

REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE UNA ZONA MONTAÑOSA TROPICAL EMPLEANDO EL ANÁLISIS MULTIVARIADO

Orlando Guzmán-Martínez*; José Vicente Baldión-Rincón*

RESUMEN

GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. Regionalización climática de una zona montañosa tropical empleando el análisis multivariado. *Cenicafé* 48(4): 260-274. 1997.

Para la agrupación de las diferentes zonas climáticas del departamento del Quindío y parte del departamento de Risaralda se ha hecho uso de tres técnicas estadísticas multivariadas: el análisis de componentes principales (ACP), la clasificación jerárquica ascendente y el análisis factorial discriminante. Se dispuso de treinta estaciones meteorológicas distribuidas en toda la región de estudio y se consideraron siete variables medidas anualmente como descriptores climáticos, además de la altitud. El ACP redujo las ocho variables a solamente dos factores de importancia (factor altitérmico y factor hídrico), los cuales explican el 93% de la variación original y permiten dar cuenta de la variación espacial del clima del área estudiada. Con la ayuda de los otros dos análisis se identificaron cuatro zonas con características similares de clima y ello es consistente con lo que se observa en el campo. La clasificación obtenida se comparó con las divisiones originadas en el estudio de ecotopos cafeteros y se aprecia que en general, hay buena correspondencia.

Palabras claves: Regionalización climática, análisis multivariado, Colombia, zona cafetera.

ABSTRACT

In order to group the stations of the Quindío province and a part of the Risaralda province into homogenous climatic regions, three multivariate statistical techniques were used: principal component analysis (PCA), hierarchical classification, and the factorial discriminant analysis. Thirty meteorological stations were considered and seven variables were chosen as climatic descriptors apart from the altitude factor. The PCA showed two major factors (altitude-temperature factor and rainfall factor), which account for 93% of the original matrix variation, as being the main factors causing spatial variation of the climate in the region studied. Using the other two analyses, four zones with similar climatic characteristics were identified. This classification was compared to the divisions made by a study of homogenous coffee regions, and relative good agreement was found.

Keywords: Climatic regionalization, multivariate analysis, Colombia, coffee zone.

* Investigador Científico I y Asistente de Investigación. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La clasificación de regiones según las características del clima, ha sido un tema de interés desde tiempo atrás; varios autores han tratado de agruparlas con base en algunos elementos, tales como la lluvia y la temperatura, principalmente. Estos elementos se analizan en forma individual y se combinan de acuerdo con criterios establecidos para luego proceder a la separación de las diferentes áreas que reúnen características comunes. Entre las clasificaciones más conocidas se cuentan la de Köppen citado por Nieuwolt (12), Thornthwaite (16), Flohn citado por Ayoade (3), Budyko y Strahler citados por Ayoade (3). Las dos primeras tienen un enfoque empírico fundamentado en variables climáticas, en tanto que las tres restantes son de carácter genético, es decir, toman en cuenta los factores que controlan los elementos del clima. Debido a su naturaleza global, estos esquemas tienen limitaciones para caracterizar el clima de una región específica en detalle.

Con la creación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1950, el fortalecimiento de los servicios meteorológicos nacionales en diferentes partes del mundo y el establecimiento de redes climáticas operadas por entidades particulares, se ha aumentado considerablemente la información disponible para mejorar el conocimiento del clima a escala regional. De otro lado, el acceso a los computadores y la disponibilidad de paquetes estadísticos adecuados para realizar los cálculos matemáticos, ha facilitado el análisis de grandes volúmenes de información procedente de la medida de numerosas variables. Recientemente algunos investigadores han empleado técnicas de análisis multivariado para adelantar clasificaciones climáticas o separar áreas según el comportamiento de un elemento dado. Este tipo de análisis permite tomar simultáneamente un gran número de variables, establecer la relación entre las mismas, reducir su número mediante la identificación de las más relevantes y a la vez, poner en evidencia los agrupa-

mientos que se pueden realizar (1, 2, 6, 13, 14, 15).

El agrupamiento de áreas con atributos de clima similares, aparte de la metodología usada, es la base para estudios ecológicos de especies de plantas, introducción de cultivos, evaluación de la disponibilidad climática, y la reducción de la complejidad de la interacción genotipo - ambiente, entre otros.

En el presente trabajo se ha explorado el uso de tres técnicas de análisis multivariado: el análisis de componentes principales, la clasificación jerárquica ascendente y el análisis factorial discriminante, para clasificar el clima del departamento del Quindío y una parte del departamento de Risaralda, tomando como base el estudio climático pertinente que se efectuó anteriormente (7).

MATERIALES Y MÉTODOS

Región estudiada. Comprende el departamento de Quindío y parte del departamento de Risaralda en la vertiente occidental de la cordillera central, entre los 04° 20' y 05° 00' de latitud norte y los 75° 30' y 75° 55' de longitud oeste; en altitudes entre 900 y 2.200 m.s.n.m., aproximadamente. La parte occidental baja del área se caracteriza por poseer un relieve plano en el valle del río Risaralda y ondulado en el valle del río Quindío; la parte alta, situada al oriente, es quebrada en razón a que corresponde a estribaciones de la cordillera central. Esta cordillera presenta elevaciones notables entre 3.000 y 5.000 msnm (Páramos de Barragán, Calarcá, Cumbarco, Chili; Nevados del Quindío y Santa Isabel) lo cual favorece el desarrollo de importantes circulaciones locales (vallemontaña; montaña-valle) las cuales tienen gran influencia en el clima regional, sobre todo en los volúmenes de lluvia recibidos. A escala macroclimática, el régimen pluviométrico del

área está regido por el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT). La presencia de ésta genera condiciones de mal tiempo (frecuente nubosidad y precipitación) particularmente en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre cuando se ubica hacia el centro del país y ocasiona las dos temporadas lluviosas del año. De diciembre a febrero se sitúa en los 5° de latitud sur y determina la primera época seca del año, mientras que en julio y agosto se desplaza a los 8° de latitud norte y produce el segundo período seco.

Estaciones meteorológicas y tipo de información. La mayor parte de las estaciones se localiza en diferentes altitudes, lo cual permite muestrear y conocer relativamente bien el comportamiento de los elementos del clima a través de toda la región y por tanto, se considera que se obtiene un cubrimiento meteorológico aceptable. Se contó con 30 estaciones distribuidas en todo el territorio aunque con menor concentración hacia la parte alta. La información de 20 estaciones provino de la red meteorológica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (4) y la de las 10 restantes se tomó del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). Su ubicación y características geográficas principales aparecen en la Figura 1 y en la Tabla 1, respectivamente. Las estaciones Naranjal y Arturo Gómez están por fuera de la región y se tomaron como referencia. Se seleccionaron 8 variables para cada sitio, las cuales se relacionan con la Tabla 2.

Los registros de lluvia y brillo solar corresponden a los promedios totales de la serie anual histórica mientras que los de la humedad relativa y la temperatura del aire son los valores promedios anuales. Las variables excesos y deficiencias de agua se derivaron del balance hídrico. En este último se considera que hay excesos cuando la lluvia es mayor a la evapotranspiración potencial (ETP) y el suelo está en el estado de capacidad de campo, y

deficiencias si la evapotranspiración real es menor que la ETP (10). La altitud se incluyó en consideración a que esta variable no climática juega un papel importante sobre el clima en las regiones montañosas.

Análisis de la información. Se usó el análisis de componentes principales, la clasificación jerárquica ascendente y el análisis factorial discriminante, técnicas que están contenidas en el paquete estadístico NDMS (11).

El análisis de componentes principales permite estudiar las relaciones entre variables cuantitativas, reduciendo su número a través de la síntesis de otras nuevas que no están correlacionadas entre sí. Ello permite identificar las posibles agrupaciones y las variables que en mayor grado explican la variación original (8). La clasificación jerárquica ascendente basada en la distancia euclidiana entre pares de observaciones de carácter cuantitativo o cualitativo facilita la conformación de grupos mediante su representación en un gráfico denominado dendrograma. El análisis factorial discriminante aplicado a variables cuantitativas se emplea para la verificación de los grupos determinados con las dos técnicas anteriores, identificando las variables que no están bien clasificadas (9).

La regionalización obtenida con el análisis multivariado se comparó con la del estudio de Ecotopos Cafeteros (5) mediante la superposición de los mapas correspondientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer resultado del programa de componentes principales muestra la matriz de correlación de las 8 variables seleccionadas para el análisis (Tabla 3). De allí se aprecia que existe una estrecha asociación entre la mayoría de las variables climáticas y de éstas a su vez,

TABLA 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de regionalización climática de una zona montañosa tropical.

Estación	Departamento	Municipio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)	Cuenca N° Hidrográfica	
1	Naranjal	Caldas	Chinchiná	04°59'	75° 39'	1400	Campoalegre
2	El Recuerdo*	Risaralda	Marsella	04°57'	75° 45'	1590	Cauca
3	El Jazmín	Risaralda	Santa Rosa	04°55'	75° 38'	1600	Campoalegre
4	El Guayabito	Risaralda	Santa Rosa	04°54'	75° 38'	1620	San Eugenio
5	Potrerros*	Risaralda	Santa Rosa	04°54'	75° 33'	2140	Campoalegre
6	Veracruz*	Risaralda	Santa Rosa	04°52'	75° 38'	1684	San Eugenio
7	Termales*	Risaralda	Santa Rosa	04°51'	75° 33'	2060	San Eugenio
8	Ing. Risaralda	Risaralda	Balboa	04°55'	75° 54'	900	Risaralda
9	La Bohemia*	Risaralda	Pereira	04°53'	75° 53'	1020	Cauca
10	La Virginia*	Risaralda	La Virginia	04°54'	75° 53'	950	Cauca
11	Dosquebradas	Risaralda	Dosquebradas	04°52'	75° 38'	1400	Otún
12	La Rosa	Risaralda	Dosquebradas	04°50'	75° 41'	1440	Otún
13	Apto. Matecaña*	Risaralda	Pereira	04°49'	75° 44'	1342	Otún
14	Belmonte	Risaralda	Pereira	04°48'	75° 46'	1340	Otún
15	Pta. Tratamiento	Risaralda	Pereira	04°48'	75° 40'	1450	Otún
16	Los Cábulos	Risaralda	Pereira	04°49'	75° 50'	1240	Cauca
17	La Joya	Risaralda	Pereira	04°46'	75° 47'	1250	Consota
18	El Cedral	Risaralda	Pereira	04°42'	75° 32'	2120	Otún
19	Arturo Gómez	Valle	Alcalá	04°40'	75° 47'	1320	La Vieja
20	Bremen	Quindío	Circasia	04°40'	75° 37'	2040	Barbas
21	Vivero	Quindío	Quimbaya	04°37'	75° 46'	1400	La Vieja
22	Maracay	Quindío	Quimbaya	04°36'	75° 46'	1450	La Vieja
23	Salento*	Quindío	Salento	04°38'	75° 34'	1895	Quindío
24	El Sena	Quindío	Armenia	04°34'	75° 39'	1550	Quindío
25	La Bella	Quindío	Calarcá	04°30'	75° 40'	1450	Quindío
26	Pueblo Tapado	Quindío	Montenegro	04°34'	75° 47'	1250	La Vieja
27	Apto. El Edén*	Quindío	Armenia	04°27'	75° 46'	1204	La Vieja
28	La Argentina	Quindío	La Tebaida	04°26'	75° 46'	1200	La Vieja
29	Paraguacito	Quindío	Buenavista	04°23'	75° 44'	1250	Rioverde
30	Pijao *	Quindío	Pijao	04°20'	75° 42'	1625	Riolejos

* Estaciones operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT.

TABLA 2. Características de las subestaciones seleccionadas para el estudio de regionalización de una zona montañosa tropical utilizando el análisis multivariado. Cenicafé.

Estación	Altitud (mm)	Lluvia total diaria (mm)	Lluvia solar (horas)	Brillo (%)	H° Relativa (°C)	T° Media (mm)	Exceso (mm)	Déficit (m)
Naranjal	1400	2665	737	1755	78	20,7	607	3
El Recuerdo	1590	2866	1180	1656	83	18,9	978	0
El Jazmín	1600	2667	1059	1651	82	18,9	911	0
El Guayabito	1620	2503	1220	1624	82	18,6	677	0
Potreros	2140	2218	1940	1075	87	14,3	607	23
Veracruz	1684	2679	1310	1557	82	18,1	851	0
Termales	2060	3129	1820	1160	86	15,0	1365	5
Ing. Risaralda	900	1668	464	2205	75	23,5	0	542
La Bohemia	1020	1878	429	2226	76	23,5	0	363
La Virginia	950	1820	356	2279	75	23,8	0	505
Dosquebradas	1400	2698	1213	1857	79	19,4	723	0
La Rosa	1440	2571	1212	1839	80	20,1	723	0
Apto. Matecaña	1342	2170	540	2139	79	21,9	180	102
Belmonte	1340	1933	830	1920	79	21,0	96	126
Pta. Tratamiento	1450	2904	1319	1804	80	20,1	927	0
Los Cábulos	1240	1878	680	2026	78	21,0	23	400
La Joya	1250	1938	696	1972	79	22,1	117	193
El Cedral	2120	2603	2147	1047	88	15,1	942	33
Arturo Gómez	1320	1879	864	1972	75	21,2	108	146
Bremen	2040	2817	1785	1072	86	15,0	1108	8
El Vivero	1400	2178	1060	1742	79	20,5	362	67
Maracay	1450	2545	1167	1800	81	20,4	713	63
Salento	1895	2265	1740	1224	85	16,2	644	27
El Sena	1550	2376	1383	1472	78	19,0	650	79
La Bella	1450	2257	1221	1454	82	20,2	603	110
Pueblo Tapado	1250	2073	850	1898	79	21,8	255	163
Aepto. El Edén	1204	2035	850	1898	81	22,1	227	187
La Argentina	1200	1952	790	1947	77	22,2	157	1
Paraguaicito	1250	2205	1182	1862	77	21,7	379	275
Pijao	1625	2341	1380	1506	82	18,6	628	92

TABLA 3. Matriz de correlación entre las diferentes variables utilizadas en el estudio de regionalización climática de una zona montañosa. Cenicafé.

Variables	Altitud (m)	Lluvia total (mm)	Lluvia diurna (mm)	T° Media (°C)	Brillo solar (horas)	Humedad relativa (%)	Excesos (mm)	Déficit (mm)
Déficit	-0,7450	-0,7993	-0,6793	0,6975	0,6678	-0,6675	-0,7859	1,0000
Excesos	0,7947	0,9590	0,8010	-0,8034	-0,7789	0,7607	1,0000	
H. Relativa	0,9304	0,6279	0,8729	-0,9104	-0,9020	1,0000		
B. Solar	-0,9577	-0,6137	-0,9502	0,9561	1,0000			
T. Media	-0,9859	-0,6675	-0,9422	1,0000				
LLuvia diurna	0,9404	0,6520	1,0000					
Lluvia total	0,6626	1,0000						
Altitud	1,0000							

con la altitud. Los coeficientes de correlación más altos y estadísticamente significativos ($>0,9$) corresponden a la variable no climática altitud, con respecto a la temperatura, brillo solar, humedad relativa y lluvia diurna; negativos en los dos primeros casos y positivos en los dos últimos, lo cual es consistente con lo encontrado en un estudio previo para esta región (7). Igualmente se destacan las relaciones lluvia diurna vs temperatura y brillo solar; brillo solar vs temperatura y humedad relativa vs temperatura, cuyos coeficientes están alrededor de 0,9 y son igualmente significativos. Lo anterior confirma la influencia que la altitud tiene en la variación de los elementos climáticos en áreas de topografía quebrada.

En la Tabla 4 se presentan los coeficientes de correlación de las diferentes variables con los 4 primeros componentes principales, los cuales en su conjunto explican un 98,3% de la variación total. Se observa, sin embargo, que los dos primeros son los más importantes y en consecuencia partiendo de ellos se hace la agrupación de las estaciones más adelante.

El primer componente principal explica el 83,1% de la variación que está significativamente correlacionada en forma negativa con

las variables altitud, lluvia total, lluvia diurna, humedad relativa y los sobrantes de agua y, positivamente, con la temperatura, el déficit de agua y el brillo solar.

El segundo componente principal contribuye con un 10,2% de la varianza total y muestra la mejor asociación con las variables de lluvia total y deficiencia de agua, aunque con coeficientes bajos.

Los dos componentes principales mencionados determinan un área sobre la cual se pueden situar los 30 sitios estudiados (Figura 2). Sobre el eje horizontal se ve cómo las estaciones se disponen en atención al factor altitérmico principalmente, de manera que los sitios más altos y de menor temperatura se ubican a la izquierda, y aquellos más bajos y calientes en la parte opuesta, a la derecha. En el eje vertical la organización se visualiza de acuerdo con el factor hídrico, de tal forma que las estaciones más lluviosas se localizan en la parte superior y las de menor lluvia en la inferior.

En la Figura 2 se insinúan grupos de estaciones con características similares. Estos se pueden definir con los resultados de la clasifi-

TABLA 4. Coeficientes de correlación de las variables con los cuatro primeros componentes principales del estudio de regionalización climática.

Variables	Componente Principal			
	1	2	3	4
Altitud	-0,9677	-0,2057	0,0727	-0,0044
Lluvia total	-0,8114	0,5542	-0,1690	-0,0267
Lluvia diurna	-0,9436	-0,2110	-0,0570	0,1770
T. Media	0,9608	0,2151	0,0189	-0,0365
Brillo Solar	0,9430	0,2708	-0,0228	-0,0856
H. Relativa	-0,9203	-0,2247	0,0046	-0,3103
Excesos	-0,9122	0,3394	-0,2148	0,0073
Déficit	0,8213	-0,3744	-0,4284	-0,0269
Varianza explicada (%)	83,1	10,2	3,3	1,7

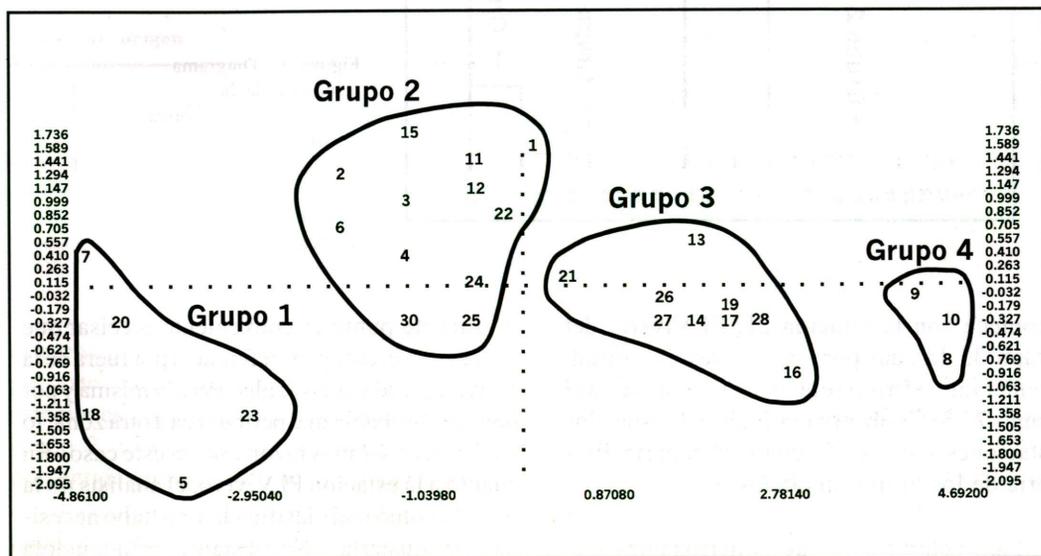


Figura 2. Representación de las estaciones en los ejes horizontal y vertical.

cación jerárquica ascendente que se ilustran en el dendrograma de la Figura 3. Con base en lo anterior es posible organizar los diferentes lugares en cuanto a grupos principales, como se separan en la Figura 2.

Examinando los individuos integrantes (estaciones) de las agrupaciones antes menciona-

das, existe una consistencia muy notable. Los grupos 1 y 4 con atributos bien contrastantes no admiten ninguna discusión. Sin embargo, en el grupo 2 se observa que la estación 1 correspondiente a Naranjal con características de altitud de 1.400 m, lluvia diurna equivalente al 28% del total y temperatura media de 20,7° C, podría pertenecer al grupo adyacente 3. Otro tanto

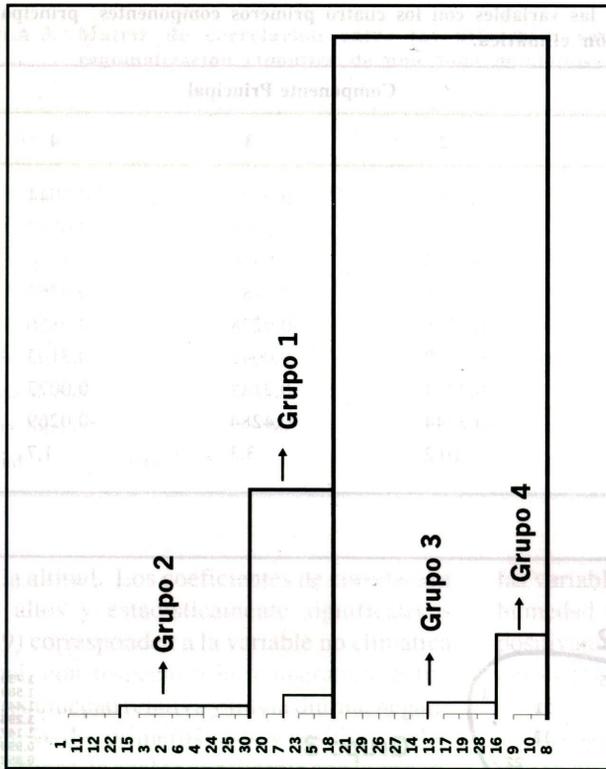


Figura 3. Diagrama resultante de la clasificación jerárquica ascendente.

acontece con la estación 21, El Vivero, del grupo 3, la cual por sus valores de altitud, temperatura y brillo solar podría incluirse en el grupo 2. Si se observa la Figura 2, estas dos estaciones aparecen flotando en la parte divisoria de los grupos anotados.

Para aclarar estos dos interrogantes que surgen se utilizó el análisis factorial discriminante, cuyos resultados se resumen en las Tablas 5 y 6.

En el primer caso, cuando se retiene la variable altitud (Tabla 5) se aprecia que los individuos del grupo 2 están bien clasificados en un 91,7 % mientras que los otros no registran variación alguna. La estación identificada para cambiar es Naranjal, sobre la cual ya existía duda y se propone ubicarla en el grupo

3. En este punto es conveniente precisar que ésta es una estación de referencia por fuera de la zona analizada, aunque aledaña a la misma y por tanto, es probable que pertenezca a otra zona, lo cual parece ser más razonable en este caso. En cuanto a la estación El Vivero, el análisis no la detectó como mal clasificada y no hubo necesidad de ajustarla. No obstante, estudiándola más detenidamente cabe la posibilidad de unirla al grupo 2 en consideración a su altitud y los registros de temperatura y brillo solar. Además hay que anotar que esta estación junto con la de Maracay (ubicada en el grupo 2) se encuentran en una parte más alta, lo cual las diferencia de otras estaciones cercanas.

En el segundo caso el análisis considera las variables altitud y excesos (Tabla 6) para verificar la clasificación de las estaciones en los

TABLA 5. Clasificación de las estaciones meteorológicas cuando se conserva la variable altitud.

Grupo de origen	Grupo afectado				% bien clasificado
	1	2	3	4	
1	5	0	0	0	100
2	0	11*	1	0	91,7
3	0	0	10	0	100
4	0	0	0	3	100

* Estación afectada: 1 (Naranjal)

TABLA 6. Clasificación de las estaciones meteorológicas cuando se retienen las variables altitud y excesos.

Grupo de origen	Grupo afectado				% bien clasificado
	1	2	3	4	
1	4*	1	0	0	80,0
2	0	12	0	0	100
3	0	1	9**	0	90,9
4	0	0	0	3	100

* Estación afectada: 7 (Termales)

** Estación afectada: 29 (Paraguaicito)

diferentes grupos antes señalados. Sin embargo, este planteamiento implicaría pasar las estaciones 7 y 29 (Termales y Paraguaicito) al grupo 2, lo cual ya de una parte reduce el porcentaje global de elementos bien clasificados y de la otra, no es conveniente desde el punto de vista geográfico.

Reuniendo todo lo anterior, el área estudiada quedó dividida en cuatro zonas como se aprecia en la Figura 4. Los valores medios de las diferentes variables se presentan en la Tabla 7.

Características de las zonas estudiadas.

Zona I. Compuesta por las estaciones de la parte alta de la región entre 1.750 y 2.200 m de altitud aproximadamente, caracterizada por llu-

vias abundantes (superiores a los 2.600 mm) y pequeños déficit de agua, así como por temperaturas relativamente bajas (cercanas a 15° C) y el menor brillo solar de toda el área (alrededor de 1.115 horas). Igualmente comparten la característica de poseer un régimen pluviométrico predominantemente diurno, en el cual la lluvia caída corresponde a un 70% del total. La alta precipitación unida a temperaturas bajas conduce a condiciones de alta humedad relativa que en promedio alcanza un 86%.

Zona II. Integrada por estaciones que se hallan en una franja altimétrica de unos 1.400 a 1.700 m, con precipitaciones anuales alrededor de los 2.500 mm y algunos faltantes de agua, aunque no muy pronunciados, hacia la región del Quindío. La lluvia está repartida aproximadamente en partes iguales durante el día y la

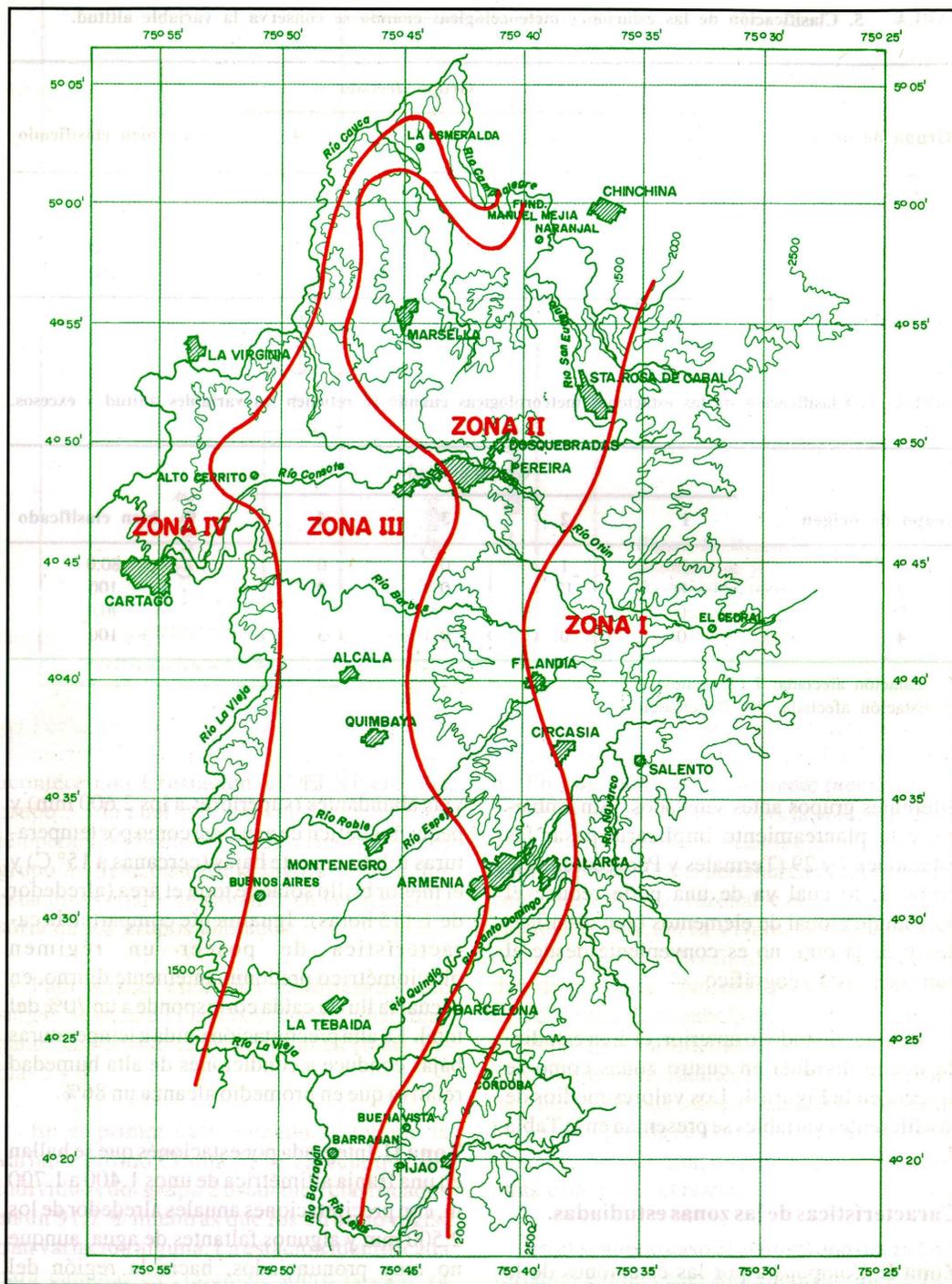


Figura 4. Delimitación de las zonas climáticas de acuerdo con el análisis multivariado.

TABLA 7. Variables en las diferentes zonas delimitadas en el estudio de regionalización climática de una zona montañosa mediante análisis multivariado. Cenicafé.

	Altitud (m)	Lluvia total (mm)	Lluvia diurna (mm)	T° media (°C)	Brillo solar (horas)	H° relativa (%)	Excesos (mm)	Deficiencias (mm)
ZONA I								
Media	2069	2606	1886	15,1	1115	86	933	
Desviación típica	62,5	382,4	163,5	0,68	74,6	1,1	319	12,2
ZONA II								
Media	1533	2582	1242	19,4	1656	81	762	31
Desviación típica	96,9	207	97,5	0,78	149,8	1,6	131,3	44,7
ZONA III								
Media	1285	2024	834	21,6	1938	78	190	193
Desviación típica	61,6	126,3	184	0,58	104,5	1,6	115,9	98,6
ZONA IV								
Media	900	1789	416	23,6	2237	75	0	470
Desviación típica	0	108,4	55,1	0,17	38,1	0,58	0	94,5

noche, en tanto que la temperatura puede fluctuar entre unos 18° y 20° C; el brillo solar es en promedio de 1.700 horas anuales y la humedad relativa del 81 %.

ZONA III. En ella se incluyen las estaciones que se ubican entre 1.200 y 1.350 m de altitud con una precipitación próxima a los 2.000 mm, de los cuales cerca del 40% caen durante el día. Las deficiencias de agua en esta zona empiezan a ser importantes. La temperatura varía de 21° a 22°C, el brillo solar anual totaliza unas 1.900 horas y los valores de humedad relativa están alrededor del 78%.

ZONA IV. Está conformada por las estaciones localizadas en la parte más baja influenciada por el valle del río Cauca y con características en claro contraste con aquellas de la zona I. La lluvia a pesar de que está próxima a los 1.800 mm al año, no alcanza a satisfacer la demanda

ambiental y las deficiencias de agua son el factor más sobresaliente en el área. Del total anual solo un 20% aproximadamente cae en el día, lo cual reduce las pérdidas por evaporación e indirectamente puede favorecer una mayor disponibilidad de agua. La temperatura es así mismo la más alta de la región estudiada, alrededor de los 23,5°C, y el brillo solar anual está por encima de las 2.000 horas. Estos dos elementos en conjunto con un régimen pluviométrico menor, permite una reducción de la humedad relativa que en promedio llega al 75%.

Los análisis empleados redujeron las 8 variables a solamente dos, las cuales explican el 93% de la varianza de la matriz original. Estos dos componentes muestran claramente la variación espacial del clima en la región estudiada y están compuestos por el factor altimétrico en el primer caso y el factor hídrico en el segundo.

Las cuatro zonas climáticas principales se delimitaron bien y son consistentes con lo que se observa en el campo. En este caso específico, debido a que la altitud registró una asociación muy estrecha con la mayoría de las variables climáticas escogidas, la separación de las diferentes zonas se facilitó en forma notable. Se debe anotar que la clasificación resultante es general y está basada en los valores anuales de las variables y no se hizo ningún intento para relacionar estos últimos con los sistemas atmosféricos de gran escala (vientos alisios, ZCIT, etc.) y por tanto, es posible obtener más subdivisiones climáticas modificando el nivel de las variables (diario, mensual) y adicionando otras en el análisis.

En las Figuras 4 y 5 se presentan las divisiones obtenidas en el presente trabajo y aquellas originadas del estudio de Ecotopos Cafeteros para la región en cuestión (5). Se observa que hay una concordancia en las partes extremas, o sea, las zonas I y IV mientras que las zonas II y III prácticamente aparecen reunidas en una sola.

La diferencia radica principalmente en las variables utilizadas en cada caso. Es así como en los Ecotopos se incluyó, aparte del elemento clima (temperatura, lluvia total y su distribución temporal), el factor de los suelos lo cual conduce a subdivisiones adicionales especialmente en el sentido transversal. Además, en el estudio anotado se tomó la zona cafetera entre 1.200 y 1.800 msnm aproximadamente. Se destaca de esta comparación que desde el punto de vista climático solamente, los diferentes Ecotopos admitirían otras subdivisiones, principalmente en sentido vertical. Lo anterior sugiere que las técnicas empleadas en este trabajo pueden llegar a ser de utilidad para caracterizar posteriormente y con más detalle los Ecotopos Cafeteros.

La bondad de la metodología usada se debe apreciar mejor cuando se analicen regiones con

mayor número de puestos de observación y las variables climáticas seleccionadas y de otro orden sean más numerosas.

En general, se encontró que los tres tipos de análisis utilizados (componentes principales, clasificación jerárquica ascendente y factorial discriminante) se complementaron satisfactoriamente para dar agrupaciones coherentes y pueden ser una herramienta valiosa en los trabajos de regionalización climática, especialmente cuando se trate de regiones con un considerable número de estaciones y de variables que pueden llegar a originar una complejidad mayor.

Se identificó que la variación espacial del clima en la región está controlada por los dos primeros componentes principales que corresponden a los aspectos altitérmico e hídrico en su orden y que en su conjunto explican alrededor del 93% de la variación total.

En la zona estudiada existe una buena asociación entre las diferentes variables seleccionadas y particularmente, entre varias de éstas y la altitud. Este último aspecto es muy ventajoso desde el punto de vista práctico ya que permite inferir algunas características climáticas importantes en áreas que no cuentan con cubrimiento meteorológico a partir de un factor no climático fácilmente obtenible, como es la altitud.

La clasificación de las diferentes estaciones en cuatro grupos obtenida con la metodología empleada es consistente con lo que se observa en el campo y solo se exceptuó la estación de Naranjal, la cual posiblemente pertenece a otra zona.

Se debe tener en cuenta que la zonificación obtenida no es absoluta y que es posible establecer más subdivisiones introduciendo otras variables en el análisis.

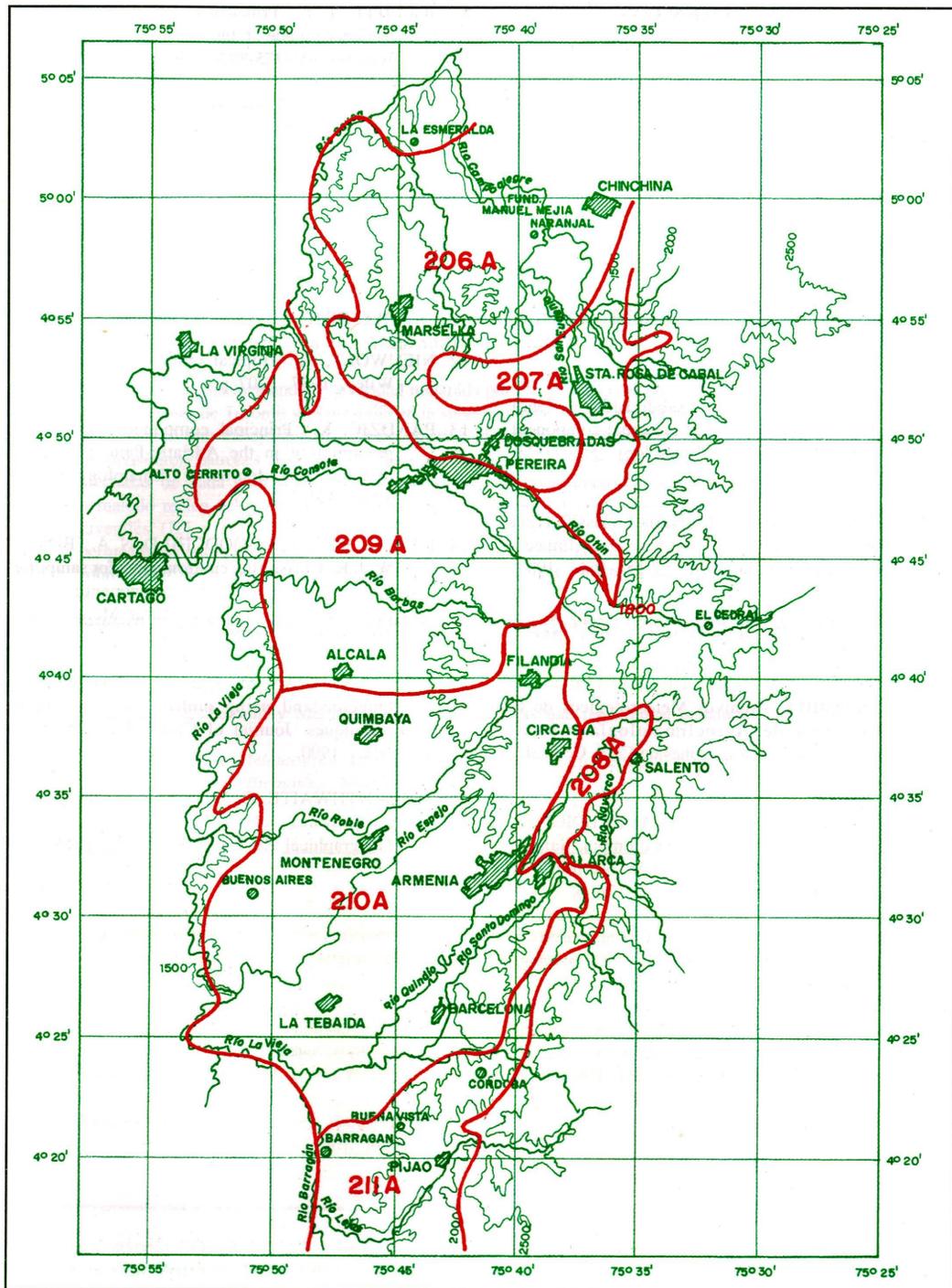


Figura 5. Delimitación de la región de estudio según los ecotopos Cafeteros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al Doctor Germán Moreno Ruíz de la Disciplina de Mejoramiento Genético y Biotecnología, por su asesoría en el uso e interpretación del paquete estadístico NDMS y sus sugerencias en la discusión de los resultados.

LITERATURA CITADA

1. AL-JERASH, M. A. Climatic subdivisions in Saudi Arabia: an application of principal component analysis. *Journal of Climatology* 5:307-323. 1985.
2. ANYADIKE, R. N. C. Multivariate classification and regionalization of west african climates. *Journal of Climatology* 7:157-164. 1987.
3. AYOADE, J. O. Introduction to climatology for the tropics. New York, John Wiley, 1983. 258 p.
4. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Archivos Meteorológicos de la Disciplina de Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, 1950-1983.
5. GOMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDION R., J. V. Ecotopos Cafeteros de Colombia. Santafé de Bogotá, D.C, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1991. 136 p.
6. GOOSSENS, CHR. Principal component analysis of mediterranean rainfall. *Journal of Climatology* 5:379-388. 1985.
7. GUZMAN M., O.; JARAMILLO R., A. Estudio climático de Risaralda y Quindío, vertiente occidental, Cordillera Central, Chinchiná, Cenicafé, 1986. 313 p. 36 mapas.
8. JOLLIFFE, I. T. Principal component analysis: a beginner's guide - I. Introduction and application. *Weather* 45: 375-382. 1990.
9. JUDEZ A., L. Técnicas de análisis de datos multidimensionales; bases teóricas y aplicaciones en agricultura. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1989. 301 p.
10. MOTA, F. S. DA. Meteorología Agrícola. Sao Pablo, Librería Nobel S.A., 1975. 376 p.
11. NDMS. Logiciel statistique á l'usage de biologistes. Montpellier, s.e., 1989.
12. NIEUWOLT, S. Tropical climatology. London, Wiley, 1977. 207 p.
13. PANDZIC, K. Principal component analysis of precipitation in the Adriatic-Pannonian area of Yugoslavia. *Journal of Climatology* 8:357-370. 1988.
14. PATERSON, J. G., ; GOODCHILD, N. A.; BOYD, W. J. R. Classifying environments for sampling purposes using a principal component analysis of climatic data. *Agricultural Meteorology* 19:349-362. 1978.
15. PUVANESWARAN, M. Climatic classification of Queensland using multivariate statistical techniques. *Journal of Climatology* 10:591-608. 1990.
16. THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review* 38:55-94. 1948.