

Zonas y patrones climáticos en la región andina

Zones and climate patterns in the Andean region

Nelson Rodríguez* y Gérard Defives*

Resumen

La cordillera andina divide el Occidente de Venezuela en dos zonas climáticas: Sur-oriental y Nor-occidental, caracterizadas por la variabilidad en el volumen de las precipitaciones, desde el clima muy seco hasta el perhúmedo. El trabajo consiste en clasificar las estaciones meteorológicas en grupos que reflejan unidades geográficas homogéneas, desde el punto de vista pluviométrico. Para esto se emplearon dos técnicas: el Análisis de Componentes Principales (ACP), que permite constituir grupos de estaciones en base a las precipitaciones mensuales, durante once años, y el método STATIS, para examinar más detalladamente el aspecto evolutivo. La aplicación del método STATIS permite completar y proponer explicaciones a la clasificación obtenida, anteriormente, con el ACP.

1. Introducción

El presente trabajo se propone sintetizar los alcances de una tesis (véase Rodríguez, 1993) basada en un estudio general en torno a precipitaciones y flujos de aire, en relación a una cadena montañosa en zona tropical, llevado a cabo bajo la responsabilidad de Rigoberto Andressen (véase Andressen, Riechl y Rincón, 1990).

Por razones de espacio, no se podrá reproducir en sus detalles el conjunto de resultados obtenidos, los cuales se expresan mediante amplios gráficos y mapas, limitándose el trabajo a exponer los aspectos metodológicos y los rasgos más resaltantes de los resultados.

* Grupo de Análisis de Datos y Estadística Multidimensional (ADEM), Escuela Básica de Ingeniería, Universidad de Los Andes

Las precipitaciones mensuales están medidas en estaciones meteorológicas diseminadas en la región. Debido a modificaciones en la red de estaciones, interrupciones de servicio, etc., sólo se ha podido utilizar el registro de precipitaciones mensuales durante once años (de 1973 a 1983 ambos inclusive) en 339 estaciones de la región.

Las precipitaciones son un solo aspecto del clima, pero muy pocas estaciones miden otras variables. Para poder, en el futuro, estudiar las relaciones entre las distintas variables, la determinación de zonas de clima homogéneo permitirá escoger una estación representativa en cada zona así delimitada (la mejor equipada) y eventualmente rediseñar la red de estaciones.

El objetivo principal que persigue esta investigación es la clasificación de las estaciones meteorológicas, según patrones pluviométricos.

2. Análisis en componentes principales

Una forma de abordar el problema de la clasificación de las estaciones, consiste en realizar un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Caillez, 1976 y Escoufier, 1979), sobre el conjunto de las estaciones (339 estaciones), caracterizadas por las 132 precipitaciones mensuales durante el período estudiado, ya que una precipitación nula tiene sentido, se ha decidido no centrar los datos. De esta forma, el origen del plano representa una estación en la cual nunca ha llovido durante el período 1973-1983. En función de esto, se ha creado para cada estación, otra simétrica ficticia, en la cual cada mes la precipitación es opuesta (luego negativa) a la precipitación en la estación verdadera. De esta forma, el centro de gravedad de la nube completa se encuentra en el origen y coincide con la estación donde no llueve nunca. Esto permite usar un programa corriente de ACP sin tener que modificarlo. Luego, sólo se representan las estaciones verdaderas con precipitaciones positivas.

Los dos primeros componentes reconstituyen 76% de la inercia inicial: 69% para el primer eje y 8% para el segundo.

La gráfica que representa las variables (véase Figura 1) muestra las agrupaciones que se tenían que esperar y traducen el carácter cíclico

anual del clima: los mismos meses de los distintos años se encuentran reunidos. Más relacionados con el primer eje son los meses de abril, mayo, octubre y noviembre. Hacia arriba: mayo, junio, julio, agosto, septiembre, meses lluviosos en la parte sur-oriental de la zona, y hacia abajo los meses más secos de diciembre, enero y febrero.

La representación de las estaciones puede usarse para la determinación de zonas climáticas. Para esto se ha considerado simultáneamente la proximidad geográfica de las estaciones y su semejanza pluviométrica, expresada por su proximidad en la representación de las estaciones en el ACP. Como los datos no están centrados, se puede interpretar la

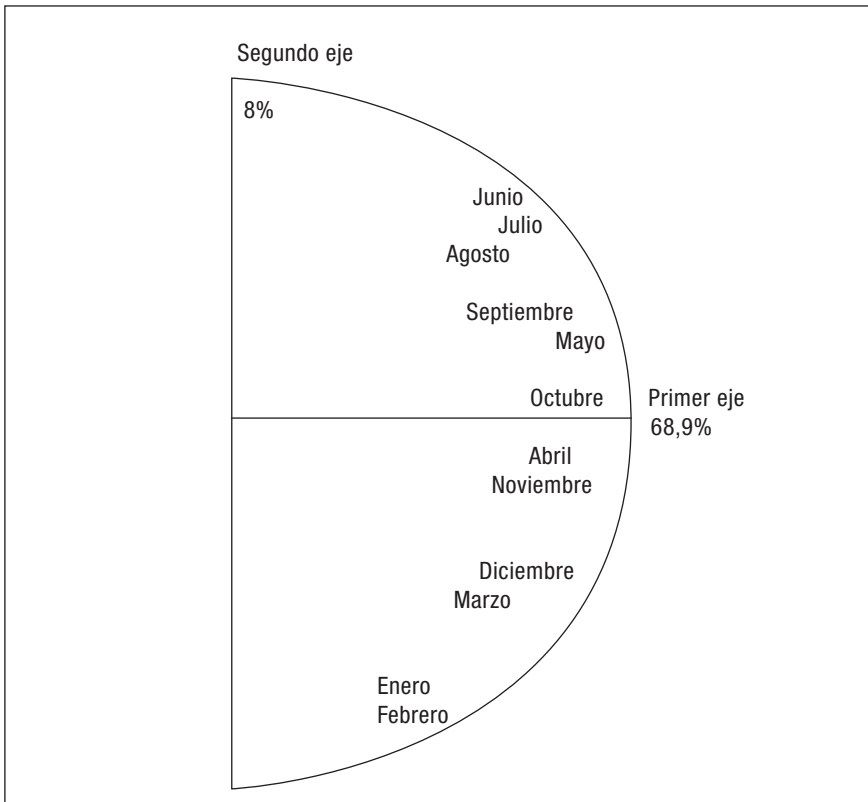


Figura 1. Círculo de correlaciones

cercanía al origen como zonas de escasa precipitación, y al contrario, las estaciones más lejanas del origen reciben mayores precipitaciones. Conviene observar que el programa utilizado (SAS) no multiplica los componentes principales por las raíces cuadradas de los valores propios correspondientes. De esta forma la gráfica resulta más redonda y no se reconstituye visualmente las respectivas inercias de los ejes. Así resulta más manejable, pero hay que tener presente que habría que multiplicar por 8,38 el primer componente para restablecer las proporciones correctas.

La parte superior de esta gráfica (Figura 2) está atravesada por dos ramas oblicuas paralelas correspondientes, la primera, a los Llanos Occidentales, y, la segunda, a la parte oriental del estado Táchira. De arriba hacia abajo, o de izquierda hacia la derecha, (lo cual significa de lo más lluvioso hacia lo más seco), se encuentran a lo largo de la primera rama grupos de estaciones de los Andes de Portuguesa (zona más lluviosa, distribución unimodal) Santa Bárbara de Barinas, Guanare, las cuencas bajas de los ríos Boconó y Tucupido, Barrancas, Barinas, es decir, todo el pie de monte Sur-Oriental y, a continuación, Mitisús, Santo Domingo, la penetración andina por la vía de los Callejones.

Después de una separación, se encuentran las estaciones del Páramo (más secas) y las estaciones de la región norte del estado Zulia (de clima muy seco, con un salto geográfico considerable). Éstas se mezclan con las estaciones de la zona andina seca: Lagunillas, Tostós y El Morro.

La otra rama se inicia cerca de la primera por Bocas de Caparo y Presa Uribante; vienen luego las estaciones del bajo valle del Uribante y algunas del pie de monte barinés. Los grupos siguientes se localizan en Táchira (Copa) y son, geográficamente, próximos al grupo del bajo Uribante. Esta rama continúa por un grupo centrado en San Cristóbal y se extiende en la parte inferior con un par de estaciones del valle del Torbes.

Entre estas dos ramas, aparece un grupo de estaciones en torno a Boconó. En la mitad inferior, cerca del origen, encontramos al estado Lara y al estado Trujillo (Valle del Motatán), grupos alrededor de Carache y Humocaró, en la zona fronteriza entre estos estados, Carora y luego, más lluviosa, la parte occidental del estado Lara, y un grupo



Figura 2. Proyección de las estaciones

alrededor de Agua Viva y Valera. Perdido por ahí, un pequeño grupo en torno a San Antonio del Táchira. Una rama oblicua irregular continúa hacia la parte inferior derecha de la gráfica, mezclando estaciones de la vertiente occidental de la cordillera, hasta alcanzar muy lejos las estaciones del Sur del Lago, que se pueden repartir en grupos centrados en Colón, El Vigía y La Fría.

Está claro que el primer eje traduce la intensidad de las precipitaciones, mientras el segundo expresa la oposición entre el régimen unimodal de los Llanos en la parte superior, y el bimodal del Sur del Lago hacia abajo. Por lo general, los trayectos seguidos sobre la gráfica son geográficamente continuos. Es natural que aparezcan mezclados hacia el origen las diversas regiones secas. Hay, sin embargo, discontinuidades notables, particularmente en el estado Táchira.

Por obvias razones de espacio, no se reproducen las gráficas detalladas que el lector encontrará en Rodríguez (1993), lo mismo que una descripción detallada de los grupos de estaciones, y el mapa que ilustra sus ubicaciones.

3. Aplicación del método STATIS

STATIS es un método para analizar simultáneamente varias tablas de datos cuantitativos. La idea básica radica en el esquema de dualidad de Yves Escoufier (1979) y el coeficiente R_v denota por $R_v(A,B)$ el coseno asociado al producto escalar: $R_v(A,B) = [\text{Tr}(A,B)] / \sqrt{[\text{Tr} A^2 \text{Tr} B^2]}$. El coeficiente R_v permite la estimación de distancias entre los operadores lineales asociados a las varias tablas de datos a analizar (Véanse Caillez, 1979; Escoufier Y., 1979 y Lavit, 1986). STATIS opera en varias etapas, logrando primero una representación de las distintas tablas de datos observados sobre una misma población. En forma general, esto permite apreciar si coinciden o no varios puntos de vista sobre el mismo problema, o cuando, como en este caso, se trata de mediciones repetidas en el tiempo, que permiten estudiar aspectos evolutivos en forma global (interestructura).

Esta representación permite, a su vez, la construcción del operador lineal típico que realiza el mejor compromiso entre las distintas tablas de datos, y provee de esta forma una representación de la población estudiada análoga a la del ACP (compromiso).

Finalmente, la proyección de cada tabla de datos sobre el espacio definido en el compromiso, permite el estudio de las trayectorias de los individuos. Para un estudio detallado de estos aspectos, se recomienda acudir a Lavitt (1986) y Defives (1992); además, casos de estudio pueden encontrarse en Márquez (1992) y Mora (1993).

En el caso presente, disponemos de 11 tablas anuales de 12 precipitaciones mensuales sobre las 339 estaciones de la región.

Para mayor referencia acerca del uso e interpretación de los resultados de la aplicación STATIS, véanse los trabajos de (a) Márquez y otros (1992) y (b) Mora y otros (1993).

3.1. Interestructura

La matriz de los coeficientes RV (Cuadro 1) se puede interpretar como una matriz de correlaciones entre las tablas anuales. Varían de 0,795 (años 1977-78) a 0,611 (años 1976 y 1981). El año 1981 ha sido el año más seco, y 1976 el más húmedo.

La representación de las tablas, en base a la diagonalización de esta matriz, se lleva a cabo como en el ACP, y resulta la Figura 3, que se puede leer como una representación, como en ACP, puede apreciarse mediante la estimación de la fracción de inercia reconstituida. Aquí, el primer eje con un 75% y el segundo con un 5% totalizan casi un 80% de la inercia inicial. Aparecen los años más secos, en la parte superior, y los más húmedos, en la parte inferior. Todos los años están representados cerca del círculo de radio 1, es decir que sus representaciones son satisfactorias, ya que resultan de la proyección de vectores unitarios.

Cuadro 1. Matriz $RV(K, L) = TR(WKD*WLD)/(NORME(WKD)*NORME(WLD))$

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
1973	1,000										
1974	0,761	1,000									
1975	0,778	0,758	1,000								
1976	0,629	0,706	0,707	1,000							
1977	0,624	0,732	0,734	0,760	1,000						
1978	0,714	0,763	0,760	0,736	0,795	1,000					
1979	0,718	0,743	0,751	0,687	0,749	0,793	1,000				
1980	0,660	0,705	0,681	0,746	0,770	0,789	0,718	1,000			
1981	0,667	0,684	0,707	0,611	0,683	0,737	0,752	0,682	1,000		
1982	0,693	0,765	0,747	0,746	0,751	0,791	0,752	0,729	0,706	1,000	
1983	0,616	0,631	0,660	0,701	0,740	0,759	0,688	0,752	0,642	0,703	1,000

Fuente: Nelson Rodríguez, 1993: "Clasificación de las estaciones pluviométricas de los andes venezolanos", Mérida, Venezuela, IEDC, FACES, ULA, Tesis de grado.

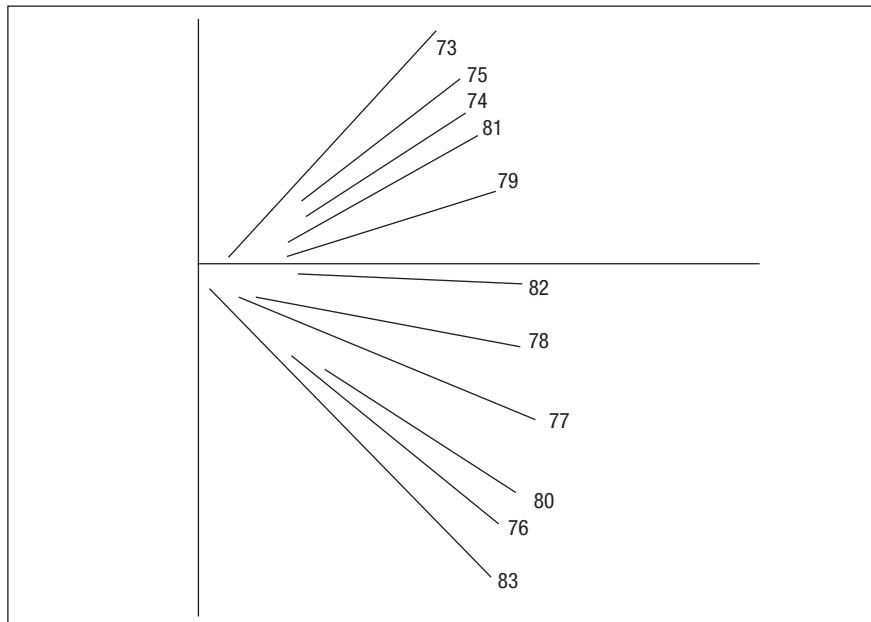


Figura 3. Interestructura

La lectura sucesiva de los años a través de esta gráfica muestra movimiento alternos: desde el 1973 (año muy seco), 1974, 1975 (también secos), se salta al año 1976 hacia abajo (muy húmedo), se regresa hacia arriba a los años 1977, 1978 y 1979, vuelve abajo en 1980 y arriba otra vez en 1981 (año más seco) y finalmente baja en 1982 (el año más cercano al eje horizontal, el que más se acerca a la situación promedio) y 1983, abajo (húmedo). Se observan, en forma global, las oscilaciones del clima de un año a otro. El período de once años estudiado es muy corto para poder detectar una tendencia general. El hecho de iniciar en un año excepcionalmente seco, y concluir, en un año bastante húmedo, no refleja una tendencia a largo plazo ya que los años 1981 y 1982 están muy lejos de 1983 sobre la Figura 3.

3.2. Compromiso

El ACP de todas las tablas juntas da una representación de las estaciones parecida a la representación provista por el método STATIS en el compromiso. En efecto, el compromiso se logra a partir de la construcción de un operador combinación de los operadores asociados a cada año, ponderándolos por sus proyecciones sobre el primer eje de la interestructura, mientras el operador, al cual se refiere el ACP da ponderaciones idénticas a todas las tablas. Pero aquí los coeficientes atribuidos a estos operadores varían muy poco ($\pm 5\%$ de 0,1055), por esto resultó algo muy semejante.

Sin embargo, la fracción de inercia reconstituida en la proyección en un espacio bidimensional es inferior: 38% para el primer eje y 16% para el segundo. Estas diferencias se reflejan en un cambio de escala en los ejes. La razón se encuentra en el hecho de no haber centrado los datos en el ACP, lo que tuvo como consecuencia un incremento de la inercia correspondiente a la masa total por el cuadrado de la distancia entre el origen y el centro de gravedad de la nube de puntos (teorema de Huygens).

3.3. Trayectorias

Al proyectar las tablas correspondientes a cada año, sobre el plano por los ejes principales del compromiso, cada estación está representada once veces –una vez por año– (Figuras 4a y 4b). La sucesión de estas representaciones, siguiendo el orden de los años, refleja las variaciones de tendencias del clima en cada estación, y constituye, la trayectoria de la estación. Estas variaciones se pueden interpretar con referencia a los ejes principales del compromiso. Estos son análogos a los del ACP: Primer eje, magnitud de las precipitaciones; segundo eje, oposición unimodal-bimodal. Lo que induce a pensar que las variaciones horizontales traducen variaciones en nivel de precipitación y las variaciones verticales se refieren al calendario. En base a esto, se ha elaborado otro criterio de clasificación:

Grupo 1: variaciones moderadas, tanto en intensidad como en calendario.

Grupo 2: variaciones en calendario (la trayectoria presenta oscilaciones verticales).

Grupo 3: variaciones en intensidad y en calendario.

No se han conseguido estaciones con variaciones sólo en intensidad. Cada grupo a su vez se divide en sub-grupos según los promedios anuales de precipitaciones:

Muy seco	0 hasta	600 mm
Seco	600 “	900 “
Sub-húmedo	900 “	1200 “
Húmedo 1	1200 “	1500 “
Húmedo 2	1500 “	1800 “
Muy húmedo	1800 “	2200
Perhúmedo	más de 2200 mm anual	

En las figuras 4a y 4b se muestran las trayectorias típicas. Tostos muy seco en la zona seca andina; Cenizo: seco en el estado Trujillo y Mérida;

húmedo I en los Andes, dan ejemplos de estaciones de clima con variaciones moderadas de un año a otro. La posición de las trayectorias, con respecto a los ejes, traduce la intensidad de las precipitaciones: poco lluvioso hacia la derecha, lluvioso hacia la izquierda.

Sicarigua en el estado Lara, de clima seco, muestra variaciones importantes en el sentido vertical: la distribución de sus escasas precipitaciones varía mucho de un año a otro.

En La Azulita, de clima húmedo I como Mérida, y no quedando muy lejos, presenta variaciones de calendario mucho mayores, y en La Fría, muy húmedo, más todavía. El Celoso en los Andes de Barinas sobre la vía hacia Santo Domingo, presenta variaciones importantes en intensidad y en calendario.

Aparecen zonas de clima estable, muy seco, en los Pueblos del Sur del estado Mérida (Tostos, El Morro, San Juan de Lagunillas) y en la frontera entre Lara y Trujillo (Cende, Carache). Estable y seco en los alrededores de Michelena (Edo. Táchira) y otros Pueblos del Sur de Mérida (El Molino, Guaraque), zonas de páramos (pico El Águila), la mayor parte del estado Trujillo (Trujillo, Jají, La Puerta, Agua Viva, etc.) y zonas de Lara (Cubiro y Humocaro).

Hay zonas de clima sub-húmedo estable, también en los Pueblos del Sur (Canaguá, Mucuchachí) y alrededor de San Cristóbal.

Una zona de clima húmedo estable se encuentra en Mérida, y otra, muy notable, en los Llanos, al sureste de los Andes: desde Turén, Píritu, Guanare, hasta Soconí en el Estado Barinas, que junta una zona inestable, húmedo, justo al pie de los Andes (Camburí, Ospino, hasta Saisai, pasando por Barrancas, Barinas, y Santa Bárbara de Barinas) con una fila de estaciones intermedias (Sarare, Acarigua, Ospino, etc.) con variaciones en calendario e intensidad, clasificadas húmedo 1, mientras al subir un poco en los Andes, se alcanzan zonas muy húmedas o perhúmedas, totalmente inestables (Celoso, Concepción y Guapas).

Al contrario, el otro lado de la cordillera recibe precipitaciones abundantes (Húmedo II) cuyas variaciones afectan principalmente el calendario (Puente Escalante, Mesa Julia, etc.).

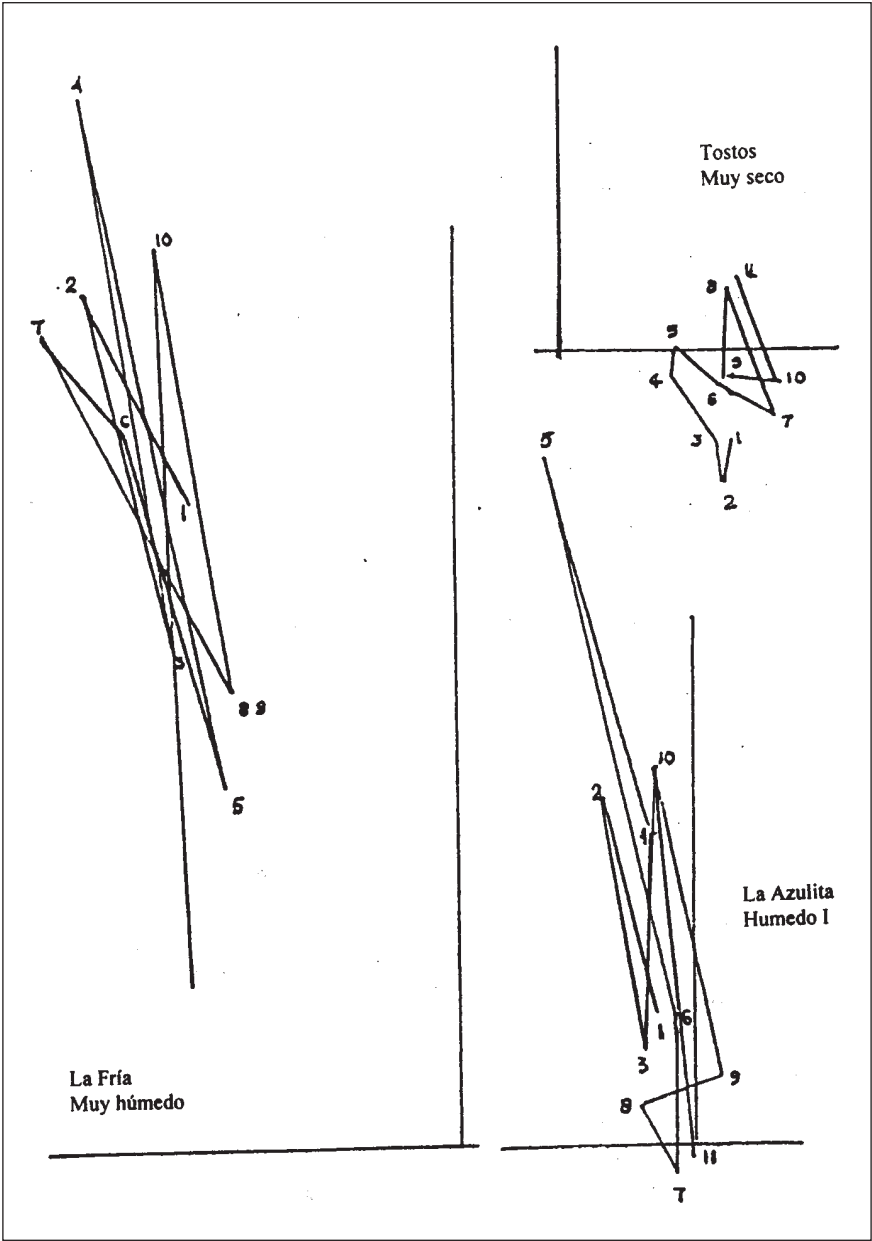


Figura 4a. Trayectorias típicas

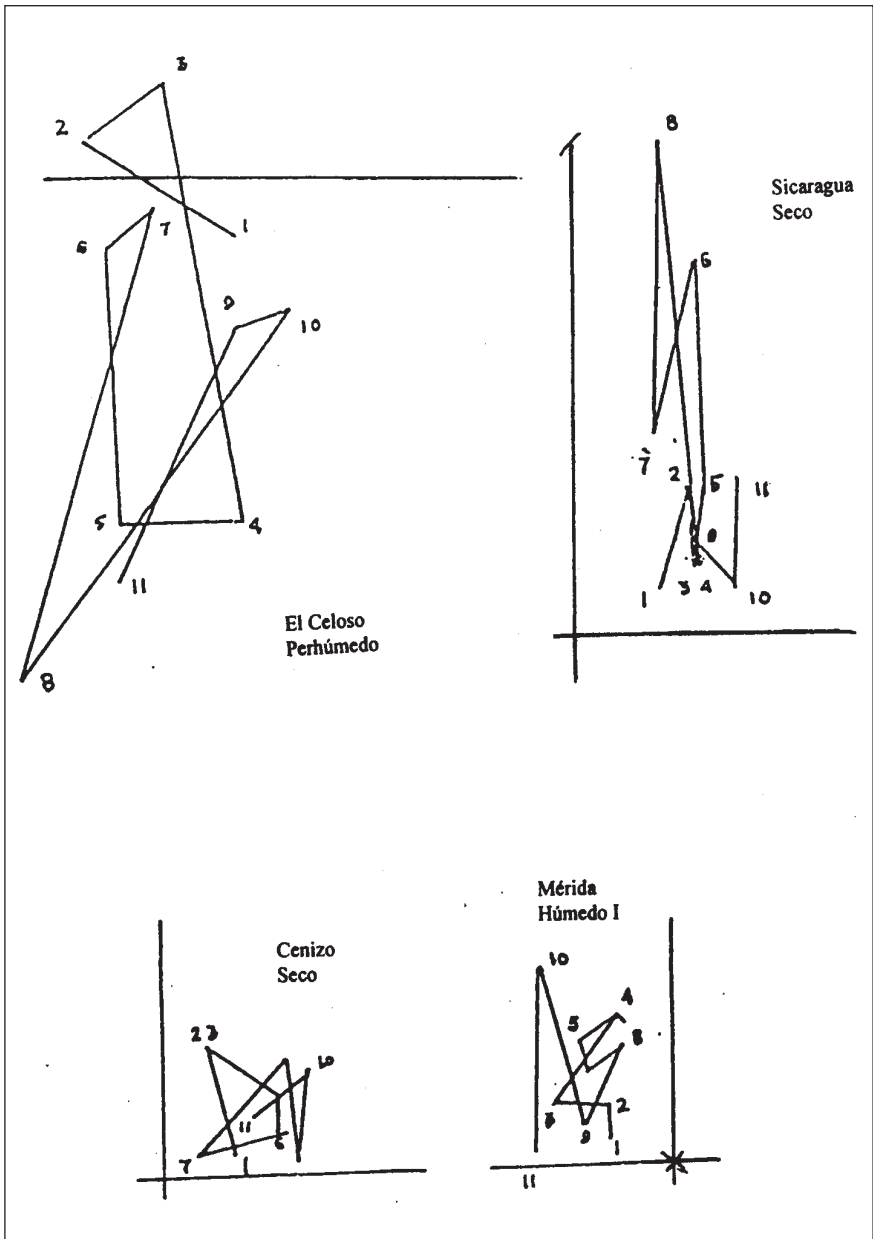


Figura 4b. Trayectorias típicas

4. Conclusión

Más que un simple complemento a la clasificación obtenida mediante el ACP, la aplicación del método STATIS ha permitido esbozar una descripción de los fenómenos que distinguen las zonas climáticas de la región. El criterio de apreciación sobre la estabilidad del clima en una estación es algo subjetivo. En los ejemplos mostrados aquí, es obvio que Mérida presenta un carácter más estable que La Azulita. Esto no significa que el clima de Mérida sea igual todos los años; todo es relativo. Existen situaciones en las cuales queda abierta la discusión.

5. Referencias

- Andressen, R., Riechl H. y B. Rincón (1990). "Precipitación y flujos de aire en relación a una cadena montañosa". Mimeografía. ULA y CDCHT, proyecto C445.
- Caillez, F. y J. P. Pagés (1976). *Introducción á l'analyse des données*. Smash, París.
- Defives, G. (1992). "Análisis simultáneo de varias tablas de datos cuantitativos. El método STATIS". Ponencia en las III Jornadas Científico-Técnicas. Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida, Venezuela.
- Escoufier, Y. (1979). *Cours d'analyse des données*. USTL. Montpellier.
- Lavit, Ch. (1986). *Analyse simultanée de plusieurs tableaux quantitatifs*. Masson, París.
- Márquez, J.L., A. Díaz de Pascual y G. Defives (1992). "Aplicación del Método STATIS, factores físico-químicos del agua del embalse Uribante". *Economía* 7. FACES, ULA, Mérida, Venezuela.
- Mora, C.J. A. Díaz de Pascual y G. Defives (1993). "Aplicación del Método STATIS. Análisis del zooplancton del embalse Uribante". *Economía* 8. FACES, ULA, Mérida, Venezuela.
- Rodríguez, N. (1993). "Clasificación de las estaciones pluviométricas de Los Andes Venezolanos". IEAC, FACES, ULA. Tesis de grado (mimeo). Mérida, Venezuela.
- S.A.S. (1988). S.A.S. *Procedure Guide Release*. 6.03 Edition. N.Y. USA.