

PRECIPITACIONES MAXIMAS EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

José Suárez-Serrato *

INTRODUCCION

La zona cafetera colombiana está localizada en las vertientes de las cordilleras, y presenta altas intensidades y frecuencias de lluvias durante todo el año. Estas características hacen de ella un área de permanente escurrimiento, que afecta los cultivos, las vías, las construcciones, los asentamientos, los embalses y las hidroeléctricas, con fenómenos de erosión, torrencialidad, remociones masales, sedimentaciones, etc.

Al estudiar el efecto de la precipitación en estos aspectos, no se debe dar tanta importancia a los totales o promedios mensuales o anuales, ya que significan poco con relación al comportamiento de las lluvias. Lo más recomendable es el análisis de aguaceros como unidades de trabajo, individualizados a través de sus características de intensidad, duración y frecuencia (5).

Ya que la lluvia es un factor inmodificable en relación con la erosión hídrica de los suelos, y la intensidad es el factor más importante de este fenómeno, el estudio de las intensidades máximas en períodos cortos, tales como uno, cinco, diez minutos, es indispensable para el cálculo de drenajes y desagües de las obras hidráulicas (3, 11, 12).

Las máximas de lluvia en períodos de una hora se asemejan más a las duraciones promedio de los aguaceros, y tienen gran importancia para el estudio de fenómenos erosivos, para la planificación de prácticas culturales y para el conocimiento de la humedad del suelo y de los fenómenos de infiltración, saturación y de remociones masales (6).

* Asistente de la Sección de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia.

El conocimiento de las precipitaciones máximas en períodos de 24 horas, tiene aplicación en los cálculos de embalses, de escurrimiento de cuencas pequeñas, medianas y grandes, así como en el estudio de caudales, torrencialidad e inundaciones (6).

El conocimiento de las intensidades máximas en diferentes períodos de tiempo, se obtiene examinando las precipitaciones de un período de años anteriores, en una red suficientemente grande para caracterizar una zona (2, 4).

Para el diseño de sistemas de drenaje y otras obras de ingeniería que consideran la escorrentía superficial, se emplean las intensidades máximas de lluvia, más probables, que se alcancen o se superen una vez cada determinado número de años (período de retorno), ya que el valor máximo absoluto registrado, sólo se esperaría que ocurriera al cabo de un número muy grande de años (1, 10).

Con el fin de conocer las intensidades máximas de las lluvias de la zona cafetera, en diferentes intervalos, se analizaron los registros de 68 localidades y se calculó su probabilidad de ocurrencia en varios períodos de retorno mediante la ley de Gumbel.

MATERIALES Y METODOS

Los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas, en 1 hora y 5 minutos, utilizados en el presente trabajo, proceden de los archivos existentes en la Sección de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café.

Se escogieron para el estudio de máximas anuales en 24 horas, las 33 estaciones y 35 puestos pluviométricos que presentaban mayor continuidad en la información, siendo en general superior a diez años el período considerado. Los valores máximos considerados se refieren a las cantidades máximas de lluvia en 24 horas, contadas a partir de las siete horas de la mañana, hora a la que suelen hacerse las lecturas.

Para el estudio de las precipitaciones máximas en intervalos de 1 hora y 5 minutos, se contó con 33 estaciones que tienen registros pluviográficos de más de 10 años.

Los valores máximos para cada estación, se agruparon para los diferentes intervalos de tiempo, y se calculó su media aritmética, la desviación estandar y el coeficiente de variabilidad de la serie.

Para el cálculo de la lluvia máxima esperada en diferentes períodos de retorno, se empleó la distribución de frecuencias de Gumbel (7), a la cual se ajustan las series extremas de los parámetros meteorológicos.

La ley de Gumbel es de aplicaciones generales y su uso se considera satisfactorio como

distribución de variables aleatorias que sean extremas, máximas o mínimas, de un determinado fenómeno que se produce en el tiempo (7, 8, 9).

La distribución Gumbel es de la forma:

$$P = e^{-e^{-y}}$$

P = es el valor extremo esperado con mayor probabilidad, inferior a un cierto valor X , o también, la frecuencia de valores máximos inferiores a X .

e = es la base de logaritmos neperianos.

$1-P$ = será la probabilidad de que dicho valor extremo, tomado al azar, sea igual o mayor que X .

$T = 1/(1-P)$ el número de años necesario para que el valor máximo alcanzado iguale o supere el valor X una vez solamente como promedio.

T = se denomina período de retorno del valor X .

y = es la variable reducida y su valor se deduce tomando doble logaritmo neperiano en la distribución general de Gumbel.

$$y = -1.1 (1/P)$$

Empleando esta distribución, las frecuencias teóricas pueden calcularse a partir de la media y desviación típica de la serie de valores máximos.

Chow (2), da las fórmulas generales siguientes para el cálculo de frecuencias:

$$K_t = M + s_x \frac{(y - \bar{y}_n)}{S_n}$$

X_t = es el valor con período de retorno T .

M = es la media de los valores extremos.

s_x = desviación típica de los valores extremos.

n = número de valores extremos de la serie

y, \bar{y}_n, S_n son la variable reducida, media y desviación típica de dicha variable.

Los valores \bar{Y}_n y S_n se calculan a partir de $y = -1.1 (1/P)$ haciendo $P = m / (n + 1)$, para $m = 1, 2, \dots, n$.

Cuando n es muy grande se tiene aproximadamente:

$$\bar{Y}_n = 0.5772 \text{ y } S_n = 1.2826$$

La relación que liga y con X es la siguiente:

$$y = (X - u) (S_n / S_x)$$

$$u = \text{es la moda de los valores extremos} = M - S_x (\bar{Y}_n / S_n)$$

Sustituyendo se tiene:

$$y = (X - M) \cdot S_n / S_x + \bar{Y}_n$$

cuando n tiende a infinito:

$$y = 1.2826 (X - M) / S_x + 0.5772$$

En las tablas 1 y 2 se tienen los valores de \bar{Y}_n y S_n cuando n varía entre 5 y 30 años y los valores de la variable reducida para varios períodos de retorno.

Inicialmente se hicieron pruebas para confrontar si las series de datos se ajustaban a la distribución de frecuencias de Gumbel. Igualmente se calculó el número de años necesarios para determinar los períodos de retorno de 5, 10, 20 y 100 años.

Para ello se aplicó la fórmula:

$$X_c = \bar{X} (1 + C_v K)$$

en donde

X_c = número de años de observaciones necesarias

\bar{X} = media de valores observados

C_v = coeficiente de variabilidad

K = índice dependiente del período de retorno según la fórmula Gumbel.

Con coeficientes de variabilidad de 24.8 0/o valores predominantes en la zona cafetera se encontró que se necesitan 6.8 años de observaciones para calcular un período de retorno de 20 años y 9.5 años para 100.

TABLA 1.- VALORES DE LAS VARIABLES \bar{Y}_n Y S_n CUANDO n VARIA ENTRE 5 Y 30 AÑOS.

n	\bar{Y}_n	S_n	n	\bar{Y}_n	S_n
5	0.4117	0.8661	18	0.5199	1.0482
6	0.4775	0.8866	19	0.5218	1.0558
7	0.4829	0.9060	20	0.5236	1.0628
8	0.4879	0.9243	21	0.5252	1.0696
9	0.4925	0.9414	22	0.5268	1.0754
10	0.4967	0.9573	23	0.5283	1.0811
11	0.5005	0.9721	24	0.5296	1.0864
12	0.5040	0.9858	25	0.5309	1.0915
13	0.5072	0.9984	26	0.5320	1.0961
14	0.5101	1.0098	27	0.5332	1.1004
15	0.5128	1.0206	28	0.5343	1.1047
16	0.5153	1.0306	29	0.5353	1.1086
17	0.5177	1.0399	30	0.5362	1.1124

TABLA 2.- VALORES DE Y PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO T (AÑOS).

T	5	10	15	20
Y	1.49999	2.2504	2.6800	2.9700

Chow (2), define el intervalo de retorno como el promedio de tiempo en el cual una magnitud tal de un evento cualquiera, puede ser igualada o excedida. La determinación del intervalo de retorno es el objetivo primario del análisis de las frecuencias de los datos hidrológicos. Para el diseño de obras de control de erosión, los intervalos de retorno más utilizados han sido de 5 y 10 años. Intervalos mayores requieren obras mayores no justificables económicamente, sino en defensa humana.

El cálculo de los períodos de retorno para diferente número de años se hizo hasta 20 años ya que un 78 0/o de las estaciones tienen alrededor de 20 años observados lo cual permite tener alta probabilidad de los valores esperados y coeficientes de variabilidad entre 20 y 30 0/o.

Finalmente, se compararon los resultados de las precipitaciones máximas esperadas con los factores climáticos latitud y altitud, y con la época de ocurrencia a través del año.

RESULTADOS Y DISCUSION

PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS

Debido al horario de observaciones no se puede precisar que las intensidades máximas registradas sean las máximas ocurridas, pero si podemos considerar estas últimas como un límite inferior y que las máximas que se producen en el futuro deberán igualar o exceder a las máximas observadas.

En la tabla 3, se presentan los valores de la precipitación máxima esperada en 24 horas para los diferentes períodos de retorno desde 5 hasta 20 años. Para este período se contó con 68 puestos de observación distribuidos en 14 departamentos que comprenden la zona cafetera colombiana.

Analizando los valores de las máximas en 24 horas se encontró que la estación de mayor precipitación es Salazar en el departamento de Norte de Santander con un valor de 113.1 mm., en 20 años de observación. El valor más alto es de 173.1 mm., en agosto de 1959 y el valor más bajo es de 93.0 mm., en noviembre de 1956, presentando un coeficiente de variabilidad de 21.9 0/o.

Siguen en orden descendente según sus valores promedios, las estaciones de Falan (Tolima) con 99.1 mm, Otanche (Boyacá) con 98.7 mm, Blonay (Norte de Santander) con 97.4 mm, Dolores (Tolima) con 93.9 mm, Pueblo Bello (Cesar) con 90.6 mm, El Líbano (Tolima) con 89.0 mm, Cenicafé (Caldas) con 88.7 mm.

Las máximas anuales más bajas se presentaron en Pitalito (Huila) con 40.4 mm y Restrepo (Valle) con 44.8 mm.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 4, no existe ninguna relación entre la precipitación máxima en 24 horas y la altura del lugar. Se observó mayor influencia de la latitud encontrándose los valores más altos en la zona norte (90.0 mm), valores intermedios en la zona central (72.7 mm) y el valor más bajo en la zona sur (67.1 mm). Además, se encontró que las regiones más lluviosas son las de mayor valor en 24 horas y las más secas, las de menor valor.

El coeficiente de variabilidad en las precipitaciones máximas en 24 horas a través de los años observados en las distintas estaciones meteorológicas de la zona cafetera osciló desde 7.8 0/o en Teruel (Huila), hasta un 44 0/o en La Mesa (Cundinamarca).

Un 50 0/o de las estaciones presentaron un coeficiente de variabilidad que oscila entre un 20 0/o a un 30 0/o y para un 30 0/o de las estaciones, este coeficiente varía, entre un 10 y un 20 0/o. No se encontró ninguna relación con la latitud, ni con la altitud.

TABLA 3.- PRECIPITACION MAXIMA ESPERADA EN 24 HORAS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 5 A 20 AÑOS.

DEPARTAMENTO	Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Periodos observados	Valores medios	Desviación estandar	Coeficiente variabilidad	PERIODOS DE RETORNO			
									X 5	X 10	X 15	X 20
CESAR	Pueblo Bello	1.000	10° 22'	73° 38'	1957 - 74	90.6	17.8	19.64	107.3	120.0	127.3	132.2
	Manaure	875	10° 23'	75° 03'	1955 - 74	68.9	21.3	30.91	88.8	104.1	112.8	118.7
N. SANTANDER	Blonay	1.235	7° 35'	72° 36'	1952 - 74	97.4	28.8	29.56	123.3	143.3	154.7	162.4
	Salazar	1.000	7° 46'	72° 48'	1955 - 74	113.1	24.8	21.92	135.9	153.3	163.4	170.2
	Durania	1.200	7° 53'	72° 39'	1957 - 72	83.8	25.1	29.95	107.8	126.1	136.5	143.6
SANTANDER	Zaragoza	1.100	7° 17'	73° 09'	1959 - 74	85.6	23.7	27.68	108.2	125.5	135.4	142.0
CUNDINAMARCA	Tibacuy	1.550	4° 21'	74° 25'	1952 - 74	56.5	13.3	23.53	68.5	77.7	83.0	86.5
	Yacopi	1.340	5° 28'	74° 22'	1955 - 74	78.3	19.8	25.28	96.5	110.4	118.5	123.9
	Cachipay	1.250	4° 40'	74° 28'	1966 - 74	77.2	14.4	18.65	92.6	104.1	110.7	115.1
	Java	1.640	4° 30'	74° 27'	1962 - 73	75.4	20.4	27.05	96.0	111.5	120.4	126.4
	Albán	1.700	4° 52'	74° 26'	1957 - 69	73.0	13.4	18.35	86.3	96.4	102.2	106.1
	Villeta	880	5° 01'	74° 29'	1954 - 74	67.2	12.9	19.19	78.7	87.7	92.9	96.3
	Pandi	1.350	4° 11'	74° 28'	1952 - 68	59.5	10.7	17.98	69.6	77.3	81.7	84.7
	Guaduas	1.060	5° 04'	74° 36'	1952 - 74	67.2	12.9	19.19	78.7	87.7	92.9	96.3
	Quetame	1.300	4° 19'	73° 58'	1952 - 74	76.8	23.4	30.46	97.8	114.1	123.4	129.6
	El Colegio	1.400	4° 28'	74° 28'	1961 - 74	52.7	16.7	33.58	69.1	81.5	88.6	93.4
	La Mesa - La Palma	1.100	4° 40'	74° 27'	1960 - 74	65.5	16.3	24.88	81.3	93.3	100.1	104.7
	La Mesa	1.300	4° 38'	74° 28'	1954 - 74	55.2	24.3	40.02	77.5	94.6	104.5	111.1
	Fusagasugá-Bethania	1.800	4° 21'	74° 22'	1955 - 74	53.1	17.0	32.01	68.6	80.5	87.3	92.0
	Atala	1.160	4° 24'	74° 28'	1959 - 74	77.9	19.9	25.54	96.9	111.4	119.7	125.3
	La Palma	1.250	5° 21'	74° 23'	1952 - 74	75.0	15.2	20.26	88.7	99.2	105.3	109.3
	Valsálce	1.450	4° 21'	74° 26'	1962 - 74	50.0	5.3	10.60	55.3	59.3	61.5	63.1
ANTIOQUIA	El Rosario	1.540	5° 58'	75° 44'	1951 - 74	77.4	16.8	21.70	72.5	104.2	110.8	115.3
	Jardín	1.570	5° 32'	75° 51'	1956 - 74	60.0	12.7	21.16	71.7	80.8	86.0	89.4
	Yolombó	1.500	6° 37'	75° 02'	1957 - 73	82.0	17.9	21.82	99.1	112.1	119.6	122.1
	Sonsón	2.250	5° 42'	75° 18'	1956 - 74	65.4	19.8	30.27	83.7	97.8	105.9	111.3
	Gualanday	1.420	5° 58'	75° 40'	1960 - 74	55.2	11.2	20.28	66.0	74.3	79.0	82.2
	Támesis	1.190	5° 40'	75° 44'	1959 - 74	70.2	10.5	14.95	80.2	87.9	92.3	95.2
	Jonás	1.300	5° 59'	75° 42'	1953 - 74	61.0	11.0	18.03	71.0	78.6	83.0	86.0
BOYACA	Bertha	1.700	5° 52'	73° 24'	1953 - 74	64.4	11.9	18.47	75.2	83.5	88.2	91.4
	Otanche	1.230	5° 52'	74° 22'	1958 - 69	98.7	19.7	19.95	118.6	133.6	142.2	148.0
CALDAS	Cenicafé	1.310	4° 59'	75° 35'	1953 - 74	88.7	25.5	28.74	111.8	129.6	139.8	146.6
	Naranjal	1.370	4° 58'	75° 36'	1954 - 74	73.0	9.4	28.87	81.6	88.2	91.9	94.5
	Fac. Agronomía	2.150	5° 04'	75° 31'	1956 - 74	72.2	15.6	21.60	86.6	97.7	104.1	108.4

TABLA 3.- Continuación.

DEPARTAMENTO	Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Períodos observados	Valores medios	Desviación estándar	Coeficiente de variabilidad	PERIODOS DE RETORNO			
									X 5	X 10	X 15	X 20
	Llanadas	1.420	5° 15'	75° 08'	1954 - 74	81.4	15.2	18.67	95.2	105.9	112.0	116.1
	Santagueda	1.010	5° 04'	75° 41'	1964 - 74	78.4	13.3	16.96	92.1	102.3	108.2	112.2
	Las Palomas	2.700	5° 08'	75° 28'	1959 - 70	70.5	16.8	23.82	87.5	100.3	107.6	112.5
	Belalcazar	1.800	5° 00'	75° 48'	1959 - 72	66.3	11.8	18.64	77.7	86.4	91.4	94.7
RISARALDA	El Jazmín	1.600	4° 53'	75° 36'	1961 - 74	80.3	16.4	20.42	96.4	108.6	115.5	120.3
QUINDIO	Paraguaicito	1.250	4° 24'	75° 43'	1962 - 74	83.4	12.2	14.62	95.5	104.7	109.9	113.5
	La Bella	1.450	4° 30'	75° 38'	1952 - 74	83.4	18.8	22.54	100.3	113.3	120.8	125.9
	El Sena	1.550	4° 33'	75° 40'	1962 - 74	87.5	15.3	17.48	102.7	114.2	120.8	125.2
	Quinbaya	1.400	4° 37'	75° 46'	1952 - 74	71.4	17.9	25.07	87.5	99.9	107.0	111.8
TOLIMA	Líbano	1.500	4° 56'	75° 04'	1952 - 74	89.0	24.8	27.86	111.3	128.5	138.4	145.0
	Chapetón	1.300	4° 27'	75° 16'	1954 - 74	75.0	15.4	20.53	89.0	99.8	106.0	110.2
	Dolores	1.260	3° 33'	74° 54'	1955 - 74	93.9	25.5	27.15	117.3	135.2	145.6	152.6
	Villarrica	1.610	3° 56'	74° 36'	1964 - 74	65.7	15.0	22.83	81.1	92.7	99.3	103.8
	Chaparral	990	3° 43'	75° 38'	1955 - 74	82.1	34.1	41.53	113.4	137.4	151.3	160.6
	Falan	1.500	5° 08'	74° 57'	1955 - 74	99.1	41.5	41.87	137.2	166.4	183.3	194.6
VALLE	Restrepo	1.360	3° 49'	76° 39'	1954 - 74	44.8	11.2	25.00	55.0	62.9	67.4	70.4
	Sevilla	1.540	4° 16'	75° 55'	1953 - 74	78.2	19.1	24.42	95.5	108.8	116.4	121.6
CAUCA	La Florida	1.850	2° 27'	76° 35'	1952 - 74	67.5	12.2	18.07	78.5	86.9	91.8	95.1
	El Tambo	1.700	2° 24'	76° 48'	1953 - 74	79.2	17.0	21.46	94.6	106.4	113.2	117.8
	Caldono - La Unión	1.500	2° 47'	76° 25'	1960 - 71	79.6	16.4	20.60	96.2	108.7	115.8	120.6
	Balboa	1.630			1954 - 69	63.3	16.8	26.54	79.5	91.9	99.0	103.7
	Bolívar	1.880	1° 51'	76° 58'	1960 - 74	72.7	18.7	29.82	90.8	104.5	112.4	117.7
	Rosas	1.750	2° 15'	76° 44'	1952 - 74	76.2	16.3	21.39	90.8	102.2	108.6	113.0
	Santander	1.110	3° 01'	76° 29'	1952 - 74	74.3	12.7	17.09	85.7	94.5	99.6	103.0
	Tunía	1.800	2° 20'	76° 32'	1960 - 74	54.5	8.3	15.22	62.4	68.5	71.9	74.3
	Cajibío	1.840	2° 37'	76° 32'	1959 - 74	82.3	22.9	27.82	105.4	122.8	132.8	139.5
HUILA	Gigante	1.500	2° 22'	75° 33'	1955 - 74	58.4	17.4	29.79	74.4	86.6	93.7	98.5
	San Juanito	1.500	3° 04'	75° 08'	1954 - 74	84.5	34.7	41.06	116.1	140.5	154.1	163.8
	Teruel	850	2° 28'	75° 39'	1955 - 70	56.7	4.4	7.76	60.9	64.1	65.9	67.2
	Pitalito	1.440	1° 51'	76° 04'	1956 - 70	40.4	16.8	41.58	56.6	69.0	76.1	80.8
NARIÑO	Ospina Pérez	1.700	1° 16'	77° 28'	1953 - 74	59.7	18.7	31.32	76.6	89.7	97.1	102.2
	La Unión	1.800	1° 37'	77° 01'	1959 - 74	74.2	15.4	20.75	88.9	100.1	106.5	110.9
	Samaniego	1.700	1° 20'	77° 35'	1959 - 71	56.3	10.9	19.36	67.1	75.3	80.0	83.2
	San Pablo	1.780	1° 38'	76° 59'	1959 - 72	57.0	14.2	24.91	70.9	81.5	87.5	91.6

TABLA 4.- PRECIPITACIONES MAXIMAS PROMEDIO EN 24 HORAS PARA DIFERENTES ALTITUDES Y ZONAS LATITUDINALES.

Rango de altitud (metros)	Z o n a		
	Norte	Central	Sur
Menor de 1.000	68.9	74.7	56.7
1.000 - 1.200	93.4	71.8	74.3
1.201 - 1.400	97.4	74.3	40.4
1.401 - 1.600		74.7	74.2
1.601 - 1.800		66.3	65.3
1.801 - 2.000			74.2
Mayor de 2.000		69.4	
Promedio para la zona	90.0	72.7	67.1

Analizando los valores de la precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años, se encontró que los valores más altos esperados son: Falan (Tolima) 166.4 mm, Salazar (Norte de Santander) 153.3 mm, y Blonay (Norte de Santander) 143.3 mm. Siguen en su orden: San Juanito (Huila) 140.5 mm, Chaparral y Dolores (Tolima) 137.4 mm y 135.2 mm respectivamente. Las zonas de menor precipitación esperada son: Valsálce (Cundinamarca) 59.3 mm, Restrepo (Valle) 62.9 mm, Teruel y Pitalito (Huila) 64.1 y 69.0 mm, Tunía (Cauca) 68.5 mm.

Los valores más altos corresponden a las estaciones del norte del país y algunas en la zona central, las cuales pertenecen a la ladera oriental de la cordillera central.

PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 1 HORA

En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de los datos correspondientes a las precipitaciones máximas anuales en 1 hora.

Los valores medios oscilaron entre 64.2 mm, en Salazar (Norte de Santander) y 29.2 mm, en Tibacuy (Cundinamarca).

El 70 0/o de las estaciones de la zona cafetera presentaron entre 35 y 45 mm como máximas en 1 hora.

En la zona norte se encontraron los valores más altos y la zona sur presentó los valores más bajos. La zona central mostró valores intermedios con excepciones como Tibacuy y Restrepo.

La variabilidad de los valores para 1 hora, a través de los años, osciló entre un 6 0/o en Santágueda (Caldas), hasta un 43 0/o en Blonay (Norte de Santander). Un 58 0/o de las

TABLA 5.- PRECIPITACION MAXIMA EN MILIMETROS ESPERADA EN 1 HORA PARA PERIODOS DE RETORNO DE 5 A 20 AÑOS.

DEPARTAMENTO	Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Períodos observados	Valores medios	Desviación estandar	Coeficiente variabilidad	PERIODOS DE RETORNO			
									X 5	X 10	X 15	X 20
CESAR	Pueblo Bello	1.000	10° 22'	73° 38'	1957 - 74	53.8	15.4	28.6	68.2	79.3	85.5	89.8
		875	10° 23'	75° 03'	1962 - 74	41.9	11.3	27.0	53.5	62.2	67.2	70.6
N. SANTANDER	Blonay	1.235	7° 35'	72° 36'	1953 - 74	38.8	17.0	43.8	54.2	66.1	72.8	77.4
		1.000	7° 46'	72° 48'	1955 - 74	64.2	9.6	14.9	73.0	79.8	83.7	86.3
CUNDINAMARCA	Tibacuy	1.550	4° 21'	74° 25'	1953 - 74	29.2	6.7	22.9	35.3	39.9	42.6	44.2
		1.340	5° 28'	74° 22'	1959 - 74	46.5	6.3	13.5	52.5	57.1	59.7	61.5
		1.250	4° 40'	74° 28'	1967 - 74	39.1	10.3	26.3	50.4	58.7	63.5	66.8
		1.640	4° 30'	74° 27'	1962 - 73	49.3	13.0	26.4	62.4	72.3	78.0	81.8
ANTIOQUIA	El Rosario	1.540	5° 58'	75° 44'	1951 - 74	38.9	10.1	25.9	48.0	55.0	59.0	61.7
		1.570	5° 32'	75° 51'	1956 - 74	34.2	11.9	34.8	45.2	53.7	58.5	61.8
		1.500	6° 37'	75° 02'	1957 - 74	41.9	4.8	11.4	46.5	50.1	52.1	53.5
BOYACA	Bertha	1.700	5° 52'	73° 24'	1953 - 74	38.3	11.1	29.0	48.3	56.1	60.5	63.5
CALDAS	Cenicafé	1.310	4° 59'	75° 35'	1953 - 74	43.3	9.9	22.9	52.3	59.2	63.1	65.8
		1.370	4° 58'	75° 36'	1954 - 74	41.2	7.9	19.2	48.4	53.9	57.1	59.2
		2.150	5° 04'	75° 04'	1956 - 74	36.1	3.8	10.5	44.2	50.5	54.1	36.5
		1.420	5° 15'	75° 08'	1956 - 74	39.9	7.6	19.0	46.9	52.4	55.4	57.5
		1.010	5° 04'	75° 41'	1964 - 74	40.8	2.7	6.6	43.6	45.7	46.9	47.7
RISARALDA	Palomas	2.700	5° 08'	75° 28'	1957 - 70	30.4	9.3	30.6	29.8	46.9	50.9	53.7
		1.600	4° 53'	75° 36'	1961 - 74	44.4	10.2	23.0	54.5	62.0	66.3	69.2
QUINDIO	Paraguaicito	1.250	4° 28'	75° 43'	1962 - 74	44.2	10.9	24.7	55.0	63.2	67.9	71.1
		1.450	4° 30'	75° 38'	1962 - 74	40.8	10.6	26.0	50.3	57.7	61.9	64.7
		1.550	4° 33'	75° 40'	1962 - 74	40.4	9.1	22.5	49.4	56.3	60.2	62.8
TOLIMA	Libano	1.520	4° 56'	75° 04'	1953 - 74	39.1	8.5	21.7	46.8	52.7	56.1	58.4
		1.300	4° 27'	75° 16'	1955 - 74	39.0	8.8	22.6	47.1	53.3	56.9	59.3
		1.260	3° 33'	74° 54'	1963 - 74	42.9	8.1	18.9	51.1	57.2	60.8	63.2
		1.610	3° 56'	74° 36'	1964 - 74	36.5	8.7	23.8	45.4	52.2	56.0	58.6
VALLE	Restrepo	1.360	3° 49'	76° 39'	1955 - 74	30.7	10.1	32.9	40.0	47.1	51.2	53.9
		1.540	4° 16'	75° 55'	1953 - 74	38.2	8.1	21.2	45.5	51.2	54.4	56.6
CAUCA	La Florida	1.850	2° 27'	76° 35'	1950 - 74	37.1	6.0	16.2	42.5	46.7	49.1	50.7
		1.700	2° 24'	76° 48'	1953 - 74	39.1	15.4	39.4	53.0	63.8	69.9	74.1
HUILA	Gigante	1.500	2° 22'	75° 36'	1955 - 74	30.2	9.8	32.4	39.2	46.1	50.1	52.8
NARIÑO	Ospina Pérez	1.700	1° 16'	77° 28'	1953 - 74	29.9	11.6	38.8	40.4	48.5	53.1	56.3
		1.800	1° 37'	77° 01'	1961 - 74	37.8	11.4	30.1	49.0	57.4	62.3	65.6

estaciones presentaron un coeficiente de variabilidad entre 20 a 30 0/o. No se encuentra relación con la altitud y la variabilidad de los valores de las series.

Estudiando los datos de precipitación máxima en 1 hora para un período de retorno de 10 años, se observó que las estaciones de la zona norte del país tuvieron los valores más altos: Salazar (Norte de Santander), con 79.8 mm y Pueblo Bello (Cesar) con 79.3 mm. En la zona central, se presentaron algunas con valores muy altos, como Java (Cundinamarca) 72.3 mm, El Tambo (Cauca) 63.8 mm, y Paraguaicito (Quindío) 63.2 mm. Un 54 0/o de las estaciones de la zona cafetera presentaron valores entre 50 y 60 mm, como máximas en 1 hora.

Las regiones de valores más bajos fueron Tibacuy (Cundinamarca) con 39.9 mm, Santágueda (Caldas) con 45.7 mm, Gigante (Huila) con 46.1 mm y La Florida (Cauca) con 46.7 mm.

PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 5 MINUTOS

El intervalo de tiempo en 5 minutos se ha tomado como el período de tiempo base para el cálculo de las intensidades de lluvia; de allí su importancia, pues de su magnitud se puede deducir la intensidad de un aguacero.

En la zona cafetera se encontraron los valores máximos medios en este intervalo de tiempo, en Yacopí (Cundinamarca) 12.6 mm, Pueblo Bello (Cesar) 12.0 mm, Salazar (Norte de Santander) 11.9 mm. Luego estuvieron Cenicafé (Caldas) 11.6 mm, El Tambo (Cauca) 11.4 mm y Cachipay (Cundinamarca) 11.2 mm, (tabla 6).

Los valores más bajos se presentaron en Restrepo (Valle) 9.0 mm, Ospina Pérez (Nariño) 9.0 mm, Gigante (Huila) 9.7 mm. Siguieron en su orden: Villarrica (Tolima) 9.5 mm, Facultad de Agronomía (Caldas) 9.5 mm y Tibacuy (Cundinamarca) 9.6 mm.

Un 62 0/o de las estaciones presentaron valores promedios de la precipitación máxima en 5 minutos entre 10.0 mm y 12.0 mm. Un 7 0/o presentaron valores superiores a 12.0 mm, y un 31 0/o valores menores de 10.0 mm.

El coeficiente de variabilidad más alto se encontró en Yolombó (Antioquia) con 32.4 0/o, siguiendo en su orden El Tambo (Cauca) con 28.0 0/o, Yacopí y Cachipay (Cundinamarca) con 27.7 0/o. Los valores más bajos en la variabilidad se tuvieron en Naranjal, Llanadas y Las Palomas (Caldas) y Chapetón (Tolima), entre 6 y 7 0/o.

Analizando los valores esperados para un período de retorno de 10 años, se encontró que las zonas de máxima precipitación esperada en 5 minutos son: Yacopí (Cundinamarca) 18.5 mm, Yolombó (Antioquia) 17.6 mm, Cachipay (Cundinamarca) 17.1 mm, El Tambo (Cauca) 16.6 mm y Pueblo Bello (Cesar) 12.0 mm.

TABLA 6.- PRECIPITACION MAXIMA EN MILIMETROS ESPERADA EN 5 MINUTOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 5 A 20 AÑOS.

DEPARTAMENTO	Estación	Altitud	Latitud	Longitud	Períodos observados	Valores medios	Desviación estandar	Coeficiente de variabilidad	PERIODOS DE RETORNO			
									X 5	X 10	X 15	X 20
ANTIOQUIA	El Rosario	1.540	5° 58'	75° 44'	1951 - 74	10.1	1.5	14.85	11.5	12.5	13.1	13.5
	Jardín	1.570	5° 32'	75° 51'	1956 - 74	9.7	1.2	12.37	10.8	11.7	12.2	12.5
	Yolombó	1.500	6° 37'	75° 02'	1957 - 68	11.1	3.6	32.43	14.8	17.6	19.2	20.2
BOYACA	Bertha	1.700	5° 52'	73° 24'	1956 - 74	10.0	2.6	26.00	12.4	14.2	15.3	16.0
CALDAS	Cenicafé	1.310	4° 59'	75° 35'	1953 - 74	11.6	2.1	18.10	13.5	15.0	15.8	16.4
	Naranjal	1.370	4° 58'	75° 36'	1954 - 74	10.3	0.6	5.82	10.8	11.3	11.5	11.7
	Agronomía	2.150	5° 04'	75° 31'	1956 - 74	9.5	1.3	13.68	10.7	11.6	12.2	12.5
	Llanadas	1.420	5° 15'	75° 08'	1956 - 74	10.5	0.7	6.66	11.1	11.6	11.9	12.1
	Palomas	2.700	5° 08'	75° 28'	1962 - 70	10.1	0.7	6.93	10.8	11.4	11.7	11.9
CAUCA	La Florida	1.850	2° 27'	76° 35'	1955 - 74	10.7	1.8	16.82	12.4	13.6	14.4	14.8
	El Tambo	1.700	2° 24'	76° 48'	1956 - 74	11.4	3.2	28.07	14.4	16.6	17.9	18.8
CESAR	Pueblo Bello	1.000	10° 22'	73° 38'	1957 - 74	12.0	2.7	22.50	14.5	16.4	17.6	18.3
	Manaure	875	10° 23'	75° 03'	1962 - 72	10.9	1.4	12.84	12.3	13.4	14.0	14.4
CUNDINAMARCA	Tibacuy	1.550	4° 21'	74° 25'	1953 - 74	9.6	1.5	15.62	11.0	12.0	12.6	13.0
	Yacopi	1.340	5° 28'	74° 22'	1959 - 74	12.6	3.5	27.77	15.9	18.5	20.0	20.9
	Cachipay	1.250	4° 40'	74° 28'	1967 - 74	11.2	3.1	27.67	14.6	17.1	18.6	19.5
	Java	1.640	4° 30'	74° 27'	1962 - 73	10.7	1.0	9.34	11.7	12.5	12.9	13.2
HUILA	Gigante	1.500	2° 22'	75° 36'	1955 - 74	9.2	1.5	16.30	10.6	11.6	12.2	12.7
NARIÑO	Ospina Pérez	1.700	1° 16'	77° 28'	1955 - 74	9.0	1.6	17.77	10.5	11.6	12.2	12.7
	La Unión	1.800	1° 37'	77° 01'	1961 - 74	9.9	1.0	10.10	10.9	11.6	12.0	12.3
N. SANTANDER	Blonay	1.235	7° 35'	72° 36'	1955 - 74	10.1	1.3	12.87	11.3	12.2	12.7	13.1
	Salazar	1.000	7° 46'	72° 48'	1955 - 74	11.9	2.8	23.52	14.5	16.4	17.6	18.3
QUINDIO	Paraguaicito	1.250	4° 24'	75° 43'	1963 - 74	11.1	2.5	22.52	13.6	15.5	16.6	17.4
	La Bella	1.450	4° 30'	75° 38'	1955 - 74	9.8	1.5	15.30	11.2	12.2	12.8	13.3
	El Sena	1.550	4° 33'	75° 40'	1962 - 74	11.2	2.9	25.89	14.1	16.3	17.5	18.4
RISARALDA	El Jazmín	1.600	4° 53'	75° 36'	1961 - 74	9.7	2.9	29.89	12.5	14.7	15.9	16.8
TOLIMA	Líbano	1.520	4° 56'	75° 04'	1952 - 74	10.4	1.0	9.61	11.3	12.0	12.4	12.7
	Chapetón	1.300	4° 27'	75° 16'	1956 - 74	10.0	0.7	7.00	10.6	11.1	11.4	11.6
	Dolores	1.260	3° 33'	74° 54'	1963 - 74	10.3	1.4	13.59	11.7	12.8	13.4	13.8
	Villarrica	1.610	3° 56'	74° 36'	1964 - 74	9.5	1.4	14.73	10.9	12.0	12.6	13.1
VALLE	Restrepo	1.360	3° 49'	76° 39'	1955 - 74	9.0	1.6	17.77	10.5	11.6	12.2	12.7
	Sevilla	1.540	4° 16'	75° 55'	1956 - 74	10.4	1.0	9.61	11.3	12.0	12.4	12.7

Las de menor precipitación esperada son: Chapetón (Tolima) 11.1 mm, Naranjal y Las Palomas (Caldas) 11.3 mm, Restrepo (Valle) 11.6 mm, La Unión y Ospina Pérez (Nariño) 11.6 mm.

A pesar de que los valores extremos se encontraron en la zona central, es de anotar que sigue la tendencia a la influencia de la latitud en la distribución de éstos valores máximos a lo largo de la zona cafetera colombiana.

COMPARACION DE LOS PERIODOS

Analizando los valores máximos en los distintos períodos de tiempo se encontró que en general estos ocurren en los meses de máxima precipitación total, no obstante que lo normal es que la ocurrencia de altas intensidades, especialmente en períodos cortos, sea en tormentas de verano.

También se observó que las regiones que presentaron los valores más altos en 24 horas, presentaron las mayores cifras en 1 hora y cinco minutos en los diferentes períodos de retorno.

RESUMEN

Para el conocimiento de las precipitaciones máximas de la zona cafetera colombiana se calcularon los valores para los períodos de retorno de 5, 10, 15 y 20 años para los intervalos de 5 minutos, 1 hora y 24 horas. Se aplicó la fórmula de Gumbel por ser la que más se ajusta a esta clase de variables meteorológicas.

Se analizaron 68 puestos para el intervalo de 24 horas. Los resultados indican que las áreas de mayor precipitación se encuentran en el norte, con máximas promedio hasta de 113.1 mm/día, y los valores menores en el sur (desde 40.4 mm). Los valores esperados en un período de retorno de 10 años, oscilan entre 59.3 mm y 166.4 mm y en un 50 % de las estaciones se espera una máxima entre 80 a 110 mm, en 24 horas.

En 33 puestos de observación, se estudiaron los valores máximos de precipitación en 1 hora. Las cifras más altas fueron encontradas en la zona norte del país, con valores medios hasta de 64.2 mm. Los valores más bajos fueron en la zona sur, con datos medios desde 29.2 mm. En un 55 % de las estaciones se espera una precipitación máxima de 1 hora entre 50 y 60 mm, en un período de 10 años.

La precipitación máxima en 5 minutos fué analizada en 33 puestos de observación. El valor máximo promedio encontrado fué 12.6 mm y el valor más bajo, 9.0 mm. Un 62 % de las estaciones presentó una máxima media, en 5 minutos, entre 10 y 12 mm.

Los valores absolutos más altos fueron de 20 mm, en el Tambo (Cauca) y 19.4 mm en Salazar (Norte de Santander).

Los meses del año en que se presentaron los valores máximos en los diferentes intervalos de tiempo, fueron en su mayoría los meses de mayor precipitación total, o sea en abril, mayo, octubre y noviembre.

SUMMARY

In order to find out what the maximum rainfalls are in the Colombian Coffee zone, the values of return periods of five, ten, fifteen and twenty years were calculated, taking into account intervals of five minutes, one hour and twenty-four hours. Gumbel's formula was used, since it is better suited to his kind of meteorological data.

Sixty-eight different locations were analysed for the twenty-four hour interval. The results indicate that the areas of higher rainfall are located in the northern part of the country, with average maximums of 131.0 mm. per day as contrasted with an average maximums of 40.4 mm. per day in the south. The values expected over a return period of ten years range between 59.3 mm. and 166.4 mm. A maximum rainfall of 80 to 110 mm. in twenty-four hours is expected in 50 % of the meteorological stations.

Maximum rainfall values in one hour were studied in 33 different observation points. The highest figures were found in the northern part of the country with mean values up to 64.2 mm. The lowest values were recorded in the southern zone with an average of 29.2 mm. A maximum rainfall ranging between 50 and 60 mm. in an hour, over a period of ten years, is expected in 55 % of the stations.

The maximum rainfall in five minutes was analysed in 33 observation points. The maximum average value was 12.6 mm. and the lowest was 9.0 mm. Sixty-two per cent of the stations showed a maximum mean value ranging between ten and twelve mm. in five minutes. The highest absolute values were recorded in Tambo (Province of Cauca) with 20.0 mm. and Salazar (Province of Norte de Santander) with 19.4 mm.

The majority of maximum rainfall values in the different time intervals were recorded during the rainiest months (April, May, October and November).

BIBLIOGRAFIA

- 1.- CHARREAU, C. et NICOU, R. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidence agronomiques. *L'Agronomie Tropicale* 26(2):209-255. 1971.
- 2.- CHOW, V. T. The log-probability law and its engineering applications. American Society of Civil Engineers. Proceedings vol. 80. 1954. Reprint N° 563.
- 3.- ELIAS, F. Precipitaciones máximas en España. Régimen de intensidades y frecuencias. Madrid, Ministerio de Agricultura. Boletín Técnico N° 3. 1963. 214 p.
- 4.- LA EROSION del suelo por el agua. FAO-Cuadernos de Fomento Agropecuario N° 81. 1967. 207 p.
- 5.- FORSYTHE, W. M. Conservación de suelos y control de inundaciones. Turrialba, C. R., Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1971. 12 p.
- 6.- GOMEZ A., A., ALARCON, H. y GRISALES, A. Manuel de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, 1975. 276 p.
- 7.- GUMBEL, E. J. Les plus grands ages en Suisse. *J. Statist. Rev. Econo. (Suisse)* 70 (Fasc. 4). 1934.
- 8.- HERBERT, A. and RAYMOND, R. Statistical methods. New York, Barnes & Noble, 1958. v. p.
- 9.- JADRAQUE, V. M. La ley de Gumbel. Metodología de estimación de los parámetros característicos en el caso de muestras de poca extensión. Simposio sobre proyectos de recursos hidráulicos. Madrid, 1973. pp. 369-386. v. 2.
- 10.- SUAREZ DE CASTRO, F. y RODRIGUEZ G., A. Conservación de suelos. Barcelona, Salvat, 1965. 319 p.
- 11.- WISCHMEIER, W. H. and SMITH, D. D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rocky mountains. U. S. Department of Agriculture Agricultura Handbook N° 282. 1965. 47 p.
- 12.- VILLEGAS, J. Indices y fórmulas de erosión hídrica. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1970. 20 p. (mimeografiado).