- [5] HERSHFIELD D. M., (August 1965). Method for estimating probable maximum rainfall, Journal AWWA.
- [6] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION – WMO (1973). Manual for estimation of probable maximum precipitation; Operational Hydrology, Report N°1, Geneva.

