

DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA ANALIZADA MEDIANTE CONGLOMERACIÓN ESTADÍSTICA

Alvaro Jaramillo-Robledo*; Bernardo Chaves-Córdoba*

RESUMEN

JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. Cenicafé 51(2): 102-113. 2000.

Se hizo una regionalización de la distribución de la precipitación mensual en Colombia utilizando conceptos de macroclima (Zona de Confluencia Intertropical), topoclíma, considerando las principales cuencas hidrográficas y regiones naturales y empleando métodos de agrupación estadística (cluster analysis). El análisis de agrupación por el método jerárquico de Ward permitió seleccionar en el territorio nacional 26 grupos de acuerdo a la distribución de la precipitación; para cada grupo seleccionado se determinó su correspondiente patrón de comportamiento mensual con intervalos de confianza a un nivel del 95%. En Colombia se presentan comportamientos en la precipitación mensual de tipo unimodal, bimodal y en algunas regiones no se observa claramente un patrón de distribución en donde ocurran picos máximos definidos. Características de tipo unimodal se presentan en la región oriental del país, en los Llanos Orientales, en la vertiente del Amazonas y en la región Atlántica. Patrones de distribución bimodal en la región andina en las cuencas de los ríos Patía, Cauca y Magdalena para latitudes entre los 4 y 7°N. En el nudo de Los Pastos, en la cuenca alta del río Magdalena y en la llanura del Pacífico no se observan los comportamientos anteriores y ocurre poca variación en las cantidades de lluvia entre un mes y otro.

Palabras claves: Clima, lluvias, comportamiento, distribución, regiones, conglomeración estadística.

ABSTRACT

A grouping of monthly precipitation distribution was made, with concepts of macroclimate, topoclimate, considering the main river basins and natural regions, combined with cluster analysis. The Ward method of cluster analysis classified precipitation distribution of Colombia in 26 groups. Precipitation trends of each group were determined with confidence limits of 95%. In Colombia, distribution of precipitation is unimodal, bimodal, and a combination of both. In Eastern Colombia, precipitation is unimodal: in Llanos Orientales (Eastern Savannah) and the Amazon basin. In the Andean region, the Cauca and Magdalena river basins, distribution of precipitation is bimodal.

Keywords: Climate, rain, precipitation, behavior, distribution, regions, cluster analysis.

* Investigador Científico II. Agroclimatología y Biometría, respectivamente. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia

Las características de la precipitación en Colombia han sido tratadas en diversos estudios por Bernal *et al.* (2), Eslava (5), Eslava *et al.* (6), Montealegre (15), Oster (16) y Trojer (17). Estos autores manifiestan que al ingresar sobre el territorio colombiano las corrientes de aire húmedo procedentes de los océanos Atlántico, Pacífico y de la región Amazónica, generan la mayor parte de la lluvia que cae sobre el país. Los regímenes de precipitación en la región están determinados, a un nivel macroclimático, por la zona de confluencia intertropical (ZCIT), que es una franja donde se encuentran las corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los cinturones de alta presión situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur, y dan origen a grandes masas de nubes y abundantes precipitaciones; a su vez, las áreas que no están bajo la influencia de la ZCIT presentan buen tiempo, soleado y seco.

En Suramérica, la ZCIT se desplaza entre los 5° de latitud Sur al comienzo del año (enero-febrero) y los 14° Norte en los meses de julio y agosto, para moverse de nuevo hacia el sur.

La región Andina ejerce influencia sobre el comportamiento de la ZCIT por su conformación orográfica y por las circulaciones locales de valle-montaña en el día y de montaña-valle en la noche, que pueden aumentar o disminuir su acción afectando los volúmenes de lluvia caídos en las diferentes regiones.

En la dinámica de la precipitación regional también influyen los efectos de las circulaciones locales como los vientos de valle-montaña, que demuestran su presencia al reforzar la influencia de los otros procesos o sistemas meteorológicos actuantes, y determinan el período del día en el cual se presenta una mayor precipitación. También pueden estar asociadas a su producción, en las épocas en las cuales esos otros procesos o sistemas meteorológicos no son totalmente condicionantes (5).

La lluvia que cae sobre una región montañosa está conformada por una cantidad que ocurriría en la ausencia de montañas como resultado de la convección, de la convergencia ciclónica y de una componente debida a la orografía, por la intensificación de los procesos sobre las montañas, así como por la fuerza ascendente del aire sobre la superficie del terreno (1).

Las lluvias registradas en la región cafetera de Colombia, situada en zonas de vertiente de las cordilleras, aumentan con la altitud hasta un nivel máximo que varía de acuerdo con la ladera, pero en general, la máxima lluvia se presenta entre los 1300 y 1500m, y a partir de esta altitud, la cantidad de precipitación disminuye hacia la parte alta de la montaña (8, 13, 16). Las cantidades de lluvia anual en Colombia varían entre 355mm en Uribia, La Guajira (2) y 12.717mm en Lloró, Chocó (5).

Guhl (10), divide el país de acuerdo con la distribución de las lluvias en nueve regiones a saber: Guajira, llanura Caribe, cordillera Oriental (4-8° Norte), llanos orientales, montañas de Antioquia y Caldas, zona andina central y el Ecuador climático; además los valles del Cauca y alto Magdalena, altiplanicie de Popayán, montañas del sur, costa del Pacífico y la cuenca Amazónica

Oster (16), realizó un estudio de las precipitaciones en Colombia en donde hace una descripción de la fisiografía de la zona andina y de los factores del clima, y hace énfasis de la variación espacial, altitudinal y temporal; el estudio contiene un mapa de isoyetas anuales.

El análisis estadístico multivariado de componentes principales ha sido empleado en estudios climatológicos (4, 11, 14), para examinar la variación espacial y temporal. El principal objetivo de éste es explicar las relaciones entre las variables, reduciendo la dimensionalidad de la información con el objeto de identificar caracte-

rísticas recurrentes e independientes dentro de un conjunto de datos que resumen toda la información inicial.

Jackson y Weinand (12), compararon varias técnicas de conglomeración estadística para clasificación de la lluvia en diferentes regiones tropicales encontrando que los métodos de Ward, el encadenamiento promedio y de Lance-Williams producen resultados similares y aún, el método del centroide presenta resultados aceptables.

El método jerárquico de Ward se ha utilizado para agrupar la distribución del brillo solar en Colombia (3) y para caracterizar regiones climáticas en la India (9).

La presente investigación planteó la regionalización de la precipitación mensual en Colombia utilizando criterios al nivel de macroclima (ZCIT) y dividió el país latitudinalmente; se tuvo en cuenta la influencia de la fisiografía de la zona Andina en las características de la precipitación y se utilizó el método de conglomeración estadística para su delimitación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio consideró como información básica la precipitación mensual registrada en las estaciones climáticas operadas por la Federación Nacional de Cafeteros (7), y la información extractada de los estudios de precipitación en Colombia de Bernal *et al.* (2) y de Eslava *et al.* (6).

En el archivo de datos las filas u observaciones fueron equivalentes a 1003 estaciones y las columnas o variables el total promedio de precipitación mensual de cada uno de los doce meses, el total anual y la ubicación geográfica (latitud, longitud y altitud).

La agrupación inicial se realizó teniendo en cuenta criterios climatológicos, así:

El primer criterio considerado fue la **latitud**, dividiéndose el país en tres fajas:

- Regiones localizadas a menos de 3° de latitud Norte.
- Regiones entre los 3° y los 7° de latitud Norte.
- Regiones situadas en latitudes mayores de los 7° Norte.

La agrupación pretendió establecer regiones influenciadas de la (ZCIT), la cual determina la distribución macroclimática de la precipitación en Colombia según estudios previos realizados por Trojer (17), en la década del cincuenta.

El segundo criterio de agrupación fue la **fisiografía**, que corresponde a las influencias de tipo local condicionadas por la topografía de cada región y que dan lugar a circulaciones locales. Las regiones inicialmente seleccionadas fueron:

- Pacífica.
- Cuenca del río Patía.
- Cuenca del río Cauca.
- Cuenca del río Magdalena.
- Región Amazónica.
- Región del Catatumbo.
- Sierra Nevada de Santa Marta.
- Región Atlántica.
- Llanos Orientales.
- Región Cundiboyacense.
- Región del Nudo de Los Pastos.

Para cada una de las regiones establecidas previamente se efectuó el análisis de conglomeración (cluster analysis) por medio del método jerárquico de Ward.

El análisis de agrupamiento conforma grupos de acuerdo a la similitud de las observaciones o grupos, medida por la distancia

multivariada entre las observaciones o grupos. El método de agrupamiento de tipo jerárquico quiere decir que el número inicial de grupos es igual al número de observaciones, conformándose al final un solo grupo que reúne todas las observaciones. Lo anterior indica que se debe seleccionar el número de grupos considerando las medidas de distancia que ofrece la metodología y los indicadores estadísticos (14).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra el número de estaciones dentro de cada una de las regiones definidas en el análisis de conglomerados.

El análisis de agrupamiento permitió seleccionar para Colombia 26 grupos, de acuerdo con la distribución de la precipitación mensual, los cuales se pueden observar en la Figura 1. Para cada uno de los grupos determinados se trazó un patrón mensual con su correspondiente intervalo de confianza con un 95% de confiabilidad, como se aprecia en la Figura 2.

En general, en Colombia la distribución de la precipitación mensual obedece a patrones de tipo unimodal, bimodal e interacciones de los dos anteriores. Las regiones con un solo período de lluvias en el año presentan comportamientos de tipo unimodal; éstos ocurren en la región de los Llanos orientales y en la región Amazónica con máximos de lluvia en los meses de junio y julio; las regiones de influencia directa de los alisios del Norte como son las Llanuras del Caribe, La Guajira y la región del río Catatumbo presentan una distribución unimodal con un período seco definido entre diciembre y marzo, con las mayores cantidades de lluvia en los meses de octubre y noviembre.

Las distribuciones de tipo bimodal, con dos períodos, se presentan en las regiones por donde pasa la (ZCIT) en dos épocas del año; éstas áreas de influencia se presentan entre los 4° y los 7° de

latitud norte en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima y Cundinamarca, principalmente. Algunas regiones no presentan una distribución monomodal o bimodal definida, presentándose una situación de lluvias sostenidas con poca variación entre un mes y otro; esta característica se puede observar en las áreas de El Nudo de Los Pastos-Nariño-, en la cuenca alta de el río Magdalena en latitudes menores de 3° en el departamento del Huila y en la llanura Pacífica entre los 01° y 08°-30' de latitud Norte (Figura 2).

La gran variedad de regiones halladas se explica por la gran heterogeneidad de topoclimas presentes en las cordilleras Andinas y por la influencia que tienen en el país los vientos alisios procedentes del noreste (NE) y del sureste (SE) que dan origen a la (ZCIT).

La cantidad de precipitación mensual a un nivel local está determinada por los sistemas de nubosidad asociados a la circulación local de cada vertiente y a su vez, está condicionada por la altitud, la orientación de las montañas y la actividad convectiva de cada localidad.

Las regiones de mayor precipitación en Colombia se localizan en la llanura Pacífica, con valores anuales que pueden alcanzar los 12.700mm (Lloró-Chocó); cordillera Oriental, vertiente oriental (Putumayo, Caquetá y Piedemonte Llanero) con lluvias alrededor de los 5200mm/año; región del sureste de Antioquia y Oriente de Caldas (Cocorná, San Luis, Samaná) con cantidades anuales de lluvia próximas a los 6000mm. Las regiones más secas se encuentran en la península de La Guajira con lluvias anuales cercanas a los 350-400mm. Se presentan otros núcleos secos como son las regiones del nudo de Los Pastos-Nariño-, región Cundiboyacense con cantidades próximas a los 800-1000mm, y la región del alto Magdalena en el departamento del Huila, con cantidades cercanas a los 1000 mm. En general, los núcleos secos presentan valores próximos a los 1000mm de lluvia (2, 6).

TABLA 1. Distribución de la precipitación en Colombia, utilizando conglomeración estadística.

Grupo	Región	Latitud Norte°	Número de estaciones
1	Llanura Pacífica	01-00 a 08-30	32
2	Nudo de Los Pastos	menos de 03-00	23
3	Cord.Oriental. Vert.Oriental Putumayo, Caquetá	menos de 03-00	14
4	Río Patía. Nariño y Cauca	menos de 03 -00	38
5	Meseta de Popayán	02-30 a 03-00	10
6	Río Magdalena	menos de 03-00	36
7	Río Cauca	03-00 a 04-00	20
8	Cord. Central -Vert. Oriental	03-00 a 05-00	29
9	Cord. Oriental. Vert.Occidental	03-00 a 05-30	86
10	Cord. Oriental-Vert. Oriental	03-00 a 05-00	12
11	Llanos Orientales	02-00 a 07-00	26
12	Río Cauca	04-00 a 06-00	68
13	Cord. Oriental. Región Cundiboyacense	03-30 a 06-30	126
14	Cord. Oriental.Vert. Oriental	04-00 a 05-00	18
15	Cord.Oriental. Vert. Oriental	05-00 a 07-00	28
16	Cord. Oriental - Santander (Cuenca Río Suárez)	06-00 a 07-00	36
17	Cord. Oriental - Santander (Cuenca Río Chicamocha)	06-00 a 07-00	36
18	Río Magdalena	05-30 a 07-00	46
19	Río Cauca	06-30 a 07-0	67
20	Río Atrato, Región del Urabá	06-00 a 09-00	13
21	Llanura Caribe	07-00 a 11-0	122
22	Cord. Oriental. Vert.Occidental	07-00 a 09-30	15
23	Río Catatumbo	07-00 a 09-00	35
24	Cord.Oriental, Vert. Occidental	07-00 a 08-00	11
25	Suroeste de la Sierra Nevada	09-00 a 11-00	45
26	Península de La Guajira	10-30 a 12-30	11
			1003

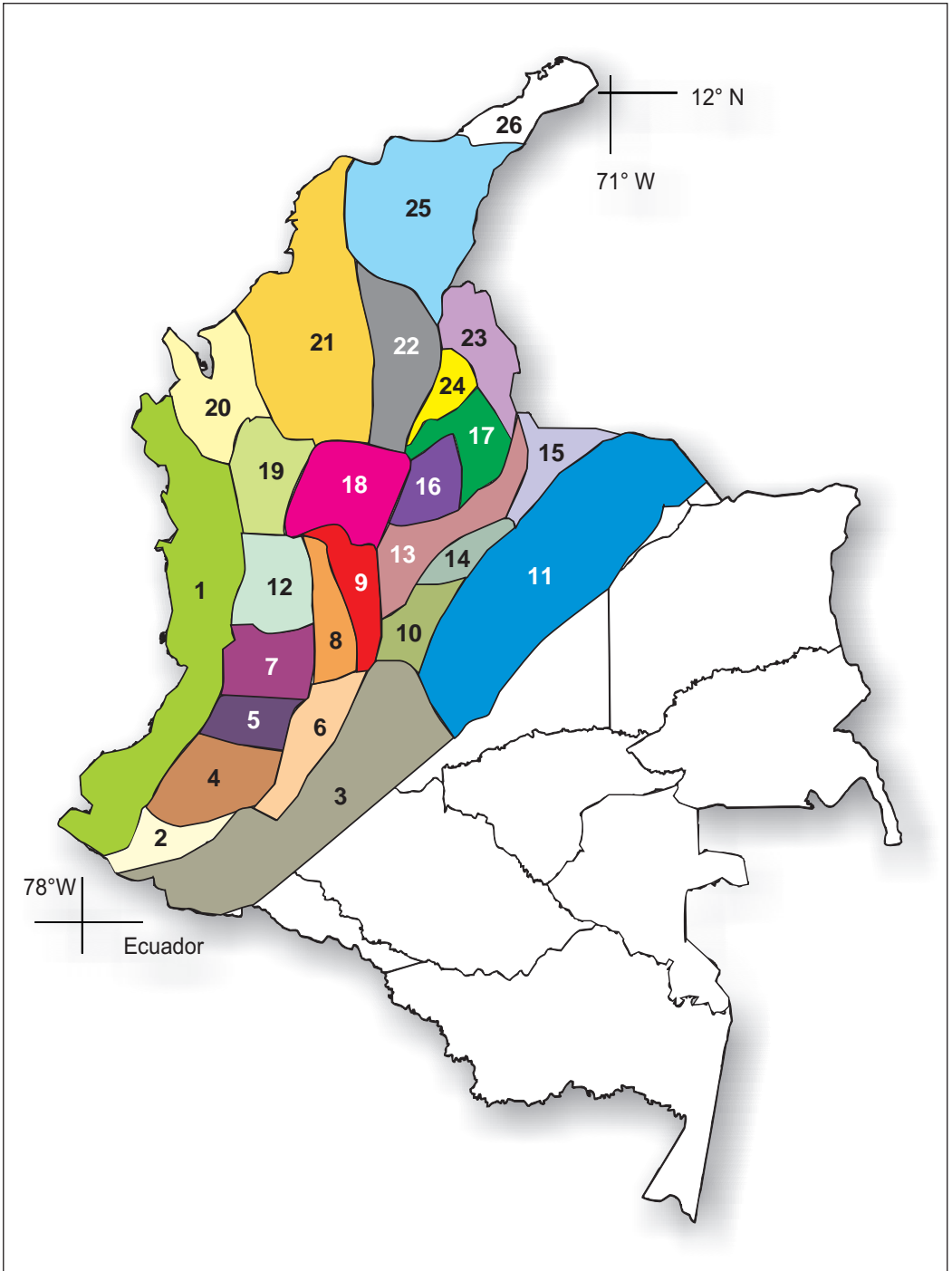


Figura 1. Distribución de la precipitación en Colombia. Agrupamiento por conglomerados.

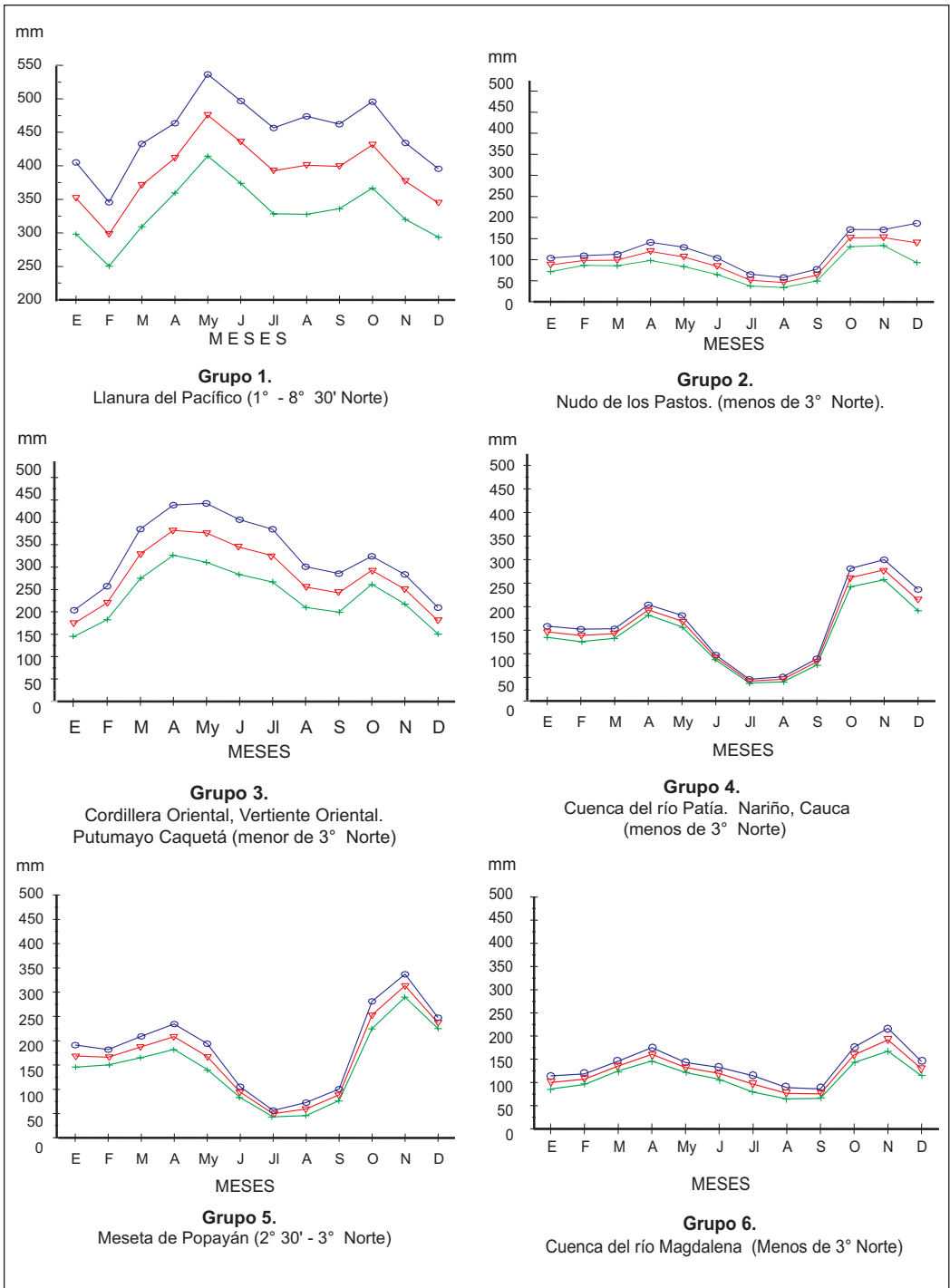


Figura 2. Distribución mensual de la lluvia en los diferentes grupos obtenidos por conglomeración estadística.

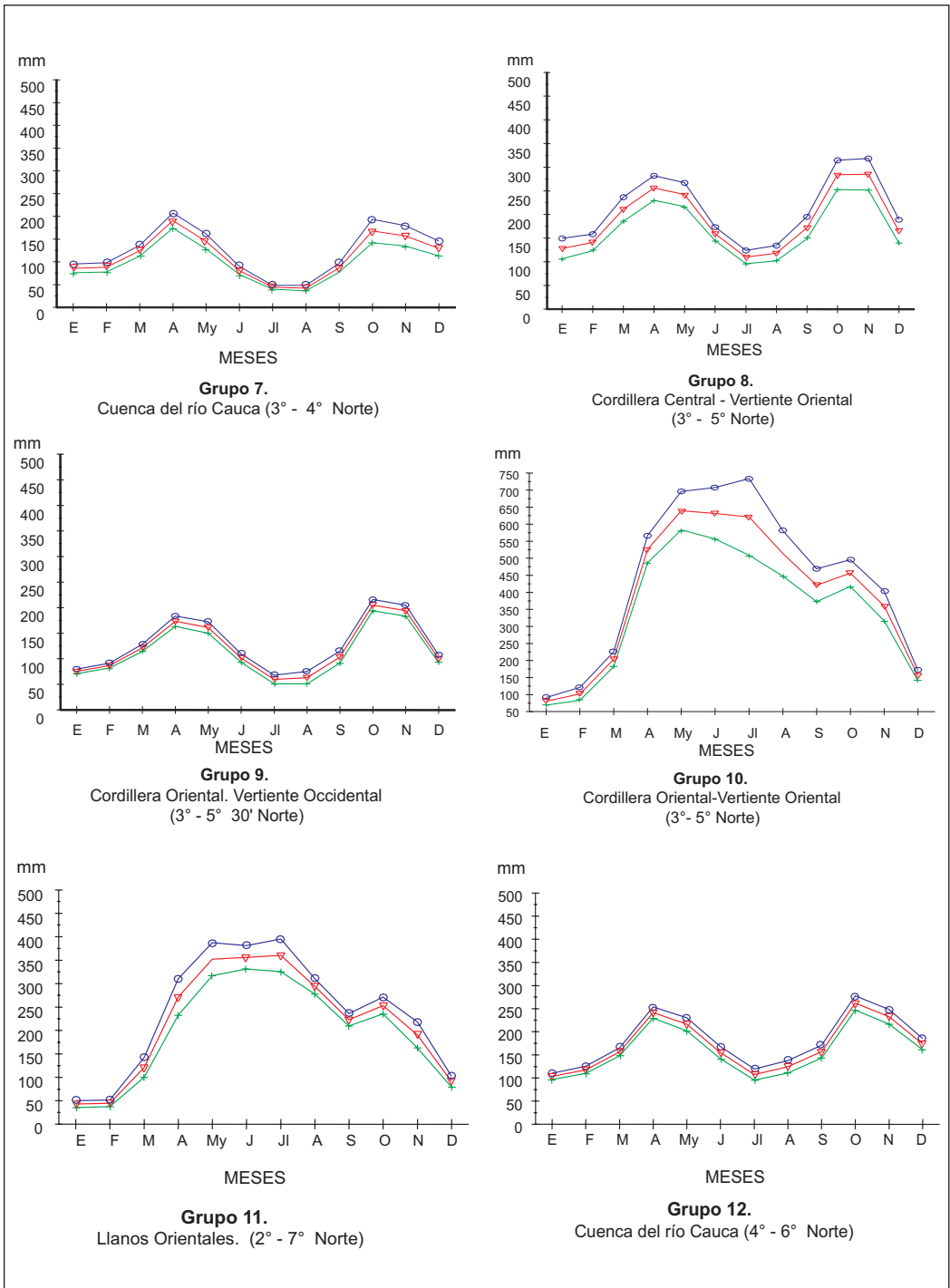


Figura 2. Distribución mensual de la lluvia en los diferentes grupos obtenidos por conglomeración estadística. (Continuación ...)

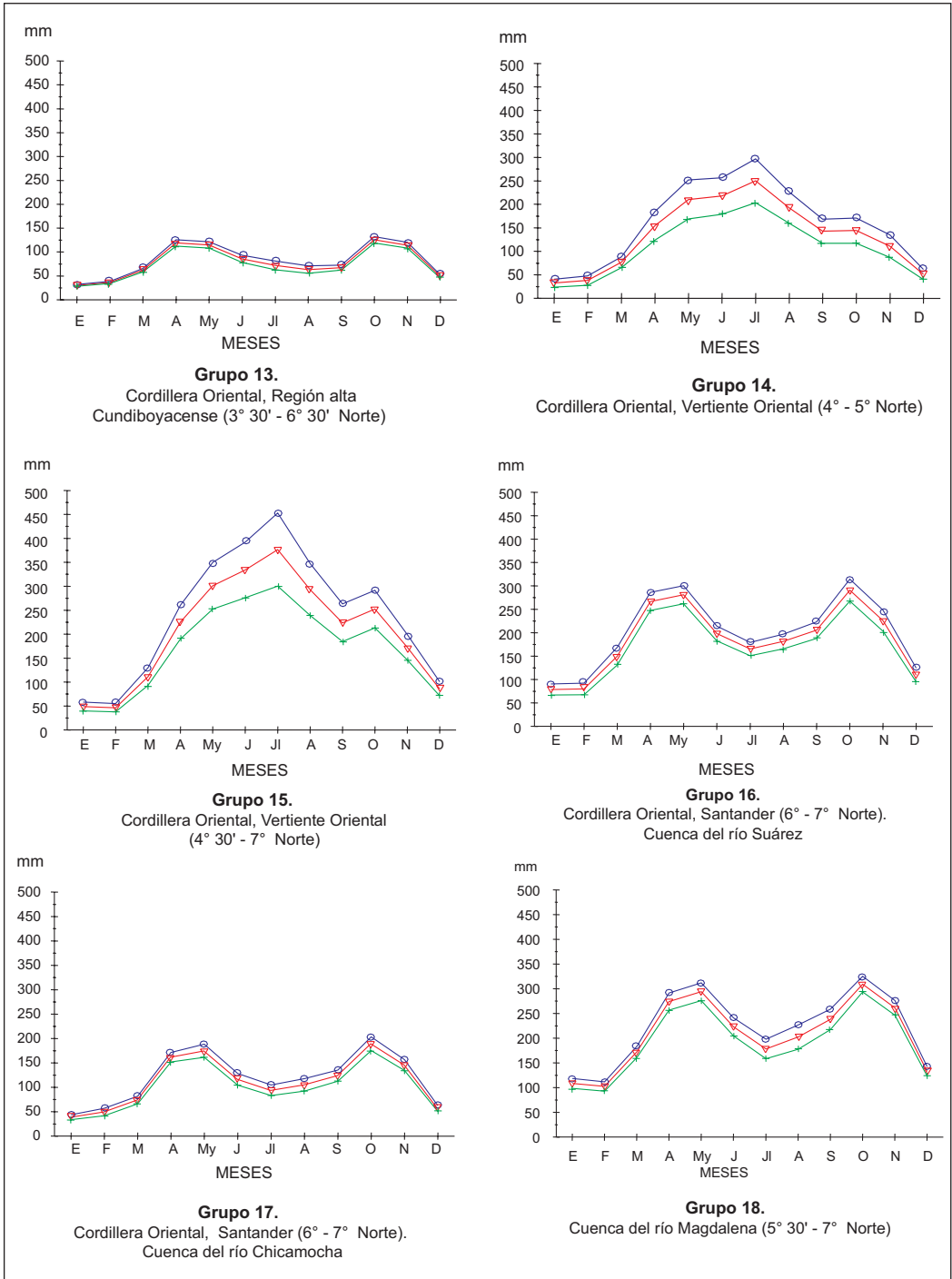


Figura 2. Distribución mensual de la lluvia en los diferentes grupos obtenidos por conglomeración estadística. (Continuación ...)

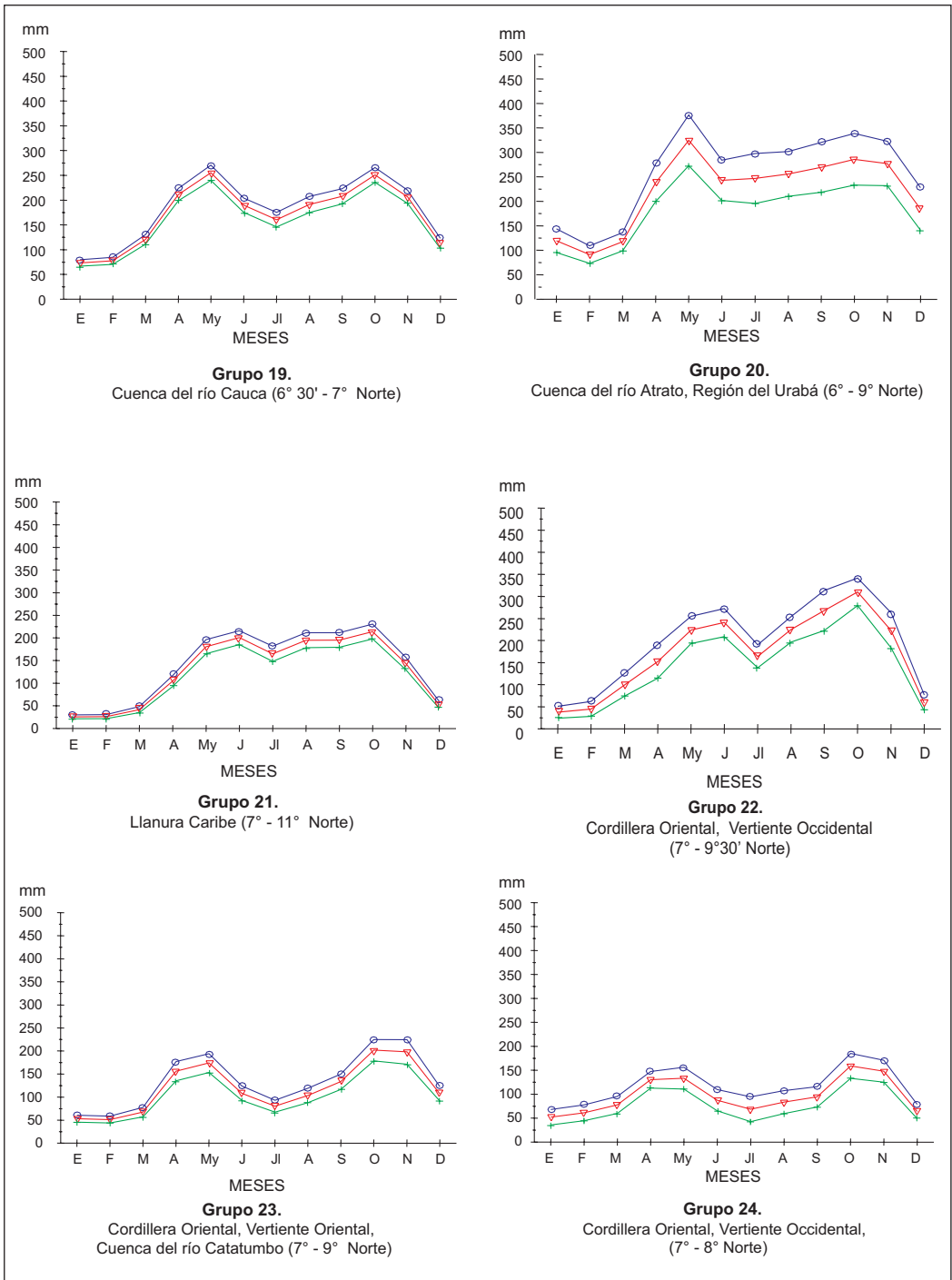


Figura 2. Distribución mensual de la lluvia en los diferentes grupos obtenidos por conglomeración estadística. (Continuación ...)

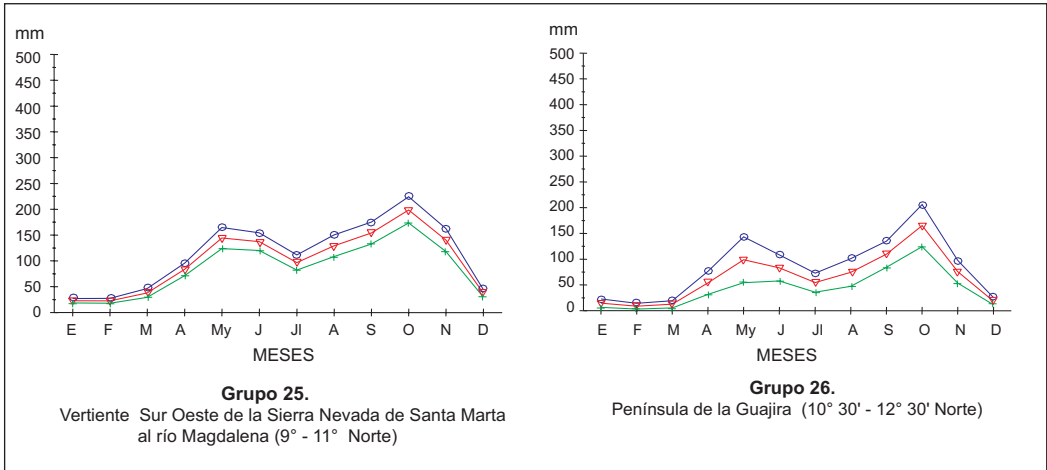


Figura 2. Distribución mensual de la lluvia en los diferentes grupos obtenidos por conglomeración estadística. (Continuación ...)

AGRADECIMIENTOS

Al señor Roberto Ospina Abril por su participación en la elaboración de figuras y mapas.

LITERATURA CITADA

- BARRY R.G. Mountain weather and climate. London, Routledge, 1992. 402p. (Routledge physical environment series).
- BERNAL G.G. ; MONTEALEGRE, J.E.; RANGEL,M.E.; SABOGAL T,N. Distribución espacial de la precipitación en Colombia. Bogotá, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras -HIMAT. 1987.21p.
- CHAVES C, B.; JARAMILLO R.A. Regionalización de la distribución del brillo solar en Colombia por métodos de conglomeración estadística. Cenicafé 48(2): 120-132. 1997.
- DYER,T., G. J. The assignment of rainfall stations into homogeneous groups: An applications principal component analysis. Quarterly Journal Royal Meteorological Society 101:1005-1013.1975
- ESLAVA R., J. A. Climatología del Pacífico colombiano. Bogotá, Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas. 1994. 79p. (Colección Eratóstenes N/ 1).
- ESLAVA R, J.A.; LOPEZ G.,V.A.; OLAYA T.,G. Contribución al conocimiento del régimen térmico y pluviométrico de Colombia. Colombia Geográfica 12 (2): 53-118. 1986.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Archivo de información climática. 1950-1993. Chinchiná, Cenicafé. 1993.
- FRERE, M.; RIJKS J.Q.; REA J. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Ginebra, OMM- FAO- UNESCO. 1978. 297p. (Nota Técnica N/ 161.OMM-506.).
- GADGIL, S.; JOSHI, N.V. Climatic clusters of the Indian region. International Journal of Climatology 3 (1): 47-63. 1983.
- GUHL, E. Colombia: Bosquejo de su geografía tropical. Tomo I. Bogotá, Instituto Colombiano de Cultura. Bogotá. 1975. 286p.
- HUTH, R.; NEMESOVA, I.; KLIMPEROVA N. Weather categorization based on the average linkage clustering technique: An application to European mid latitude. International Journal of Climatology 13 (8): 813-835.1993.
- JACKSON,I.J.; WEINANDH. Classification of tropical rainfall stations: A comparison of clustering techniques. International Journal of Climatology 15 (9): 985-994 .1995.

13. JARAMILLO R.,A. .Características climáticas de la zona cafetera colombiana. *In: Tecnología del cultivo del café*. Comité de Cafeteros de Caldas; Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná. p. 5-55. 1987.
14. MASSART, D.L; KAUFMAN L. The interpretation of analytical chemical data by use of cluster analysis. New York, John Wiley and Sons. 1983. 237p.
15. MONTEALEGRE B, J.E.. Distribución espacial de la precipitación en Colombia. *Atmósfera* 9:37-54. 1986.
16. OSTER, R. Las precipitaciones en Colombia. *Revista Geográfica* 6 (2): 5- 147. 1979.
17. TROJER, H.. Fundamentos para la zonificación meteorológica y climatológica del trópico especialmente en Colombia. *Cenicafé* 10 (8): 289-373. 1959.