

CARACTERISTICAS DE LAS LLUVIAS MAXIMAS EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Alvaro Jaramillo-Robledo* - Fernando Kogson-Quintero**

RESUMEN

JARAMILLO R., A.; KOGSON Q., F. Características de las lluvias máximas en la zona cafetera colombiana. Cenicafé (Colombia):45(1): 25-34. 1994.

Mediante la distribución de probabilidad para valores extremos de Gumbel se estimaron las intensidades máximas de lluvia para intervalos de tiempo entre 5 y 120 minutos y períodos de retorno entre 5 y 25 años en treinta y seis localidades de la zona cafetera colombiana. Las expresiones calculadas presentan coeficientes de determinación superiores a 0,90 con coeficientes de ajuste de regresión de las ecuaciones muy variables, los cuales indican que no se puede aplicar una ecuación única de cálculo para la región estudiada. Por medio de un análisis estadístico de conglomerados, se establecen siete grupos de estaciones por sus características de lluvia máxima.

Palabras claves: Clima, precipitación, café.

ABSTRACT

By using probability distribution for Gumbel's extreme values, maximum rain intensities for intervals of time between 5 and 120 minutes were estimated. In the same return periods between 5 and 25 years distributed over 36 locations on Colombian coffee region were also estimated. Calculated expressions show coefficients of determination higher than 0.9 with very variable fitting regression coefficients. Those coefficients indicated that it is not possible to apply an unique equation to the region being studied. By means of cluster statistical analysis, 7 station sets according to their maximum rain characteristics were determined.

Keywords: Climate, precipitation, coffee.

* Investigador Científico II. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

La región andina de Colombia por su localización en la zona tropical presenta en general altas cantidades de lluvia, por lo cual constituye un área de continuo escurrimiento que afecta los suelos, los cultivos y las obras de infraestructura, con la presencia de fenómenos erosivos como las remociones masales y la sedimentación.

El conocimiento de las características fundamentales de la lluvia (intensidad, duración y frecuencia) de una localidad, es necesario para el cálculo correcto de obras de infraestructura, manejo de aguas, cuencas, embalses y drenajes entre otras. La relación anterior presenta variaciones en el espacio y en el tiempo, debiendo ser calculadas por medio del análisis estadístico de una serie larga de datos de lluvia (3).

Autores como Linsley *et al.* (6) y Ven Te Chow (9), recomiendan para el análisis de la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia, la distribución de probabilidad tipo I de Fisher-Tippet, conocida como la distribución de Gumbel.

Para la zona cafetera colombiana, Suárez (7) aplica la distribución de Gumbel para las intensidades máximas en 5 minutos, 1 y 24 horas y períodos de retorno de 5, 10, 15 y 20 años en 68 localidades. Los valores máximos encontrados son de 113 mm/día - 64 mm/hora Salazar, Norte de Santander y 12,6 mm/5 minutos - Yacopí, Cundinamarca.

Kogson (4) calculó las curvas de intensidad - duración y frecuencia utilizando la distribución de Gumbel para lluvias máximas registradas en la zona cafetera para tiempos entre 5 y 120 minutos y un período de observación de 15 años.

La Rotta (5) y Van der Weer y Londoño (8), realizaron estudios de la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias máximas de las estaciones de Agronomía y CENICAFE, Caldas, Planta de Tratamiento y El Cedral, Risaralda.

El presente estudio tuvo por objetivo estimar las ecuaciones que permitan calcular la intensidad máxima de la lluvia como una función del período de retorno y la duración de la lluvia, para treinta y seis localidades de la zona cafetera de Colombia.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó con base en los registros de precipitación obtenidos en 36 estaciones localizadas en la zona cafetera y operadas por la Federación Nacional de Cafeteros a través del Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE (2). Las estaciones con su localización geográfica se presentan en la Tabla 1.

Las series anuales se conformaron al considerar para cada año la lluvia máxima registrada; para cada estación se analizó el período de 1970 a 1984 (15 años de observación).

Para el ajuste de probabilidades se utilizó el método de Gumbel, adecuado para estimar las intensidades máximas de lluvia más probables que igualen o superen una vez, cada determinado número de años (Período de retorno).

La distribución de Gumbel es una función de la forma:

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

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

e = Es la base de los logaritmos neperianos.

y = Es la variable reducida. Su valor se calcula tomando doble logaritmo neperiano a la fórmula general de la distribución de Gumbel.

$y = \text{Ln} [-\text{Ln} (1-1/\text{Tr})]$ Esta expresión permite calcular y , en función del período de retorno deseado.

$\text{Tr} = \frac{1}{1 - P}$ Número de años necesarios para que el valor máximo alcanzado iguale o supere el valor de X solamente una vez como promedio.

$\text{Tr} =$ Es el período de retorno en años.

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

El procedimiento para ajustar la información básica de la distribución de Gumbel es el siguiente:

- Analizar para cada año la precipitación que presente la intensidad máxima observada en 5 minutos.
- Agrupar las intensidades máximas anuales de la lluvia para 5 minutos en orden decreciente.
- Calcular las intensidades máximas anuales de la lluvia expresada en milímetros por hora (mm/hr), de 5 en 5 minutos para un período entre 5 y 120 minutos.
- Calcular la intensidad media anual de la lluvia para cada duración.
- Calcular la desviación típica de las intensidades máximas anuales observadas.
- Calcular el evento correspondiente a cada período de retorno, aplicando la fórmula general de Ven Te Chow adaptada de Gumbel, cuya expresión es de la forma:

$$X = \bar{X} - K S_x$$

donde:

\bar{X} = Es el valor máximo para cada duración (mm/h)

\bar{X}, S_x = Son la media y la desviación típica de la serie de observaciones.

K = Es el factor de frecuencia. Se calcula mediante la expresión:

$$K = \frac{Y - \bar{Y}_n}{S_n}$$

donde:

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

La ecuación más utilizada para expresar la relación Intensidad, Duración y Período de Retorno según Schwad *et al.* citado por Denardin y De Freitas (1) es la siguiente:

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

donde:

I = Intensidad máxima media de la lluvia (mm/h) /

T = Período de retorno (años)

t = tiempo de duración de la lluvia (minutos)

a, b, c y d son coeficientes de ajuste que varían con la localidad.

La anterior expresión se calculó para las estaciones en estudio por el método de regresión múltiple lineal.

TABLA 1. Localización de las estaciones climáticas analizadas.

| Departamento/Municipio | Estación | Latitud Norte | Longitud Oeste | Altitud m |
|---------------------------|------------------------|---------------|----------------|-----------|
| ANTIOQUIA | | | | |
| Venecia | El Rosario | 05°56' | 75°43' | 1.600 |
| Jardín | Miguel Valencia | 05°32' | 75°51' | 1.570 |
| BOYACA | | | | |
| Moniquirá | Bertha | 05°52' | 73°24' | 1.700 |
| CALDAS | | | | |
| Manzanares | Llanadas | 05°13' | 75°08' | 1.420 |
| Manizales | Agronomía | 05°03' | 75°29' | 2.150 |
| Palestina | Santa Ana | 05°01' | 75°40' | 1.250 |
| Palestina | Santágueda | 05°05' | 75°40' | 1.010 |
| Chinchiná | Cenicafé | 05°00' | 75°36' | 1.310 |
| Chinchiná | Naranjal | 04°58' | 75°42' | 1.400 |
| Supía | Rafael Escobar | 05°28' | 75°39' | 1.320 |
| CAUCA | | | | |
| Popayán | La Florida | 02°27' | 76°35' | 1.850 |
| Tambo | Manuel Mejía | 02°24' | 76°48' | 1.700 |
| CESAR | | | | |
| Pueblo Bello | Pueblo Bello | 10°22' | 73°30' | 1.000 |
| CUNDINAMARCA | | | | |
| Yacopí | Montelíbano | 05°28' | 74°22' | 1.340 |
| Cachipay | Mesitas del Santa Inés | 04°40' | 74°28' | 1.250 |
| Tibacuy | Granja | 04°21' | 74°25' | 1.550 |
| HUILA | | | | |
| Gigante | Jorge Villamil | 02°22' | 75°33' | 1.500 |
| NARIÑO | | | | |
| Consacá | Ospina Pérez | 01°16' | 77°28' | 1.700 |
| NORTE DE SANTANDER | | | | |
| Salazar | Francisco Romero | 07°46' | 72°48' | 1.000 |
| Chinácota | Blonay | 07°35' | 72°36' | 1.235 |
| QUINDIO | | | | |
| Circasia | Bremen | 04°40' | 35°33' | 2.040 |
| Armenia | Sena | 04°32' | 75°40' | 1.550 |
| Calarcá | La Bella | 04°31' | 75°40' | 1.450 |
| Buenavista | Paraguaicito | 04°23' | 75°44' | 1.250 |
| RISARALDA | | | | |
| Santa Rosa de Cabal | El Jazmín | 04°55' | 75°38' | 1.600 |
| Pereira | Planta de Tratamiento | 04°48' | 75°40' | 1.450 |
| Pereira | El Cedral | 04°47' | 75°32' | 2.120 |
| TOLIMA | | | | |
| Villarrica | Luis Bustamante | 03°56' | 74°36' | 1.610 |
| Ibagué | Chapetón | 04°27' | 75°16' | 1.300 |
| Chaparral | Limón | 03°43' | 75°38' | 990 |
| Dolores | La Montaña | 03°33' | 74°54' | 1.260 |

Continúa...

| Departamento/Municipio | Estación | Latitud Norte | Longitud Oeste | Altitud m |
|------------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------|
| VALLE | | | | |
| Argelia | Santiago Gutiérrez | 04°43' | 76°10' | 1.550 |
| Alcalá | Arturo Gómez | 04°40' | 75°48' | 1.320 |
| Sevilla | Heraclio Uribe | 04°16' | 75°55' | 1.540 |
| Trujillo | Manuel Mallarino | 04°10' | 76°21' | 1.380 |
| Restrepo | Julio Fernández | 03°49' | 76°31' | 1.360 |

RESULTADOS Y DISCUSION

Para un período de retorno de 10 años, las intensidades máximas promedio registradas en 5, 30, 60 minutos y un día, en treinta y seis localidades de la zona cafetera se presentan en la Tabla 2. Para los intervalos de tiempo de 5, 30 y 60 minutos se presentan valores promedio de 14,5; 46,8 y 63,7 mm respectivamente, con un coeficiente de variación de 19,3; 13,5 y 16,2% los cuales se consideran bajos al considerarse la gran variación que presenta la lluvia en las condiciones de la zona cafetera. Los valores anteriores son comparables en orden de magnitud con los obtenidos por Suárez (7) en su estudio de intensidades máximas.

Las máximas intensidades de lluvia en 5 minutos ocurrieron en El Rosario, Antioquia: 21 mm; Pueblo Bello, Cesar y El Limón, Tolima con 20 mm.

Para una duración del aguacero de 30 minutos las máximas intensidades medias ocurren en Francisco Romero, Norte de Santander con 60 mm; Pueblo Bello y El Limón con 59 mm.

Para lluvias con duración de 60 minutos las máximas intensidades registradas se presentaron en Pueblo Bello 93 mm, El Limón 82 mm y Blonay, Norte de Santander con 80 mm.

Las lluvias máximas a nivel diario presentan un valor medio de 108 mm, con valores extremos próximos a 160 mm en las Estaciones de Francisco Romero (162 mm), Dolores (161 mm) y El Limón (157 mm). Las intensidades más bajas se presentan en las Estaciones de S. Gutiérrez y J. Fernández con 67 mm. El coeficiente de variación para las lluvias máximas diarias es del 21%.

Las ecuaciones que relacionan la Intensidad Máxima de la lluvia como una función del período de retorno y la duración de la lluvia menor de 120 minutos, se presenta en la Tabla 3.

Para las treinta y seis localidades se presentan coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0,94 los cuales demuestran un alto ajuste, permitiendo un buen cálculo de la Intensidad Máxima en función del tiempo de duración de la lluvia y el período de retorno.

Los coeficientes encontrados son diferentes entre localidad y localidad, lo que está demostrando la variación de las características de la lluvia, no pudiéndose generalizar una expresión general y única para la zona cafetera, lo cual es explicable por los cambios de la lluvia originados por las diversas condiciones fisiográficas de la región.

TABLA 2. Intensidades máximas de lluvia en la zona cafetera (mm/tiempo). Período de retorno: 10 años.

| Estación | Tiempo | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|------------|-------|
| | 5 minutos | 30 minutos | 60 minutos | Día |
| Pueblo Bello | 20 | 50 | 93 | 112 |
| Francisco Romero | 16 | 60 | 64 | 162 |
| Blonay | 11 | 52 | 80 | 117 |
| Bertha | 11 | 44 | 57 | 82 |
| Yacopí | 18 | 49 | 62 | 96 |
| Mesitas de Santa Inés | 16 | 53 | 74 | 120 |
| Tibacuy | 12 | 39 | 45 | 80 |
| Llanadas | 12 | 44 | 64 | 124 |
| Agronomía | 15 | 42 | 55 | 103 |
| Santa Ana | 15 | 43 | 62 | 119 |
| Santágueda | 16 | 49 | 59 | 87 |
| Cenicafé | 14 | 41 | 59 | 115 |
| Naranjal | 16 | 47 | 68 | 94 |
| Rafael Escobar | 12 | 43 | 50 | 92 |
| El Rosario | 21 | 56 | 79 | 95 |
| Jardín | 11 | 33 | 40 | 80 |
| Villarrica | 11 | 36 | 54 | 119 |
| Dolores | 14 | 46 | 61 | 161 |
| Chapetón | 11 | 42 | 60 | 116 |
| El Limón | 20 | 59 | 82 | 157 |
| El Jazmín | 14 | 54 | 65 | 127 |
| Planta de Tratamiento | 17 | 49 | 70 | 103 |
| El Cedral | 16 | 49 | 66 | 109 |
| Gigante | 11 | 41 | 61 | 91 |
| Bremen | 18 | 48 | 60 | 114 |
| Sena | 12 | 50 | 65 | 124 |
| La Bella | 16 | 54 | 71 | 123 |
| Paraguaicito | 15 | 47 | 72 | 99 |
| S. Gutiérrez | 15 | 45 | 62 | 67 |
| A. Gómez | 12 | 42 | 58 | 88 |
| H. Uribe | 14 | 49 | 69 | 112 |
| M. Mallarino | 13 | 44 | 66 | 92 |
| J. Fernández | 13 | 46 | 63 | 67 |
| La Florida | 15 | 41 | 47 | 105 |
| M. Mejía | 18 | 48 | 69 | 115 |
| O. Pérez | 11 | 39 | 60 | 102 |
| Media (mm) | 14,5 | 46,8 | 63,7 | 107,5 |
| Desviación (mm) | 2,8 | 6,3 | 10,3 | 22,3 |
| Coefficiente de Variación (%) | 19,3 | 13,5 | 16,2 | 20,7 |

TABLA 3. Ecuaciones para cálculo de la Intensidad máxima (mm/h) como una función del Período de Retorno (T, años), y la duración de la lluvia (t, minutos).

| Estación | Ecuación | R ² |
|-----------------------|--|----------------|
| Pueblo Bello | $I = \frac{391 T^{0,182}}{(t+5)^{0,450}}$ | 0,98 |
| Francisco Romero | $I = \frac{1.682 T^{0,153}}{(t+20)^{0,813}}$ | 0,97 |
| Blonay | $I = \frac{1.904 T^{0,169}}{(t+40)^{0,791}}$ | 0,94 |
| Bertha | $I = \frac{5.073 T^{0,184}}{(t+40)^{1,068}}$ | 0,98 |
| Montelibano | $I = \frac{1.142 T^{0,147}}{(t+10)^{0,770}}$ | 0,99 |
| Mesitas de Santa Inés | $I = \frac{743 T^{0,200}}{(t+15)^{0,641}}$ | 0,99 |
| Tibacuy | $I = \frac{1.977 T^{0,147}}{(t+15)^{0,963}}$ | 0,99 |
| Llanadas | $I = \frac{3.653 T^{0,145}}{(t+40)^{0,966}}$ | 0,97 |
| Agronomía | $I = \frac{3.896 T^{0,154}}{(t+25)^{1,020}}$ | 0,99 |
| Santa Ana | $I = \frac{987 T^{0,166}}{(t+15)^{0,742}}$ | 0,99 |
| Santágueda | $I = \frac{957 T^{0,167}}{(t+20)^{0,731}}$ | 0,99 |
| Cenicafé | $I = \frac{1.092 T^{0,133}}{(t+15)^{0,755}}$ | 0,99 |
| Naranjal | $I = \frac{1.035 T^{0,184}}{(t+20)^{0,716}}$ | 0,98 |
| Rafael Escobar | $I = \frac{5.369 T^{0,128}}{(t+35)^{1,080}}$ | 0,99 |
| El Rosario | $I = \frac{3.733 T^{0,168}}{(t+15)^{1,034}}$ | 0,97 |
| Jardín | $I = \frac{3.055 T^{0,160}}{(t+30)^{1,026}}$ | 0,99 |
| Luis Bustamante | $I = \frac{3.732 T^{0,147}}{(t+35)^{1,017}}$ | 0,98 |

Continúa...

| Estación | Ecuación | R ² |
|-----------------------|--|----------------|
| La Montaña | $I = \frac{986 T^{0,179}}{(t+15)^{0,740}}$ | 0,99 |
| Chapetón | $I = \frac{2.475 T^{0,131}}{(t+35)^{0,882}}$ | 0,97 |
| El Limón | $I = \frac{1.338 T^{0,182}}{(t+15)^{0,748}}$ | 0,99 |
| Jorge Villamil | $I = \frac{3.549 T^{0,160}}{(t+45)^{0,973}}$ | 0,96 |
| El Jazmín | $I = \frac{1.288 T^{0,181}}{(t+15)^{0,798}}$ | 0,97 |
| Planta de Tratamiento | $I = \frac{1.038 T^{0,195}}{(t+20)^{0,703}}$ | 0,99 |
| El Cedral | $I = \frac{1.181 T^{0,175}}{(t+15)^{0,769}}$ | 0,99 |
| Bremen | $I = \frac{2.470 T^{0,153}}{(t+10)^{0,991}}$ | 0,97 |
| El Sena | $I = \frac{1.489 T^{0,153}}{(t+20)^{0,796}}$ | 0,98 |
| La Bella | $I = \frac{1.745 T^{0,163}}{(t+15)^{0,841}}$ | 0,99 |
| Paraguaicito | $I = \frac{1.285 T^{0,183}}{(t+25)^{0,753}}$ | 0,97 |
| S. Gutiérrez | $I = \frac{1.553 T^{0,176}}{(t+15)^{0,851}}$ | 0,99 |
| A. Gómez | $I = \frac{1.090 T^{0,181}}{(t+20)^{0,767}}$ | 0,99 |
| H. Uribe | $I = \frac{1.252 T^{0,160}}{(t+20)^{0,754}}$ | 0,99 |
| M. Mallarino | $I = \frac{286 T^{0,205}}{(t+10)^{0,446}}$ | 0,94 |
| J. Fernández | $I = \frac{2.901 T^{0,200}}{(t+25)^{0,995}}$ | 0,98 |
| La Florida | $I = \frac{2.027 T^{0,154}}{(t+15)^{0,945}}$ | 0,99 |
| M. Mejía | $I = \frac{2.135 T^{0,203}}{(t+25)^{0,884}}$ | 0,99 |
| O. Pérez | $I = \frac{621 T^{0,197}}{(t+20)^{0,648}}$ | 0,98 |

En un intento por agrupar localidades respecto a las intensidades máximas de lluvia, se realizó una agrupación estadística por medio del Análisis de Conglomerados (Figura 1), teniendo en cuenta los coeficientes a, b, c y d de las ecuaciones presentadas en la Tabla 3 y las cantidades promedio para los tiempos de

5, 30 y 60 minutos y un día. El análisis detectó siete grupos de estaciones cuya separación depende en sentido estricto de las características intrínsecas de la lluvia ya que no se dan indicios de estar relacionados por condiciones de latitud, altitud o cuenca hidrográfica.

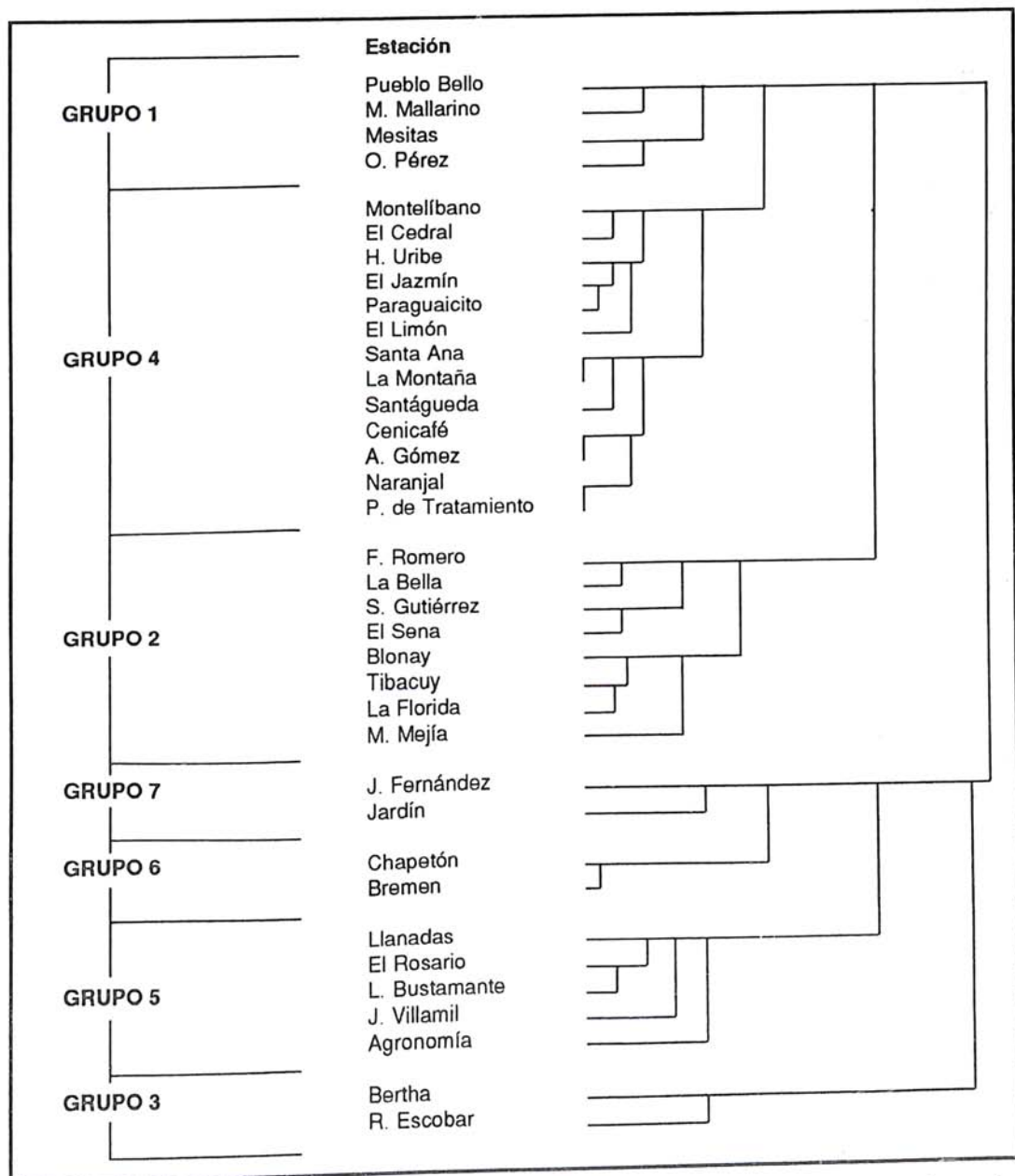


Figura 1. Agrupación de las localidades para intensidades máximas de lluvia promedio de análisis de conglomerados.

AGRADECIMIENTOS

A la Disciplina de Biometría de Cenicafé,
Dr. Bernardo Chaves Córdoba y Sr. Hernando
García.

LITERATURA CITADA

1. DENARDIN, J.L.; DE FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. Pesquisa Agropecuaria Brasileira (Brasil) 17(10):1409-1416. 1982.
2. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. Chinchiná (Colombia) Archivos de Intensidades de lluvia 1970-1984. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1984.
3. GARCES N., L. Hidrología. Sao Paulo (Brasil), Editora E. Blücher, 1974. 249 p.
4. KOGSON Q., F. Análisis de la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia en la zona cafetera colombiana. Manizales (Colombia). Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1988. 218p. (Tesis Ingeniero Agrónomo).
5. LA RÓTTA V., E. Evaluation of a deterministic hydrological model (HEC-1) in the Andean Watershed with Scarce data; The case of Chinchiná-Rioclaro (Colombia). The Netherlands, I.T.C., 1991. 137p (Anexos).
6. LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; J. PAULHUS. Hidrología para Ingenieros. Mc Graw-Hill. Bogotá (Colombia), Mc Graw-Hill, 1977. 386p.
7. SUAREZ S., J.V. Precipitaciones máximas de la zona cafetera colombiana. Cenicafé (Colombia) 26(4):172-186. 1975.
8. VAN DER WEERT, R.; LONDOÑO E. Análisis de la lluvia en la cuenca del río Otún. Pereira (Colombia), Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Pereira. 1986. 21p.
9. VEN TE CHOW. Statistical and probability analysis of hydrologic data. In: Vente Chow (Ed). Handbook of applied hydrology. New York (Estados Unidos), Mc Graw-Hill. 1964. Cap 8:1-97.