

**UNIDAD DE ESTUDIOS DEL CLIMA TROPICAL  
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E  
INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL**

**CLASIFICACION EN GRUPOS HOMOGENEOS DE  
LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS  
EN LOS ANDES VENEZOLANOS**

**ING. MARIA ISABEL ROJAS  
GEOG. JESUS PETIT**

**CIDINT**

UNIDAD DE ESTUDIOS DEL CLIMA TROPICAL  
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO  
E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL

CLASIFICACION EN GRUPOS HOMOGENEOS DE  
LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS  
EN LOS ANDES VENEZOLANOS

ING. MARIA ISABEL ROJAS  
GEOG. JESUS PETIT

## C O N T E N I D O.

	Pag.
I. INTRODUCCION .....	1
II. OBJETIVOS.....	6
III. MATERIALES Y METODOS	
III.1. Variables en estudio.....	6
III.2. Fuente de datos y selección de la muestra.....	7
III.3. Metodología estadística.....	8
III.3.1. Análisis en Componentes Principales.....	9
III.3.1.1. El Esquema de Dualidad y el A.C.P.....	11
III.3.2. Método Statis.....	16
III.3.2.1. Interestructura.....	18
III.3.2.2. Compromiso.....	19
III.3.2.3. Intraestructura.....	22
III.3.2.4. Aplicación del programa computac. Statis... 24	24
III.3.2.4.1. Inter-estructura.....	24
III.3.2.4.2. Intra-estructura.....	28
III.3.2.4.2. Traject.....	29
IV. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
IV.1. COMPONENTES PRINCIPALES	
IV.1.1. Componentes Principales a usar.....	33
IV.1.2. Definición de los componentes.....	35
IV.1.3. Proyección de las estaciones sobre el espacio de los dos primeros componentes.....	37
IV.1.3.1. Agrupamiento de las estaciones.....	39
IV.2. STATIS	

IV.2.1. Análisis de la interestructura.....	42
IV.2.2. Análisis de la intraestructura.....	49
IV.2.3. Trayectoria de las estaciones.....	51
IV.3. Clasificación del clima pluviométrico en base al monto anual de precipitación.....	52
IV.4. Grupos de clima pluviométrico definidos mediante el análisis de las trayectorias.....	54
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	75
ANEXOS.....	76
BIBLIOGRAFIA.....	91

## I. \_ I N T R O D U C C I O N

La información climatológica de una región juega un papel muy importante en el desarrollo de la misma, debido a la influencia que el clima ejerce sobre otros factores tales como suelos, vegetación, hidrografía, y para la planificación y conservación del área. Pero, si bien esta necesidad es suficientemente conocida, aún hoy en día no se cuenta con redes de estaciones adecuadas, que recojan observaciones directas sobre el estado del clima para períodos suficientemente largos y continuos, que permita efectuar estudios a diferentes escalas geográficas.

En los actuales momentos, en Venezuela se cuenta con pocas estaciones meteorológicas completas, y las existentes sólo poseen registros para períodos de tiempo limitados, y generalmente muestran interrupciones.

Como bien se sabe en todas partes del mundo las cadenas montañosas ejercen efectos importantes sobre las condiciones meteorológicas de las regiones vecinas produciendo modificaciones sustanciales de los sistemas sinópticos y flujos de aire, debido a los procesos dinámicos y termodinámico que se desencadenan, de igual manera se generan, de modo recurrente, condiciones meteorológicas regionales que incluyen sistemas de vientos, regímenes característicos de nubosidad y precipi-

tación, y otros (Barry, 1981).

Los efectos que las barreras montañosas y altiplanos ejercen sobre los flujos de aire, nubosidad, presión, distribución de temperatura, precipitación y tormentas, frentes, ciclones y otros fenómenos han sido estudiados tanto desde el punto de vista teórico como experimental. Sin embargo, la influencia orográfica sobre precipitación (cantidad y distribución), ha sido objeto de debate y controversia; problema que se ve agravado por la escasez de estaciones meteorológicas, a medida que aumenta la altitud en las regiones montañosas (Andressen, R., et al., 1990).

Observaciones en la vertiente este de la cordillera han demostrado definitivamente, que la altura climática de máxima precipitación se encuentra alrededor de los 500-800 m. sobre las llanuras; por lo tanto la base de las nubes de alrededor de 600 m., se encuentran muy cerca de la faja de más alta precipitación; a partir de allí las lluvias disminuyen a una tercera parte a altitudes superiores a los 3000 m.

Sobre las vertientes oeste de la cordillera, las que dan hacia el Lago de Maracaibo y más al sureste, es difícil desarrollar una secuencia realista durante la ocurrencia y pasaje de las tormentas lluviosas. La axila orográfica del Páramo del Tamá con alturas superiores a 2000 m. inhibe, prácticamente, la entrada de aire a niveles bajos, con altas temperaturas potenciales equivalentes, desde el este hacia el

sur. La entrada por Maracaibo conduce aire con energía calórica latente y térmica bajas (Andressen, R., et al., 1990).

Es obvio que la utilidad que representa la información relativa al estado del tiempo, para la determinación de los diferentes patrones climáticos, estará en relación directa con la exactitud de los valores observados y esto dependerá de la eficiencia de las estaciones meteorológicas que recogen dicha información. Por esta razón nos hemos propuesto realizar un estudio, cuyo objetivo primordial es el realizar un rediseño de la red de estaciones distribuidas en la faja montañosa de los Andes Venezolanos y regiones vecinas, en base a la precipitación, única variable disponible para un período de 11 años en el mayor número de estaciones.

Existen muy pocos estudios estadísticos utilizando métodos multivariantes, sobre esta materia en montañas tropicales, y con respecto a Los Andes Venezolanos, éste constituye un trabajo pionero, por ende no se tiene una clasificación o regionalización de los diferentes patrones climáticos que predominan en la región, basado en un análisis estadístico avanzado.

En el Centro de Estudios Avanzados del Clima Tropical (CEACT-MARNR/ULA), un grupo de investigadores llevan a cabo un proyecto titulado: Precipitación y flujos de aire en relación a una cadena montañosa tropical (Andes Venezolanos),

dicho proyecto está bajo la responsabilidad del Profesor Rigoberto Andressen. El interés principal de esta investigación es conducir un estudio sobre meteorología y climatología en regiones montañosas intertropicales (Andes Venezolanos), para analizar el efecto que ejercen las cadenas montañosas sobre las condiciones meteorológicas en las regiones de su vecindad, para tal efecto, se requiere del análisis de información relativa a los diferentes elementos integrantes del clima. Por lo tanto se deben obtener datos horarios de precipitación, temperatura seca y húmeda, humedad y presión atmosférica a nivel de superficie, y otras variables relacionadas a datos hidrológicos. Existe un banco de datos, de estaciones meteorológicas muy extenso, que por su magnitud es imposible hacer el procesamiento y análisis, además de que la información de que se dispone no es completa, en cuanto a las variables necesarias para el análisis, por esta razón es necesario tener un rediseño de la red de estaciones, que provea material más completo y confiable que el disponible en la actualidad. Por otra parte, se presume de la presencia de información redundante en el conjunto de datos disponibles, cuestión esta que es posible puesto que el bloque de datos contiene información de la red de estaciones distribuidas por toda el área de estudio, muchas de las cuales pudieran estar recogiendo la misma información meteorológica, por estar ubicadas en áreas con el mismo patrón climático, lo

cual pudiera ser consecuencia de la cercanía geográfica entre las estaciones. Bajo estas circunstancias es preciso hacer un estudio preliminar, a efectos de determinar posibles grupos o subregiones con patrones climáticos similares, que nos permita obtener una base de datos de estaciones meteorológicas seleccionadas de la red, que sean representativas de cada uno de los diferentes patrones climáticos que se dan en la región, de tal manera de reducir el número de estaciones a ser consideradas posteriormente en investigaciones de mayor envergadura, que explique en detalle los elementos que interactúan en la determinación de los diferentes tipos de climas que se observan, para lo cual es necesario incluir un número considerable de factores. Por otra parte se está reduciendo la posibilidad de incluir información redundante para el análisis.

La regionalización del clima en base al factor Precipitación va a generar grupos climáticos, atendiendo tanto a la variación en la precipitación como en el calendario, ya que la precipitación es la variable climática más importante en la zona Tropical, su análisis permite caracterizar regiones climáticas y establecer su organización espacial. En este sentido, la regionalización pluviométrica de Los Andes Venezolanos permitirá definir grupos pluviométricos basados en la variación espacial como temporal de esta variable climática.

## II. \_ OBJETIVOS.

1- Clasificar las Estaciones Meteorológicas, de tal forma que se pueda reducir el espacio de dimensionalidad en la descripción de los patrones climáticos que predominan en la región.

2- Estudiar las trayectorias de las estaciones, representativas de cada grupo, definido por la regionalización obtenida con el uso del Análisis de Componentes Principales, para verificar si existen tendencias globales de evolución en el clima.

## III. \_ MATERIALES Y METODOS

### III.1- Variables en estudio

Seleccionamos el promedio mensual de precipitación, como un factor importante en la clasificación climática, en primer lugar, porque es la variable más comúnmente medida en las diferentes estaciones meteorológicas de la red en un periodo de tiempo más largo, y en segundo lugar porque la precipitación es el factor climático más importante en la zona tropical. Es por eso que, efectivamente la humedad es tomada como el mejor criterio en muchas clasificaciones climáticas. Sin embargo, la humedad disponible depende en primer lugar del régimen de precipitación. Lo anterior sugiere que un

análisis de los patrones de precipitación provee información crítica importante para determinar zonas climáticas, y para otros propósitos que tengan a bien la utilización de esta regionalización.

### III.2- Fuente de datos y selección de la muestra

En primer lugar disponemos de una base de datos, proveniente de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (DMH-MARNR), que nos ha sido suministrada a través del Centro de Estudios Avanzados del Clima Tropical (CEACT), con registros de precipitación de aproximadamente 50 años, pero estas mediciones no están hechas en forma regular, en todas las estaciones para un mismo periodo de tiempo, de tal manera que se pueda obtener una base de datos común para un número significativo de estaciones en un periodo de tiempo considerablemente largo. Por esta razón adoptamos la siguiente metodología para la selección de la muestra: Haciendo uso de un análisis de frecuencias se logró determinar el periodo para el cual existe registros de precipitación en un mayor número de estaciones meteorológicas, dicho periodo comprende desde 1973 hasta 1983, para el cual existen 339 estaciones distribuidas en forma regular en todo el área de estudio, lo cual satisface nuestras expectativas en relación al tamaño de

la muestra, como también a la ubicación de las unidades experimentales.

Se obtiene entonces, una muestra de 339 estaciones Meteorológicas con registros de precipitación de 11 años; Para finalmente obtener una base de datos que mide la variación de la precipitación mensual por año, de lo cual va a resultar una matriz de 339 individuos (estaciones meteorológicas) por 132 variables (variación de la precipitación en los 12 meses del año, para los 11 años de estudio).

### III.3- Metodología Estadística

El primer paso a dar, en este estudio es tratar de reducir el espacio de dimensionalidad en la especificación del clima tomando el menor número posible de estaciones meteorológicas. Usamos un Análisis en componentes Principales, con el fin de obtener una representación gráfica de las estaciones, que nos permita definir grupos homogéneos entre éstas, respecto a los valores o patrones del factor climático considerado, precipitación, y así estaremos en capacidad de tomar una estación representativa de cada grupo para trabajar con una base de datos más reducida sin pérdida significativa de información. Previo a dicho análisis, y como una técnica válida en la aplicación del mismo, procedemos a poner el centro de gravedad en cero. Los programas de A.C.P. centran

los datos, es decir ponen el origen en el centro de gravedad de las mediciones. En el caso presente, una precipitación nula tiene un sentido preciso por esto optamos en poner el origen en precipitación nula. Para obviar el centrado de los datos se efectuó la maniobra descrita: Introducir una observación simétrica para cada una de las observaciones realizadas, de esa forma el centro de gravedad se encuentra en cero. Al final no se toman en cuenta estas pseudo observaciones y no se representan.

El Método Statis, es la segunda metodología estadística a usar, la cual nos permite tomar estaciones tipo en cuanto a la variación de la precipitación y el calendario a través de los 11 años de estudio, a objeto de comparar la dinámica de la precipitación en diferentes zonas, principalmente en Los Andes donde el factor orográfico juega un papel importante.

### III.3.1- Análisis en Componentes Principales.

El análisis en componentes principales puede "encuadrarse" dentro del conjunto de técnicas multivariantes globalmente conocidas como Métodos Factoriales, entre las que se incluyen además el Análisis Factorial de correlaciones y el Análisis de Correspondencias, los cuales no requieren de un modelo estadístico para explicar la estructura probabilísticas de los errores y no se necesita hacer supuestos sobre la

distribución de las variables originales. La técnica de componentes principales tiene por finalidad sintetizar un gran conjunto de datos, de modo que la información contenida en los mismos y su estructura de dependencia pueda representarse gráficamente por medio de un nuevo conjunto de variables, las Componentes, que son funciones lineales de las originales y que, generalmente, se consideran en un número menor, puesto que son derivados en orden decreciente de importancia, de tal manera que el primer componente sea el que explique la mayor cantidad posible de la variación total contenida en los datos originales. Siendo así, con los primeros  $k$  componentes es posible sintetizar la mayor parte de la información.

El Análisis en componentes Principales nos proporciona una técnica geométrica en la reducción de datos, la cual es usada para considerar las filas y columnas de la matriz de datos  $x_{n,p}$ , como un punto en el espacio  $p$  ó  $n$  dimensional, donde las  $n$  filas son tratadas como  $n$  puntos en un espacio  $p$ -dimensional llamado  $R^p$  y las  $p$  columnas son tratadas como  $p$  en un espacio  $n$ -dimensional llamado  $R^n$ . De lo anterior se deduce que; si dos puntos (individuos) están cerca en el espacio  $R^p$  estos tienen valores similares en las  $p$  variables.

A continuación se hace una exposición del fundamento teórico de la técnica (A.C.P.).

### III.3.1.1- El esquema de dualidad y el análisis en Componentes Principales

Sea  $X$  una matriz  $p \times n$  de medidas cuantitativas de  $p$  variables sobre  $n$  individuos, sea  $Q$  una matriz simétrica definida positiva ( $p \times n$ ) que define una métrica (producto escalar) en  $E = \mathbb{R}^p$ . (prácticamente,  $Q = I_p$ , o  $Q = \text{diag}(1/\sigma^2)$ , lo que equivale a reducir (o estandarizar, o normalizar) los datos. Y sea  $D$  una matriz diagonal, matriz de los pesos atribuido a los individuos, la suma de los términos de  $D$  es 1, que juega también el papel de matriz de producto escalar en  $F = \mathbb{R}^n$ .

Supondremos los datos centrados, es decir que las sumas de los términos de cada fila de  $X$ , ponderados por los pesos correspondientes, son cero. Dicho de otra forma  $1' D X = 0$  ( $1$  denota un vector de  $n$  componentes iguales a 1,  $'$  denota la trasposición).

Las formas lineales  $f_i^*$  de una base de  $F^*$  se identifican con los individuos.

Los vectores  $e_j$  de una base de  $E$  se identifican con las variables.

Entonces la matriz  $X$  de los datos es la matriz de la aplicación lineal que a un individuo (elemento de  $F^*$ ) le hace corresponder su descripción en  $E$ .

Si se identifican las formas lineales  $e_j^*$  de la base de  $E^*$ , dual de la base  $(e_j)$  de  $E$ , con las variables, la matriz

$X'$  es la matriz de la aplicación lineal que a cada variable la hace corresponder el  $n$ -vector de los valores que toma en la población estudiada.

Las variables están representadas

- en  $F$  por los vectores de sus valores  $X_{j.}$ , filas de  $X$ .
- en  $E$  por los vectores de la base  $(e_j)$  a los cuales se refiere la descripción de los individuos.

- en  $E^*$  por los vectores de la base dual  $(e^*_j)$ .

Los individuos están representados

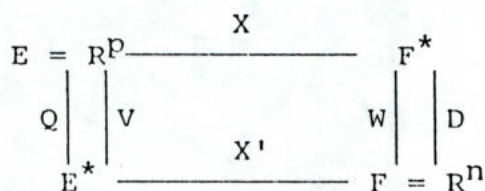
- en  $E$  por los vectores  $X_{.i}$ , columnas de  $X$ , sus descripciones,

- en  $F$  por los vectores de la base  $(f_i)$  a los cuales se refiere la descripción de las variables.

- en  $F^*$  por los vectores de la base dual  $(f^*_i)$ .

se completa el siguiente esquema de dualidad por las matrices

$W = X'Q X$        $V = X D X'$  ( $V$  es la matriz de varianzas y covarianzas)



Se dice que una matriz  $A$  es  $D$ -simétrica si y sólo si  $(DA)' = DA$  (o si se prefiere  $A'D = DA$ ).

Si  $G$  es el sub-espacio vectorial de las matrices  $(n \times n)$   $D$ -simétricas, entonces la relación  $(A|B) = \text{Tr}(AB)$  (traza de

AB) define un producto escalar entre estos operadores (producto escalar de Hilbert-Schmidt), y el coseno asociado a este producto escalar es:  $\cos 1$

$$Rv(A, B) = \frac{\text{Tr}(AB)}{\sqrt{\text{Tr}A^2 \text{Tr}B^2}}$$

$\text{Tr}(AB)$  equivale a una covarianza,  $Rv(A, B)$  equivale a un coeficiente de correlación.

Este producto escalar permite la evaluación de las distancias:

$$d^2(A, B) = \|A - B\|^2 = \text{Tr}A^2 + \text{Tr}B^2 - 2 \text{Tr}(AB)$$

Pero del punto de vista de la estadística, es más significativo el  $Rv$  que tiene las características de una correlación.

El término  $w_{ij}$  de la matriz es:

$$w_{ij} = X'_{.i} Q X_{.j} = (X_{.i} | X_{.j})$$

$w$  es la matriz de los productos escalares entre los individuos, calculados a partir de sus descripciones. De ahí se deduce la distancia entre los individuos:

$$\begin{aligned} d^2(X_{.i} X_{.j}) &= \|X_{.i}\|^2 + \|X_{.j}\|^2 - 2(X_{.i} | X_{.j}) \\ &= w_{ii} + w_{jj} - w_{ij} \end{aligned}$$

Por otra parte, como 0 es el centro de gravedad de la nube de los puntos representativos de los individuos en  $E$ , si  $p_i$  denota el peso atribuido al individuo  $i$ , la traza de  $WD$  es:

$$\text{Tr}(WD) = \sum p_i w_{ii} = \sum p_i \|x_{.i}\|^2$$

la inercia de la nube de puntos.

Se puede observar que a partir de  $WD$  solamente, es posible reconstituir  $W$ . En efecto, si los  $U_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) son los vectores propios de  $Wd$ , normados de tal forma que :

$$U'_i D U_i = 1$$

y si los  $k_i$  son los valores propios de  $Wd$  asociados, se tiene:

$$W D U_i = k_i U_i$$

de donde:

$$D^{\frac{1}{2}} W D^{\frac{1}{2}} (D^{\frac{1}{2}} U_i) = D^{\frac{1}{2}} k_i U_i$$

Los vectores  $D^{\frac{1}{2}} U_i$  son los vectores propios de  $D^{\frac{1}{2}} W D^{\frac{1}{2}}$ , la cual es I-simétrica, y luego estos vectores son ortogonales.

Se normalizan:

$$(D^{\frac{1}{2}} U_i)' (D^{\frac{1}{2}} U_i) = 1$$

y se obtiene:

$$D^{\frac{1}{2}} W D^{\frac{1}{2}} = \sum k_i D^{\frac{1}{2}} U_i U'_i D^{\frac{1}{2}}$$

de donde  $W = \sum k_i U_i U'_i$

Esto significa que el operador  $WD$  contiene toda la información relativa a un estudio  $(X, Q, D)$ , de donde la idea de individuos, provistos de los mismos pesos ( la matriz  $D$  es común) pero variables distintas (matrices de productos escalares  $P$  y  $Q$  distintas) mediante  $Rv(W_X D, W_Y D)$ .

De hecho, el Análisis en Componentes Principales (A.C.P.)

no es otra cosa que determinar el estudio  $(Y, I, D)$  con  $Y$  de tipo  $(q \times n)$ , más cercano posible al estudio dado  $(X, Q, D)$ , con  $X$  de tipo  $(p \times n)$ ,  $q$  siendo mucho más pequeño que  $p$ .

El objeto de la maniobra es tener una representación geométrica euclídea (producto escalar dado por la matriz  $I$ ) de la población definida por la matriz  $X$ , pero también con menos variables ( $q < p$ ).

Se verifica que maximizar  $Rv(X'QXD, Y'YD)$  equivale a maximizar la inercia de la nube proyectada  $(Tr(Y'YD))$ . En efecto, la solución consiste en formar  $Y'$  con los  $q$  vectores propios de  $X'QXD$  correspondientes a sus  $q$  mayores valores propios, cuya suma es  $Tr(Y'YD)$ , normalizándolos de tal forma que  $YDY' = \Lambda$ , la matriz diagonal de estos  $q$  mayores valores propios.

Por la dualidad, la diagonalización de  $VQ$  conduce a un sistema de vectores ortogonales ( las variables principales) que forman una base de  $E$ .

$VQ$  y  $WD$  tienen los mismos valores propios distintos de cero porque si  $\Lambda$  es la matriz diagonal de los  $q$  mayores valores propios de  $VQ$ , y  $U$  la matriz cuyas columnas son los vectores propios:  $VQ U = U \Lambda$  entonces  $XDX'QU = U \Lambda$  luego  $X'Q X D X'Q U = X'Q U \Lambda$  .o sea  $WD(X'Q U) = (X'Q U) \Lambda$ , lo que muestra que  $Y' = X'Q U$ , los vectores propios de  $WD$  son las columnas de  $Y' = X'Q U$  y si  $U' Q U = I$ , entonces  $Y D Y' = U' Q X D X' Q U = U' Q V Q U = U' Q U \Lambda = \Lambda$ . Práctica-

mente, se diagonaliza  $VQ$  que es de tamaño inferior al de  $WD$ . La representación de las variables está entonces dada por las filas de

$$Q^{1/2} \quad U \quad \Lambda^{1/2} .$$

### III.3.2- METODO STATIS

El Statist es un método de análisis multivariante para el estudio simultáneo de varias tablas de datos cuantitativos. Es prácticamente útil para la descripción de fenómenos evolutivos a través del tiempo, conocidos por medio de mediciones repetidas sobre los mismos individuos.

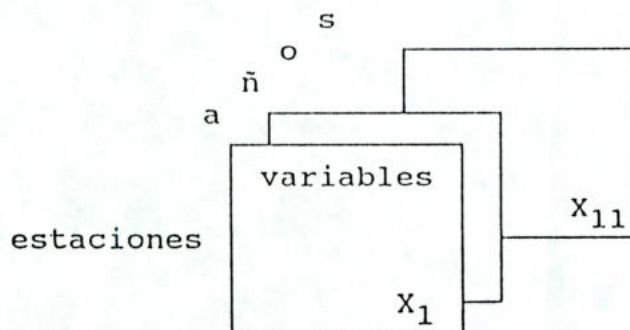
Este método ha sido desarrollado bajo la dirección de Yves Escoufier en la USTL (Montpellier, Francia), primero por H. L'Hermier des Plantes en 1976, T. Foucart, M.C. Place y F. Glaçon de 1979 a 1981, y un programa de computación ha sido elaborado por Ch. Lavit y c. Roux.

El método permite determinar si el fenómeno es estable a través del tiempo, si algunas variables se relacionan permanentemente de la misma forma, también permite el trazado de las evoluciones de los individuos y una representación sintética: El compromiso.

Las tablas de datos,  $X_1, \dots, X_{11}$ , que incluimos en este estudio, describen en forma general el estado del clima, a través de 11 años consecutivos (1973 a 1983), en 339 estacio-

nes meteorológicas, sobre las cuales se han tomado mediciones de la precipitación promedio mensual en los diferentes años de estudio. De esa forma, han surgido 11 tablas de datos cuantitativos, donde cada tabla  $X_k$  ( $k=1, \dots, 11$ ), de dimensión  $p_k \times n$  contiene los valores de  $p_k$  variables (promedios mensuales de precipitación), medidos sobre  $n$  individuos (339 estaciones).

#### Tablas de datos.



A continuación, se exponen los fundamentos teóricos del método, basados en la teoría de los operadores asociados a un estudio, y el esquema de dualidad de Y. Escoufier. Se muestra que el método se apoya en la búsqueda de un compromiso entre las distintas tablas de datos, del punto de vista de las correlaciones entre variables, y permite sucesivamente una apreciación global de las similitudes entre las tablas de datos (interestructura), la comparación de los individuos entre ellos (compromiso), y finalmente un estudio detallado de las variaciones de las similitudes entre individuos, y corre-

laciones entre variables, de una tabla a otra (intraestructura).

### III.3.2.1- Interestructura.

Si disponemos de  $K$  estudios  $(X_k, Q_k, D)$  ( $k=1, \dots, K$ ) sobre los mismos individuos provistos de los mismos pesos (matriz  $D$ ), a cada uno de estos estudios puede ser asociado su operador  $W_k D = X'_k Q X_k D$ . Los productos escalares entre estos operadores pueden ser  $\text{Tr}(W_k D W_1 D)$  o  $\text{Rv}(W_k D, W_1 D)$ . En el primer caso, equivale a trabajar sobre covarianzas y el segundo sobre correlaciones.

A partir de estos productos escalares están definidas las distancias entre los distintos estudios. El estudio de la interestructura consiste en obtener una representación que permita la comparación global entre los  $K$  estudios, determinar cuales son más representativos, cuales son atípicos, y en base a estos determinar el compromiso.

Sea  $C$  la matriz  $K \times K$  cuyos elementos son

$$c_{kl} = \text{Tr}(W_k D W_1 D) \quad (\text{resp. } c_{kl} = \text{Rv}(W_k D, W_1 D))$$

La matriz  $C$  puede jugar el mismo papel que la matriz  $WD$  en el A.C.P. En este caso los individuos considerados son los distintos estudios, y las matrices  $W_k D$  son las variables que los caracterizan.

El caso  $c_{kl} = \text{Tr}(W_k D W_1 D)$  equivale a usar  $Q = I$  en A.C.P.

El caso  $c_{k1} = Rv(W_k D, W_1 D)$  equivale a usar  $Q = \text{diag}(1/\sigma_1')$  en A.C.P.

La representación obtenida (interestructura) se interpreta de la misma forma que la gráfica de las variables A.C.P.

Nota. Es posible centrar las filas de C, es decir usar  $G = (I - 11'/K) C (I - 11'/K)$ . Los estudios aparecen entonces centrados, pero las distancias entre estudios no están modificadas.

#### III.3.2.2- Compromiso

Sea  $A = (a_1, \dots, a_k)$  el primer vector propio de C, normado a 1. Ponemos

$$W = \sum a_k W_k.$$

Los  $a_k$  son positivos porque todos los elementos de C lo son (teorema de Frobenius). W es entonces una matriz simétrica semidefinida positiva como lo son las matrices  $W_k$ . La matriz WD llamada compromiso es una matriz artificial de productos escalares entre los individuos, resumen de los  $W_k D$ .

Esta selección se justifica observando que la primera variable principal resultante en la interestructura es, como en cualquier A.C.P., la variable independiente que explica la mayor variabilidad. Los componentes del vector A son los primeros componentes de los K puntos representativos de los K estudios, o sea las contribuciones de cada estudio a la

formación de la primera variable principal. En términos más precisos, se tiene la siguiente:

Proposición:

Sea  $B = (b_1, \dots, b_k)$ , con  $B'B = 1$ .

$WD = \sum a_k W_k D$  y  $W_B D = \sum b_k W_k D$ , y  $\lambda$  el mayor valor propio de  $C$ , siendo  $\Lambda$  el vector propio correspondiente, con  $A'A = 1$ . Entonces:

- i)  $\sum [\text{Tr}(W_B D W_k D)]^2 \leq \sum [\text{Tr}(W D W_k D)]^2 = \lambda^2$
- ii)  $\text{Tr}(W_B D)^2 \leq \text{Tr}(W D)^2 = \lambda$ .

Demostración

$$\begin{aligned} \text{i) } \sum_{k=1} [\text{Tr}(W_B D W_k D)]^2 &= \sum_{k=1} \left[ \sum_{h=1} b_h \text{Tr}(W_h D W_k D) \right]^2 \\ &= \sum_{k=1} \sum_{h=1} \sum_{l=1} b_h b_l \text{Tr}(W_h D W_k D) * \\ &\quad \text{Tr}(W_l D W_k) \\ &= \sum_{h=1} \sum_{l=1} b_h b_l (C^2)_{hl} = B'C^2 B \end{aligned}$$

$(C^2)_{hl}$  es el término de la  $h$ -ésima fila y  $l$ -ésima columna de  $C^2$ . El máximo se alcanza cuando  $B = A$ , primer vector propio de  $C$  (y también de  $C^2$ ), y el valor del máximo es entonces el primer valor propio de  $C^2$ , o sea  $\lambda^2$ .

$$\begin{aligned} \text{ii) } \text{Tr}(W_B D)^2 &= \text{Tr} \left( \sum_{h=1} b_h W_h D \right)^2 \\ &= \sum_{h=1} \sum_{l=1} b_h b_l \text{Tr}(W_l D W_h D) \\ &= \sum_{h=1} \sum_{l=1} b_h b_l C_{hl} = B' C B \end{aligned}$$

Para  $B'B = 1$ , el máximo se alcanza cuando  $B$  es el vector propio  $A$  asociado al mayor vector de  $C$ , y vale el mayor valor propio de  $C$ .

Nota. Estos resultados provienen de la aplicación clásica de los multiplicadores de Lagrange al problema de maximizar una forma cuadrática  $B'C B$ , con la restricción  $B'B = 1$ .

La matriz obtenida  $WD = \sum a_k W_k D$  se considera ahora como la matriz de los productos escalares entre los individuos del estudio en su forma global.

Ahora, al igual que en un A.C.P. ordinario, la matriz  $Y'$  cuyas columnas son los vectores propios de  $WD$ , normalizados de tal forma que  $Y D Y' = \Lambda$ , la matriz diagonal de los  $q$  mayores valores propios correspondientes, da las coordenadas de una representación de los  $n$  individuos, compromiso entre las  $K$  representaciones diferentes que darían los  $K$  estudios.

Nota. Puede pensarse que se podría obtener un compromiso más fino haciendo intervenir también otros componentes principales. En todo caso, la matriz resultante  $WD$  debe ser semi definida positiva. Así se obtuvo con el primer vector propio  $\Lambda$  de  $C$  porque todos los componentes de  $\Lambda$  son positivos, pero nada de esto ocurre con los vectores propios siguientes.

Nota. El  $WD$  presentado es un compromiso óptimo en el sentido que maximiza las correlaciones (propiedad (i) y la inercia (ii)). Otros compromisos son posibles, por ejemplo se podría sencillamente

tomar el promedio:

$$\bar{W}D = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K W_k D$$

que verifica la propiedad:

para todo vector  $B = (b_1, \dots, b_k)$  con  $b_k = 1$ ,

$$W_B D = \sum_{k=1} b_k W_k D$$

se tiene:

$$\sum_{k=1} ||\bar{W}D - W_k D||^2 \leq \sum ||W_B D - W_k D||^2$$

es decir que  $\bar{W}D$  es el más cercano a los  $W_k D$  en términos de distancias.

### III.3.2.3- Intraestructura.

Se considera la matriz de datos

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_k \end{bmatrix}$$

de tipo  $\sum p_k \times n$ , y el esquema de dualidad correspondiente, para obtener  $W = \sum a_k W_k$ , la matriz  $Q$  tendrá que ser una matriz  $(\sum p_k \times \sum p_k)$  cuyos bloques diagonales serán  $a_k Q_k$ .

El A.C.P. del estudio  $(X, Q, D)$  dará una representación simultánea de las  $\sum p_k$  variables y la matriz  $Y$  ( $q \times n$ ) cuyas filas son los vectores propios de  $WD$  normados de tal forma que  $Y D Y' = \Lambda$  (matriz diagonal de los  $q$  mayores valores propios correspondientes) da la representación de los individuos en el compromiso. La representación de las variables en la base  $D$ -ortonormal de las filas de  $Y \Lambda^{-1/2}$  está dada por  $X D Y' \Lambda^{-1/2}$ . (Ya que  $Y D Y' = \Lambda$ ,  $\Lambda^{-1/2} Y D Y' \Lambda^{-1/2} = I_q$ ).

Las columnas de  $Y' \Lambda^{-1/2}$  son unitarias y ortogonales y

forma una base de  $G$ , sub-espacio vectorial de  $F$ , de dimensión  $q$ , generado por los componentes principales del compromiso.

Las columnas de  $X D Y' \Lambda^{-1/2}$  dan las coordenadas en  $G$  de las representaciones de las  $\Sigma p_k$  compromiso.

Las columnas de  $X_k D Y' \Lambda^{-1/2}$  dan las coordenadas de las variables del  $k$ -ésimo estudio.

Las columnas de  $Y$  son las coordenadas de los individuos en el compromiso. Para obtener la representación, en el mismo sub-espacio vectorial del compromiso de las  $K$  descripciones de los  $n$  individuos dadas por las tablas  $X_k$ , dos tácticas son posibles:

La proyección de los componentes principales  $Y_k$  de cada estudio, sobre el espacio  $G$  generado por los componentes principales del compromiso, la cual viene por  $Y'(Y D Y')^{-1} * Y' D Y'_k$ .

Por las columnas de los  $\Lambda^{-1/2} Y D W_k$ .

Este método conviene particularmente si las variables difieren de un estudio a otro. En lugar de la evolución de los individuos de una tabla a la siguiente, que tiene poco sentido en este caso, esta representación permite juzgar la evolución de sus proximidades con los demás porque sólo hace intervenir los  $W_k$  (matrices de productos escalares) y no las mediciones iniciales  $X_k$  ni las  $Y_k$  deducidas de ellas.

### III.3.2.4- Aplicación del programa computacional Stasis.

El método Stasis consiste de tres etapas que dan como resultado una representación gráfica de las  $k$  tablas. Los cálculos concernientes a cada etapa se realizan por medio de tres programas (en Fortran) consecutivos los cuales se interconectan a través de ciertos archivos temporales creados por el primero de ellos.

III.3.2.4.1.- Inter-estructura: Es el primer programa que se ejecuta, el cual arroja como resultados:

- Estadísticas básicas para cada una de las tablas de datos, tales como medias, varianzas y matrices de correlación.
- Matriz de los productos escalares entre tablas ( $R_V$ ).
- El cálculo de los coeficientes del compromiso.
- La representación global de los puntos-tablas, por un gráfico de la nube de puntos de los  $W_k D$ , en el plano de los dos primeros ejes.

#### ARCHIVOS DE ENTRADA:

Archivo de datos: Contiene los datos de las diferentes tablas, dispuestas en forma consecutiva una debajo de la otra. Este archivo debe estar en formato ASCII, como un archivo no documento.

Archivo de parámetros: Contiene una serie de instrucciones específicas, relativas a las tablas de datos, que deben

indicarse al programa computacional STATIS, para que ejecute la rutina que da como resultado la Inter-estructura.

Listado del archivo de parámetros

Datos de precipitación para 11 años de estudio

NTABL=11, NINDI=339, NVMAX=12, NBTYP=1, REDUC=1, NORMA=1, GRAPH=1, CENTR=1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B

NBVAR=12

EN73FE73MA73AB73MY73JN73JL73AG73SE73OC73NO73DI73

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN74FE74MA74AB74MY74JN74JL74AG74SE74OC74NO74DI74

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN75FE75MA75AB75MY75JN75JL75AG75SE75OC75NO75DI75

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN76FE76MA76AB76MY76JN76JL76AG76SE76OC76NO76DI76

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN77FE77MA77AB77MY77JN77JL77AG77SE77OC77NO77DI77

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN78FE78MA78AB78MY78JN78JL78AG78SE78OC78NO78DI78

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN79FE79MA79AB79MY79JN79JL79AG79SE79OC79NO79DI79

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN80FE80MA80AB80MY80JN80JL80AG80SE80OC80NO80DI80

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN81FE81MA81AB81MY81JN81JL81AG81SE81OC81NO81DI81

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN82FE82MA82AB82MY82JN82JL82AG82SE82OC82NO82DI82

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

NBVAR=12

EN83FE83MA83AB83MY83JN83JL83AG83SE83OC83NO83DI83

(A4, 1X, 12 (F4.0, 1X))

### Descripción de la Estructura del archivo de parámetros:

REGISTRO 1: Título del estudio (Formato A80).

REGISTRO 2: Se indican, las características generales de los datos mediante palabras claves, escritas en mayúsculas, separadas por comas. Este podría ocupar una o más líneas de 80 caracteres.

Palabra clave	Definición
NTABL = 11	Número de tablas.
NINDI = 339	Número de individuos en cada tabla.
NVMAX = 12	Número máximo de variables de una tabla.
NBTYP = 1	Número de tipos de tablas (en el presente caso las 11 tablas son de un mismo tipo).
REDUC = 1	Las variables son reducidas por tablas.
NORMA = 1	Las tablas son normalizadas, y se forma como producto escalar entre tablas, el coeficiente Rv.
GRAPH = 1	Salida del gráfico de los puntos-tabla.
CENTR = 1	Centrado del gráfico de los puntos-tablas (adicional al gráfico anterior).

REGISTRO 3: Nombre de las tablas (enmarcadas en formato (20A4) a la izquierda), correspondiéndose los nombres con las distintas tablas según el orden en que fueron dispuestas en el archivo de datos. En ese sentido, el nombre "1" corresponde a la tabla de valores para el año 73, y así sucesiva-

mente hasta el nombre "B" que corresponde a la tabla de valores para el año 83. Debe tenerse en cuenta además que el primer carácter de los nombres debe ser característico de cada tabla (no debe repetirse en ninguna otra), puesto que estará concatenado con los tres primeros caracteres de cada variable para el gráfico de las correlaciones con los ejes del compromiso.

REGISTRO 4: Nombre de las variables en el orden de lectura (enmarcadas en formato 20A4 a la izquierda).

REGISTRO 5: Palabra clave NBVAR, que indica el número de variables a ser leídas en la tabla correspondiente.

REGISTRO 6: Formato Fortran de lectura de las tablas de datos. Este debe caber en una línea de 80 caracteres.

Explicación del formato:

A4 : Leer cuatro caracteres alfanuméricos.

X1 : Saltar 1 columna.

F4.0 : Leer un real que ocupa cuatro columnas, punto incluido, no importa el número de decimales.

Nota: Los registros 5 y 6 se repiten tantas veces como tablas hayan en el archivo de datos.

ARCHIVOS DE SALIDA:

Archivo de resultados: Contendrá los resultados del programa. Debe ser nombrado por el usuario.

Archivos temporales: PARAXK y XPKDXL: Archivos de acceso directo, los cuales contienen los parámetros, los datos transformados y algunos cálculos (efectuados en la inter-estructura útiles en la intra-estructura).

III.3.2.4.2.- Intra-estructura: Es el segundo programa, que contempla el método Statis, el cual sitúa globalmente a los individuos los unos con relación a los otros, a través de una representación gráfica en el plano del compromiso, lo que nos permite tener una imagen euclidiana de las distancias entre las estaciones (individuos). Como segundo resultados importante tenemos la correlación de las variables de las diferentes tablas de datos con los ejes del compromiso, expresada en forma gráfica. Esto nos permitirá tener una explicación de los ejes compromiso, en función de la correlación que presenten con determinadas variables.

#### ARCHIVOS DE ENTRADA:

Archivo de parámetros: Este archivo sólo contiene un registro con una lista de palabras claves en mayúsculas y separadas por comas.

#### Registro único del archivo de parámetros

NAXES=2, NUVAR=1, NUIND=1.

## Descripción del registro

Palabra clave	Definición
NAXES = 2	Número de ejes pedidos (por defecto son 3).
NUVAR = 1	Para obtener el gráfico de las correlaciones de variables con los ejes del compromiso.
NUIND = 1	Para obtener la imagen euclidiana compromiso de los individuos activos.

Los demás archivos, que el programa utiliza son creados por el primer programa, Inter-estructura, los cuales son de acceso directo, sin necesidad de hacer indicación alguna en este programa.

### ARCHIVOS DE SALIDA:

**Archivo de resultados:** El cual debe ser nombrado por el usuario.

**Archivos temporales:** Al igual que el programa anterior, éste crea una serie de archivos temporales de acceso directo como secuencial, entre los cuales está TRAJEC, necesario para la ejecución del programa siguiente, puesto que este archivo contiene las coordenadas de las trayectorias de los individuos.

III.3.2.4.3- TRAJECT: Tercer programa que se efectúa, el cual permite trazar las trayectorias de los individuos. Lo que se ha representado por separado en la intraestructura, se

lleva al plano medio del compromiso, y así tenemos la proyección de las estaciones (individuos) sobre un mismo plano, que nos permite comparar la posición de esas estaciones en las diferentes tablas de datos.

Este programa permite escoger el sub-conjunto de individuos de los cuales se quieren trazar las trayectorias, pudiéndose seleccionar un máximo de ocho trayectorias en cada corrida. Se obtiene así porciones sucesivas de trayectorias bajo un mismo plan factorial, lo cual hace posible la comparación del conjunto de trayectorias, obtenidas en diferentes presentaciones gráficas. Para cada plan factorial el cuadrado del gráfico está calculado sobre el conjunto de trayectorias de todos los individuos activos, por ello tiene sentido comparar la situación del sub-conjunto de individuos seleccionados.

#### ARCHIVOS DE ENTRADA:

Archivo de parámetros: Contiene las instrucciones que deben darse al programa fuente Stasis, para que ejecute la rutina TRAJECT. En la realización de este trabajo fue necesario trazar un número importante de trayectorias, y por lo tanto tuvimos que realizar varios archivos de parámetros, cada uno de los cuales contiene las mismas instrucciones, excepto la indicación de las trayectorias a trazar en cada caso. A continuación se muestra un archivo de parámetros a manera de ilustración:

## Listado del archivo de parámetros

NINDI=339,NTABL=11,TEMPS=1,NAXES=2  
NOMS  
3189,3190,2229,4022  
JEU DE DONNES TEST:TRAJECTORIES DE 3189,3190,2229,ET 4022  
NBPLA=1  
AXHOR=1,AXVER=2  
ENCORE  
PART

## Descripción del archivo de parámetros

REGISTRO 1: Se indican las características generales del archivo de las trayectorias dadas en las palabras claves escritas en mayúsculas y separadas por comas.

Palabra clave	Definición
NINDI = 339	Número total de trayectorias (obligatorio).
NTABL = 11	Número total de tablas (obligatorio).
NAXES = 2	Número de ejes a tomar en cuenta.
TEMPS = 1	Para obtener el gráfico de las trayectorias por desarrolladas eje por eje en función del índice de las tablas. Esto es muy útil cuando el número de tablas son importantes, donde el trazado de las trayectorias es difícil de leer.

REGISTRO 2: Palabra clave NOMS, indica que se da una lista de nombres de las trayectorias a trazar.

REGISTRO 3 : Lectura de la lista de los nombres de los individuos, cuyas trayectorias se van a trazar. Esos nombres se escriben en formato libre, separados por comas en una o más líneas.

REGISTRO 4 : Título para el conjunto de trayectorias, en formato A80 (dos espacios en blanco consecutivos son considerados fin del título).

REGISTRO 5: Palabra clave NBPLA=1, indica el número de planos factoriales pedidos.

REGISTRO 5.1: Determinación de los dos ejes del plano mediante dos palabras claves separadas por comas: AXHOR=1, AXVER=2.

Archivo de salida: Un archivo de los resultados, el cual es nombrado por el usuario.

A continuación, se exponen los fundamentos teóricos del método, basados en la teoría de los operadores asociados a un estudio, y el esquema de dualidad de Y. Escoufier. Se muestra que el método se apoya en la búsqueda de un compromiso entre las distintas tablas de datos, del punto de vista de las correlaciones entre variables, y permite sucesivamente una apreciación global de las similitudes entre las tablas de datos (interestructura), la comparación de los individuos entre ellos (compromiso), y finalmente un estudio detallado de las variaciones de las similitudes entre individuos, y correlaciones entre variables, de una tabla a otra (interestructura).

### III.4- Paquetes Estadísticos Utilizados

.-SPSS

.-SAS

.STATIS

### IV.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

#### IV.1- Análisis de componentes principales.

##### IV.1.1- Componentes a usar; reducción del espacio a $R^2$ .

Originalmente disponíamos de una matriz de datos, compuesta por 339 estaciones meteorológicas y 132 variables, 339 filas por 132 columnas. A través del A.C.P. hemos logrado sintetizar la información contenida en las 132 variables en un espacio de dos dimensiones, dos primeras componentes, los cuales recogen el 76 % de la variación total presente en el conjunto de variables originales, tabla IV.1. Es oportuno señalar que no incluimos otro componentes adicional porque no nos proporciona ningún beneficio; a partir del tercer componente la contribución que representan en el incremento del porcentaje de variabilidad explicada es poco significativa, al considerarlos sucesivamente en su orden de importancia. La variabilidad que presentan entre ellos es ínfima y habría que tomar muchos componentes para poder ganar un poco de variabilidad explicada, adicional a la que representan los dos

primeros componentes, y por el contrario estaríamos perdiendo simplicidad en la Interpretación de los resultados; puesto que nuestro objetivo es tener una representación geométrica de las estaciones (individuos), que nos permita tener una mejor apreciación visual de las distancias entre ellas, de tal manera que podamos lograr un primer agrupamiento.

Una idea intuitiva, pero que nos corrobora la selección que hemos hecho del número de componentes a usar nos la proporciona la técnica expuesta por Cattell( 1966), la cual consiste en representar gráficamente los autovalores en el orden en que se han extraído, y buscar en el gráfico el "codo" que permite descartar la varianza explicada por el resto de componentes, que se ubican a la derecha de la formación de dicho codo, figura IV.1.

FIGURA IV.1.

Componentes vs. Varianza explicada.

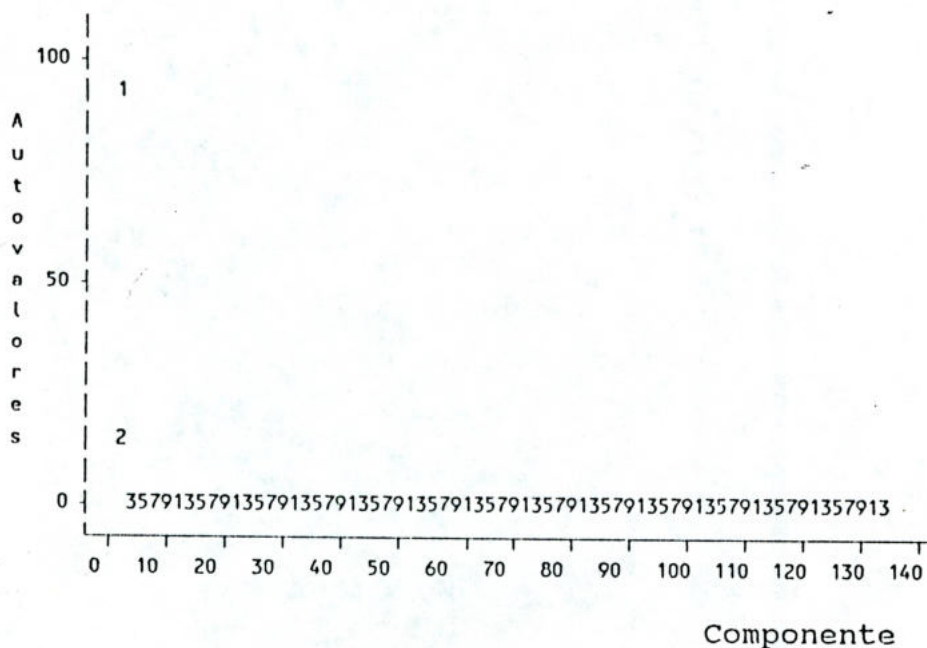


Tabla IV.1

Edición de los dos primeros componentes.

Componente	Valor propio	Porcentaje de inercia	Porcentaje acumulado
1	89.6743	0.679351	0.679351
2	10.7426	0.081383	0.760734

IV.1.2- Definición de los Componentes.

En muchas aplicaciones del Análisis en Componentes Prin-

cipales, y generalmente cuando se trata de estudios exploratorios, se toman aquellas variables más correlacionadas con los componentes seleccionados, como el conjunto de variables originales más importantes, para explicar el fenómeno que se estudia. En el presente estudio, las variables consideradas representan las características de las unidades observadas, las estaciones pluviométricas, en un período de tiempo definido. Por esta razón tiene sentido conservar el conjunto de variables originales, puesto que nos interesa observar la correlación de éstas con los componentes, a fin de dar una interpretación a los mismos. Para tal efecto representamos gráficamente las variables originales en el espacio de los dos primeros componentes. Considerando un círculo de radio unidad, centrado en el origen, siendo la distancia de cada variable al origen la proporción de varianza explicada por ambos componentes, según sus coordenadas que a su vez coinciden con sus coeficientes de correlación. Esta representación gráfica nos permite interpretar las componentes e identificar fácilmente las características pluviométricas del conjunto de estaciones en estudio. Se consideran las variables que están más alejadas del centro, es decir las variables que están realmente bien representadas por los dos componentes (mayor coeficiente de correlación). Las variables JN, JL, AG, que corresponden a los meses más lluviosos del año caracterizan al primer componente por su alta correlación con

estas variables, figura IV.2. Al mismo tiempo podemos apreciar que este grado de asociación disminuye con los meses más secos del año, especialmente los meses enero y febrero. Lo anterior indica que la variación en la precipitación está relacionada con el primer componente, esto nos permite clasificar las estaciones según el monto de precipitación mensual, ya que las mismas se agrupan a través del primer componente de acuerdo al régimen pluviométrico que les caracteriza, figura IV.3.

En relación al segundo componente, se observa una clara oposición entre meses húmedos y secos, lo que nos ha permitido caracterizar al segundo componente como variación en el calendario. Esto es porque el inicio del período de lluvias, así como su duración, varía para cada año, en las diferentes estaciones, de acuerdo a la ubicación geográfica de las mismas, y esta variación se da principalmente en los meses del año que están más relacionados con el segundo componente, figura IV.2.

#### IV.1.3- Proyección de las estaciones sobre el espacio de los dos Componentes Principales.

El análisis gráfico de las estaciones en el espacio de los dos primeros componentes nos permite caracterizar grupos de estaciones en función de las distancias euclidianas entre

éstas, al mismo tiempo que se corresponda con una proximidad geográfica.

Como bien sabemos el A.C.P. nos proporciona una técnica de reducción de datos, y nos permite representar las estaciones gráficamente después de una serie de iteraciones, que permite una reducción del número de dimensiones; es decir definimos un espacio más reducido que provee un buen ajuste para las estaciones y las variables, así que las distancias entre las estaciones en el sub-espacio definido por los dos primeros componentes provee una adecuada representación de las distancias en la matriz de datos originales, ya que dichos componentes expresan el 76% de la variación total que representa el conjunto de variables originales.

Debido a la maniobra de introducir observaciones simétricas el análisis realizado equivale a un A.C.P. sin centrar, y el origen corresponde a precipitación nula. Al proyectar las estaciones sobre el primer componente podemos apreciar su ubicación respecto al centro de gravedad de acuerdo a las características pluviométricas de las regiones a las que pertenecen; en ese sentido tenemos que las estaciones que están más cerca del centro (cero), son aquellas que corresponden a las zonas más secas, tal es el caso de las estaciones (0096, 1266, 1233, 3170, 3080, 8057, 3127, etc.). Caso contrario ocurre con las estaciones más alejadas del centro (cero) como 2011, 2044, 2013, 4085, etc., que corresponden a

las zonas, donde se registran las mayores precipitaciones, figuras IV.3 y IV.4.

#### IV.1.3.1- Agrupamiento de las estaciones, en base a la distancia euclidia.

En la representación gráfica, figura IV.3, se obtuvo grupos homogéneos de estaciones; que presentan patrones pluviométricos similares. La distancia euclidiana observada entre las estaciones, indica que muchas estaciones que conservan una cierta proximidad geográfica se ubican muy próximas en el espacio de los dos primeros componentes, conformando grupos homogéneos en base al factor climático considerado, precipitación. Por otra parte pudimos constatar que algunas estaciones ubicadas en una misma área geográfica, muy próximas, presentan distancias considerables en el plano de los dos primeros componentes; lo que parece indicar que estas poseen datos de precipitación muy distintos, y por ende no es posible agruparlas. Este fenómeno se da principalmente en las zonas de mayor altitud, en las cuales se hace difícil lograr su agrupamiento, con la técnica usada, debido a cambios bruscos en la precipitación.

Los resultados del agrupamiento se muestran con detalle en las figuras IV.3 y IV.4. respectivamente, en las cuales señalamos, con colores distintivos, los grupos formados con el uso del Análisis en Componentes Principales, y la cercanía

geográfica de las estaciones. Aunque se debe tener en cuenta que la representación obtenida es realmente una proyección en un espacio de dos dimensiones, por lo tanto la proximidad que se observa entre estaciones de grupos diferentes, que se entremezclan, no deben confundirse como tales, puesto que esas diferencias sólo podrían ser notables en un espacio de mayores dimensiones.

De este análisis gráfico se extrajeron los grupos de estaciones bien definidos, de los cuales se ha seleccionado una estación representativa por cada grupo, logrando así una reducción importante del número de estaciones a estudiar posteriormente, con el uso del Método Statis, ver tabla IV.2.

En relación a las estaciones que no se pudieron agrupar con el uso de la técnica A.C.P., se seleccionaron aquellas que están ubicadas en zonas de mucho interés para este estudio. El trazado de sus trayectorias nos permitirá tener una apreciación visual de la evolución del clima pluviométrico en esas estaciones a través del periodo estudiado, a fin de establecer similitudes entre éstas, que nos permitan lograr un agrupamiento.

La tabla ( anexo N° 1), contiene los códigos de las estaciones, a ser analizadas con la técnica Statis, a las cuales se le trazaran sus trayectorias.

Tabla IV. 2

Agrupamiento de las estaciones, extraído del A.C.P.

Grupo Estación	Alt.	msnm	Grupo Estación	Alt.	msnm	Grupo Estación	Alt.	msnm	Grupo Estación	Alt.	msnm	Grupo Estación	Alt.	msnm
	4012	350		8072*	70		4026	850		3114	2155		2253	255
I	4022*	404	IX	8073	115	XVI	4028	1280	XXIV	3196*	2450		2265	188
	4021	431		8075	950		4038*	800		3198	2230	XXXI	2286*	176
	4053	880	X	3134*	1560		3085	840		3115	1666		2295	152
II	4047*	750		3133	1020	XVII	3073*	2000	XXV	3099*	1657		2292	230
	4044	810					3074	2100		3098	1980		2185	1180
	4055	330		3111	3685							XXXII	2115	775
III	4057*	220	XI	3112*	4126		3013	7		1271	428		2156*	790
	4058	180		3072	3560	XVIII	3034*	28	XXVI	1274*	582		2147	1601
	4040*	1080		3161	2878		8071	24		1204	658		2187	1287
IV	4045	500	XII	2183	1210	XIX	3025	40		2149	49	XXXIII	2176*	1200
				2195*	1693		3035*	130		2150*	63		2168	1470
V	4016	1000		3166	2089		3007	21	XXVII	2152	62		2166	1890
	4018*	1520	XIII	3190	239					2141	124			
				3194*	212	XX	2229	278		2132	110		3188	250
VI	2136	1157					2248*	200					3186	245
	2148*	3000		3191	240		2264	225		2299*	163	XXXIV	3184*	200
									XXVIII	2277	275		3192	174
				1186	406	XXI	2266*	375		2267	230		3189	220
VII	2252	1195	XIV	1187	430		2246	285					3193	196
	2251*	950		1198*	523					3118*	300			
	2128	2114		1199	551		2133	292	XXIX	3120	205			
	2241	941		2201	627	XXII	2146*	272		3128	202			
							2129	237						
VIII	2118	844		3183	172					3136	288			
	2127	621	XV	3158	140		2114*	569		3162*	205			
	2119*	559		3155*	165	XXIII	2162	1001	XXX	3154	250			
				3156	107					3185	185			

\*Estación representativa del grupo.

En esta primera clasificación se señala la altitud, a la cual están ubicadas las diferentes estaciones; por

considerársela un factor importante en la determinación del clima pluviométrico en regiones montañosas de la zona Intertropical. Los patrones de precipitación cambian significativamente a medida que aumenta la altitud, observándose las mayores variaciones en las zonas de mayor altitud, en las cuales es casi imposible formar grupos homogéneos de estaciones, aún cuando su ubicación geográfica sea muy próxima. Esto se puede constatar en la tabla del anexo N° 1, donde se aprecia que la generalidad de las estaciones que no forman grupos son las que están ubicadas en las mayores altitudes.

#### IV.2 - Resultados del Statis.

##### IV.2.1- Análisis de la Inter-estructura.

La matriz  $R_v$  nos muestra que las correlaciones entre las tablas de datos son en general muy altas, tabla IV.3, lo cual indica que existe un grado de asociación significativo entre las diferentes tablas, que describen el clima en el período estudiado. Estos resultados ratifican, que el presente estudio trata un fenómeno evolutivo a través del tiempo.

Podemos apreciar además que las variaciones que se presentan en el clima, entre los diferentes años de estudio son similares. Sólo se observan dos correlaciones sobresalientes, el valor más alto (0.789), debido a las caracterís-

ticas climáticas muy similares entre dos años húmedos 1978 y 1980, y el valor más bajo (0.611), el cual se debe a las diferencias existentes en la estructura de las tablas de datos correspondientes al año más húmedo (1976), y al año más seco (1981). Sin embargo esas correlaciones no se dan ni siquiera entre dos años consecutivos, lo que nos lleva a concluir que las variaciones presentes en el clima son fluctuantes, por lo menos en el período estudiado, y que los cambios que se registran no muestran ninguna tendencia global.

Tabla IV.3.

$$\text{MATRIZ RV(K,L) = TR(WKD*WLD)/(NORME(WKD)*NORME(WLD))}$$

	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983
973	1.000										
974	.761	1.000									
975	.778	.758	1.000								
976	.629	.706	.707	1.000							
977	.694	.732	.734	.760	1.000						
978	.714	.763	.760	.736	.795	1.000					
979	.718	.743	.751	.687	.749	.793	1.000				
980	.660	.705	.681	.746	.770	.789	.718	1.000			
981	.667	.684	.707	.611	.683	.737	.752	.682	1.000		
982	.693	.765	.747	.746	.751	.791	.752	.729	.706	1.000	
983	.616	.631	.660	.701	.740	.759	.688	.752	.642	.703	1.000

En la tabla IV.4, que se muestra a continuación, se puede apreciar que los dos primeros ejes explican la mayor proporción de inercia, un 79,62% de la variación total representada por el conjunto de tablas. Esto significa que se

puede tener una buena representación gráfica de las 11 tablas en el plano definido por los dos primeros ejes, a fin de observar, en forma global, las semejanzas o diferencias existentes entre estas tablas. Por otra parte tenemos que el primer eje reconstruye el 74,66% de la inercia, lo cual representa un valor óptimo para la construcción del compromiso que se hace sobre este eje.

Tabla IV.4.

EDICION DE LOS 11 VALORES PROPIOS NO NULOS

		VALOR PROPIO	PORCENTAJE DE INERCIA	PORCENTAJE ACUMULADO
EJE NUMERO	1	8.212870	74.66	74.66
EJE NUMERO	2	.544943	4.95	79.62
EJE NUMERO	3	.399700	3.63	83.25
EJE NUMERO	4	.310972	2.83	86.08
EJE NUMERO	5	.262310	2.38	88.46
EJE NUMERO	6	.251281	2.28	90.75
EJE NUMERO	7	.239642	2.18	92.92
EJE NUMERO	8	.212746	1.93	94.86
EJE NUMERO	9	.202384	1.84	96.70
EJE NUMERO	10	.194397	1.77	98.47
EJE NUMERO	11	.168758	1.53	100.00

En la representación gráfica de la Interestructura, los puntos-tabla se distribuyen muy dispersos; se observa que los vectores OWK están muy alejados los unos de los otros, algunos de ellos llegan a ser casi perpendiculares, figura IV.5. Esto significa que no hay una estructura de estaciones comu-

nes a los diferentes años, es decir se pone en evidencia las desviaciones existentes de un año a otro, lo cual indica que es imposible establecer un patrón climático, desde el punto de vista global en el período estudiado debido a la influencia que ejerce el factor tiempo sobre el mismo. Los años secos se ubican opuestos a los húmedos, notándose una marcada diferencia entre años con características climáticas diferentes.

Figura IV.5. REPRESENTACION GRAFICA DE LA INTERESTRUCTURA  
 (Relación gráfica de las tablas-años con respecto al compromiso W)

11	973
21	
31	
41	
51	
61	
71	
81	
91	975
101	
111	974
121	
131	
141	
151	981
161	
171	
181	979
191	
201	
211	
221	
231	
241	
251 *	
261	982
271	
281	
291	
301	978
311	
321	
331	
341	
351	
361	977
371	
381	
391	
401	
411	
421	
431	976 980
441	
451	
461	
471	
481	
491	
501	983

La representación gráfica anterior, figura IV.5, nos permite apreciar la importancia que tiene cada tabla en la construcción del compromiso:

En primer lugar tenemos que los puntos tablas se ubican cerca al círculo de radio unidad, y reflejan que las coordenadas sobre el primer eje son del mismo orden, definiendo vectores  $W_k$  ( $k=1, \dots, 11$ ), de longitud similar. Lo que nos da una idea de lo bien representado que está cada año sobre el primer eje. Sin embargo las imágenes euclidianas que se observan, no son más que un reflejo deformado de la realidad, que sólo sería palpable en una representación gráfica sobre un número considerable de ejes. Por esta razón observamos, paralelamente a este análisis la calidad de la representación de las diferentes tablas de datos, ver tabla IV.5, en la cual se aprecia que los cosenos cuadrados de cada tabla con respecto al primer eje son, en general bastante altos, y prácticamente de igual magnitud. Esto ratifica que las tablas  $W_k$  están bien representadas por este eje, y en general las contribuciones de los diferentes años en la construcción del compromiso son del mismo orden.

Tabla IV.5.

CALIDAD DE LA REPRESENTACION CI-DESSOUS : NORME

	EXACTA:	PROYECT:	COS2*1000
973	1.00	.85	716.06
974	1.00	.89	788.96
975	1.00	.88	772.68
976	1.00	.89	793.11
977	1.00	.89	788.08
978	1.00	.91	834.66
979	1.00	.90	804.71
980	1.00	.87	751.68
981	1.00	.94	876.99
982	1.00	.88	782.67
983	1.00	.84	702.98

Sin pérdida de generalidad, podríamos decir que la utilidad más importante que representa la inter-estructura está en construir un compromiso, que surge como un promedio ponderado entre las diferentes representaciones de las estaciones (individuos), y las variables que darían las tablas por separado. El estudio de la inter-estructura provee los pesos que afectan cada una de estas representaciones, tabla IV.6, para lograr una representación global que es una síntesis de las k tablas. A continuación se muestran los compromisos de las tablas los cuales intervienen como los coeficientes de la combinación lineal de los  $W_k D$  (resumen de cada tabla), para determinar el compromiso WD.

Tabla IV.6.

LOS COMPROMISOS WD COMO UNA COMBINACION LINEAL DE LOS WKD

Los coeficientes de la combinación lineal son los componentes del primer vector propio de C multiplicado por .3489 para que la norma del compromiso sea la media aritmética de la norma de WKD.

.1015	* W 1D/NORME(W 1 D)+
.1058	* W 2D/NORME(W 2 D)+
.1062	* W 3D/NORME(W 3 D)+
.1029	* W 4D/NORME(W 4 D)+
.1078	* W 5D/NORME(W 5 D)+
.1108	* W 6D/NORME(W 6 D)+
.1071	* W 7D/NORME(W 7 D)+
.1055	* W 8D/NORME(W 8 D)+
.1007	* W 9D/NORME(W 9 D)+
.1075	* W10D/NORME(W10 D)+
.1010	* W11D/NORME(W11 D)+

IV.2.2- Análisis de la Intra-estructura.

En la representación gráfica de las variables, y estaciones de las diferentes tablas de datos, en el plano del compromiso, encontramos que la inercia reconstituida por el compromiso es inferior a la que reconstituye un A.C.P., si se consideran las tablas de datos superpuestas, (Comparar la tabla IV.7 con la tabla IV.1). Las tablas alejadas al compromiso son afectadas, por eso hay una pérdida de inercia, puesto que todas son proyectadas sobre un mismo plano que surge como un promedio ponderado de las diferentes representaciones individuales.

Tabla IV.7.

PORCENTAJE DE INERCIA EXPLICADA POR CADA EJE.

	Valor propio	Porcentaje de inercia	Porcentaje acumulado
Eje número 1	.907714	37.48	37.48
Eje número 2	.373823	15.43	52.91

Al observar el gráfico de las correlaciones de las variables con los ejes del compromiso, podemos apreciar que la evolución de las variables en los diversos estudios (tablas), permite formar grupos, según sus características similares. En ese sentido tenemos que los meses más secos del año se distinguen de los más húmedos, se sitúan opuestos a través del segundo eje, ver anexo N °3 (similar a la figura IV.2). Esto nos ha permitido denominar al segundo eje, como "variación en el calendario", puesto que este eje es el que mejor se relaciona con las variables, las cuales definen de forma implícita tanto el inicio del período de lluvias, así como también la duración del mismo, para cada año. Esta caracterización del segundo eje nos permitirá interpretar el recorrido vertical de las trayectorias, es decir, los movimientos verticales entre años consecutivos estarán indicando que hubo un cambio en el inicio del período de lluvias o en la duración del mismo de un año a otro.

La representación gráfica de los individuos corresponde exactamente a lo que produciría un A.C.P. realizado sobre la

superposición de las tablas iniciales afectadas de un coeficiente  $\sqrt{a_k}$ , siendo  $a_k$  el coeficiente que afecta a  $W_k D$  en la construcción de la matriz  $WD$  del compromiso. Por haber obtenido coeficientes  $a_k$  poco distintos, (ver tabla IV.6). Esta gráfica resulta prácticamente idéntica a la gráfica resultante del A.C.P. que hiciéramos en la primera etapa de este trabajo. Compárese figura IV. 3 con Anexo N° 3., donde podemos apreciar que las imágenes euclidianas son equivalentes, y por ende la interpretación que hicimos anteriormente sobre el primer eje (primer componente) es válida también para explicar el compromiso. Por lo tanto, los movimientos horizontales de las trayectorias sobre el eje compromiso serán interpretadas como variación en la precipitación anual (entre años consecutivos).

#### IV.2.3 - Análisis de las trayectorias de los individuos.

La inter-estructura, es decir, los productos escalares entre tablas  $W_k$ , y las imágenes euclidianas de los estudios asociados a estos productos escalares, ha puesto en evidencia, sin explicar, las posiciones relativas de las tablas entre ellas y el compromiso. Las trayectorias permiten representar las diferentes posiciones de un individuo (estación) en cada estudio que lo describe en el plano definido por el compromiso. Se trata efectivamente de una trayectoria porque se tratan las mismas variables medidas en años sucesivos.

El análisis de las trayectorias nos ha permitido observar aquellas estaciones que presentan movimientos similares, en cuanto a la variación en la precipitación como en el calendario.

#### IV.3 - Clasificación del clima pluviométrico en base al monto anual de precipitación.

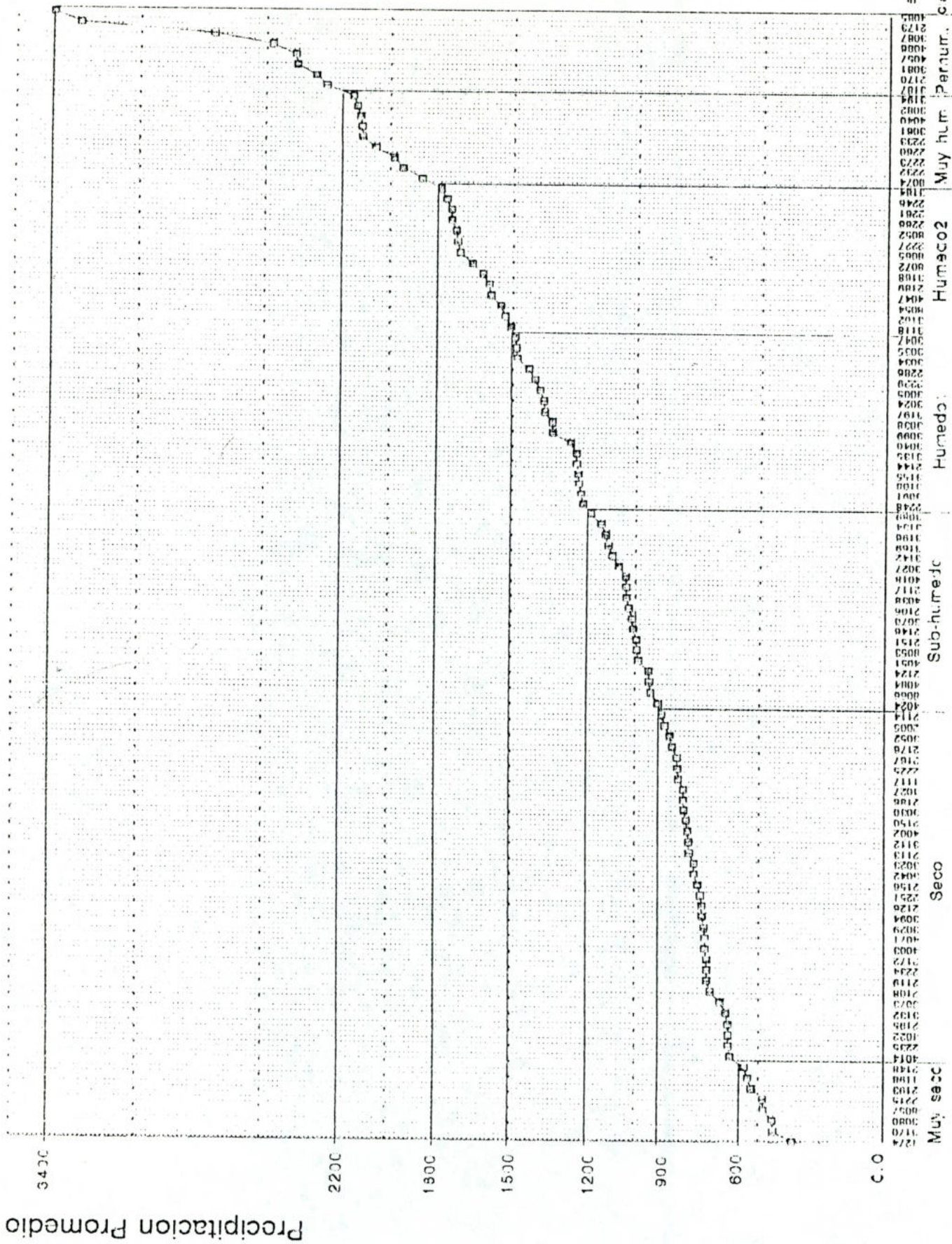
No debemos perder de vista que nuestro principal objetivo, al utilizar el Statis es estudiar la evolución del clima pluviométrico a través del tiempo. De este análisis nos interesa principalmente determinar patrones climáticos en aquellas estaciones que perteneciendo a zonas con características pluviométricas similares, en cuanto al monto anual de precipitación, al mismo tiempo muestran similitud en las trayectorias a través de los 11 años de estudio. Para tal efecto hemos categorizado el clima en base al monto de precipitación anual como se muestra en la tabla IV.8, para luego clasificar las estaciones atendiendo a estas categorías como se muestra en la figura IV.6.

Tabla IV.8.

<u>Tipo de clima</u>	<u>(prom. anual)</u>
Muy seco	menos de 600 mm
Seco	600 - 900 mm
Subhúmedo	900 - 1200 mm
Húmedo1	1200 - 1500 mm
Húmedo2	1500 - 1800 mm
Muy húmedo	1800 - 2200 mm
Perhúmedo	2200 y más mm

Figura IV.6

EN BASE AL PROMEDIO DE PRECIPITACION ANUAL



#### IV.4 - Grupos de clima pluviométrico definidos mediante el análisis de las trayectorias.

Con la inspección visual de las trayectorias de las estaciones; observando los movimientos verticales y horizontales así como la longitud de los mismos, hemos logrado definir tres grupos de estaciones con patrones de movimientos similares, los cuales se describen a continuación:

**Grupo 1: Clima pluviométrico estable:** Corresponden a este grupo aquellas estaciones, cuyas trayectorias han mostrado que no se registran variaciones importantes en sentido vertical ni en sentido horizontal, lo cual indica que no se observa variación en el monto de precipitación anual, como tampoco en el calendario. En base a la clasificación previa que hiciéramos del clima, obtenemos finalmente los siguientes Subgrupos climáticos:

- 1.1 Clima pluviométrico estable muy seco.
- 1.2 Clima pluviométrico estable seco.
- 1.3 Clima pluviométrico estable subhúmedo.
- 1.4 Clima pluviométrico estable húmedo.

**Grupo 2: Clima pluviométrico con variación en el calendario:** Corresponden a este grupo las estaciones que experimentan variaciones importantes a través del segundo eje, es decir, la variación vertical, entre años consecutivos, predomina sobre la variación horizontal.

Subgrupos de clima pluviométrico con variación en el calendario:

- 2.1 Clima pluviométrico muy seco.
- 2.2 Clima pluviométrico seco.
- 2.3 Clima pluviométrico subhúmedo.
- 2.4 Clima pluviométrico húmedo 1.
- 2.5 Clima pluviométrico húmedo 2.
- 2.6 Clima pluviométrico muy húmedo.
- 2.7 Clima pluviométrico perhúmedo.

Grupo 3: Clima pluviométrico con variación en el calendario y en la precipitación: Agrupamos dentro de esta categoría aquellas estaciones que presentan variaciones importantes tanto a través del primer eje como del segundo, en longitudes prácticamente iguales.

Subgrupos de clima pluviométrico con variación en el calendario y en la precipitación:.

- 3.2 Clima pluviométrico seco.
- 3.3 Clima pluviométrico subhúmedo.
- 3.4 Clima pluviométrico húmedo 1.
- 3.5 Clima pluviométrico húmedo 2.
- 3.6 Clima pluviométrico muy húmedo.
- 3.7 Clima pluviométrico perhúmedo.

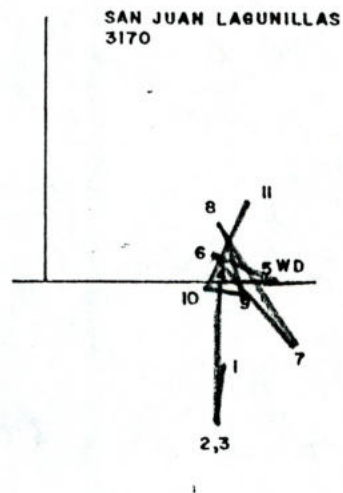
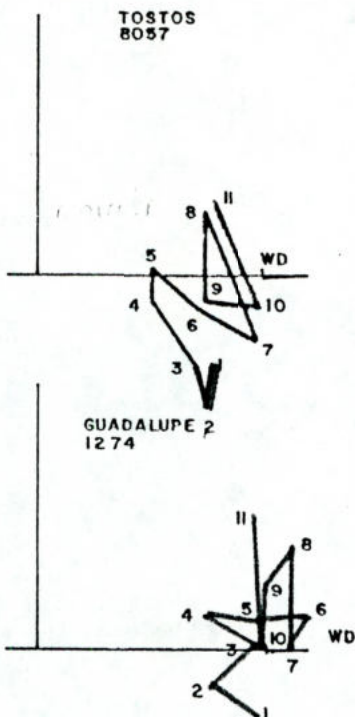
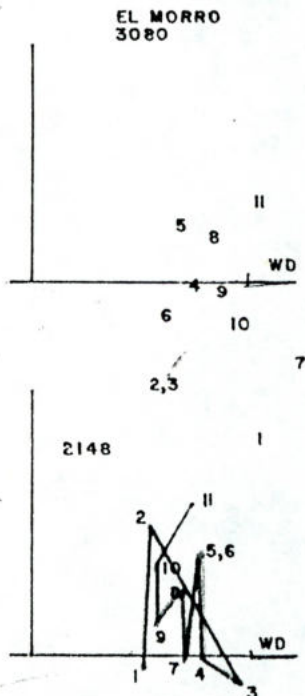
En las siguientes presentaciones gráficas se muestran las trayectorias de las estaciones que fueron seleccionadas para

ser analizadas con el Statis. El color de cada trayectoria indica el color con el cual está señalada la estación o grupo de estaciones, si se trata de la trayectoria de un grupo, sobre el mapa geográfico (figura IV.4). Además se muestra un segundo agrupamiento de las estaciones; logrado mediante el análisis de las trayectorias, descrito anteriormente. Tal agrupamiento se puede observar claramente en la figura IV.7; donde se muestra la ubicación geográfica de las diferentes estaciones que corresponden a dichos grupos climáticos, observándose que éstas están distribuidas en las diferentes zonas del área en estudio. Esto se debe al hecho de que en esas zonas coincide la combinación de factores climáticos y geográficos que controlan la precipitación. Esos factores tienen que ver naturalmente con la interacción entre los flujos de aire, las características de estos flujos de aire (su contenido de humedad, estabilidad e inestabilidad atmosférica, su temperatura, etc.) con el relieve y sus atributos. En relación a éstos es importante la orientación, la hipsometría, el tipo (valle, vertiente, etc.), el tipo de cobertura vegetal, etc.

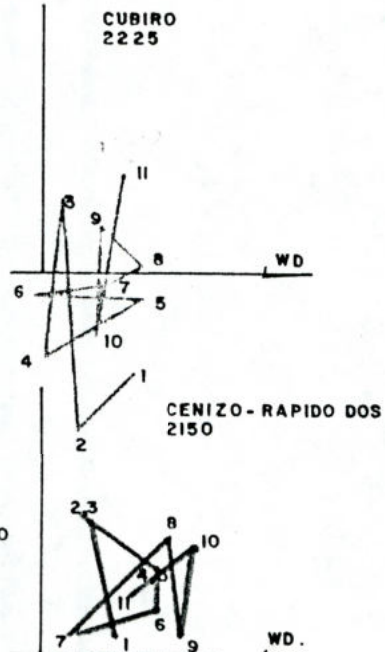
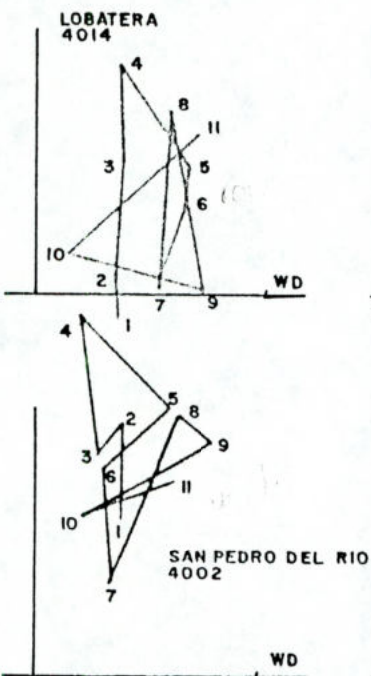
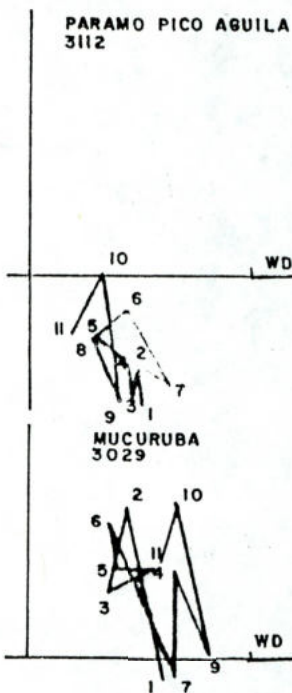
Es oportuno señalar que los resultados obtenidos son el punto de partida de investigaciones de mayor envergadura, donde se estudiará a fondo las hipótesis que han surgido en relación a la similitud en los patrones climáticos, para diferentes zonas.

# GRUPO I : CLIMA ESTABLE

## I.1 CLIMA MUY SECO

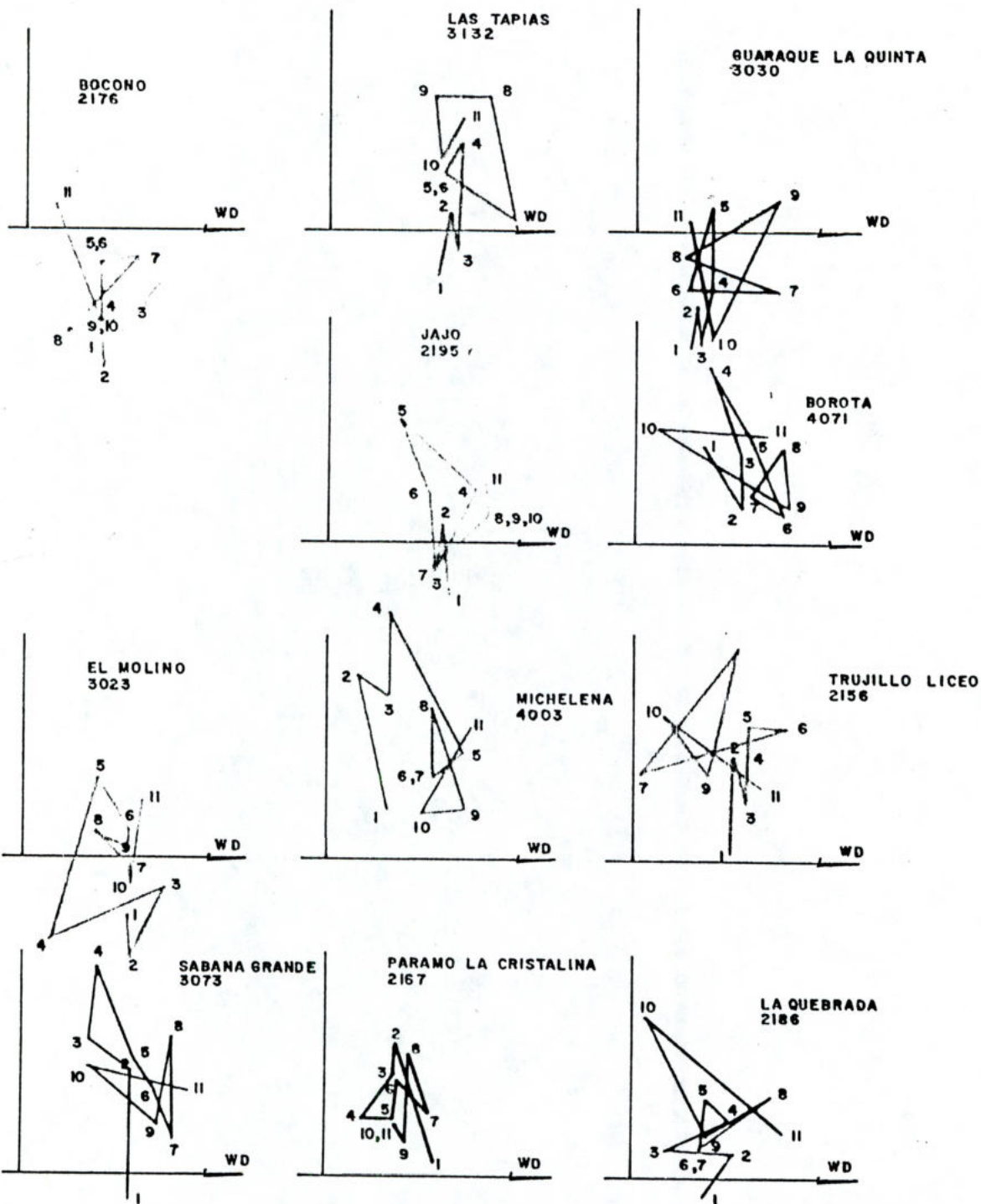


## I.2 CLIMA SECO



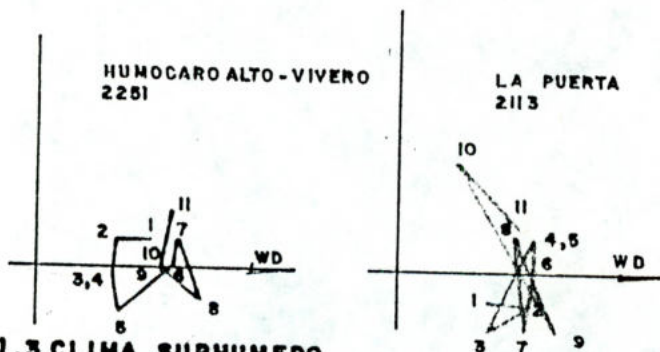
# GRUPO I: CLIMA ESTABLE

## 1.2 CLIMA SECO

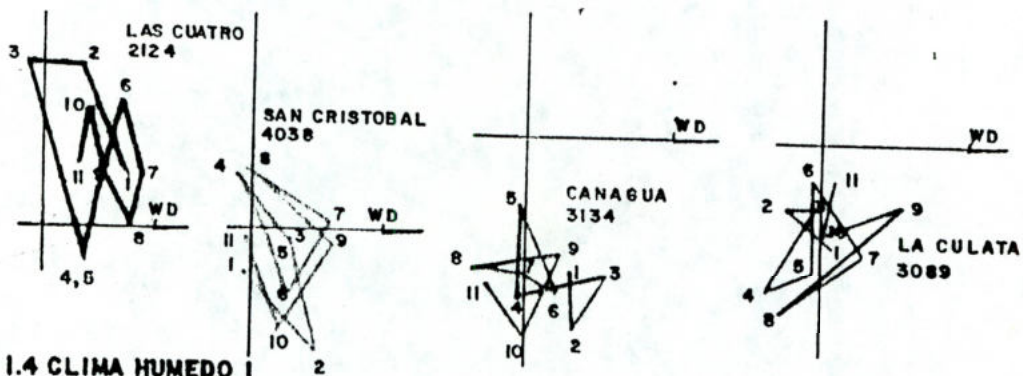


# GRUPO I: CLIMA ESTABLE

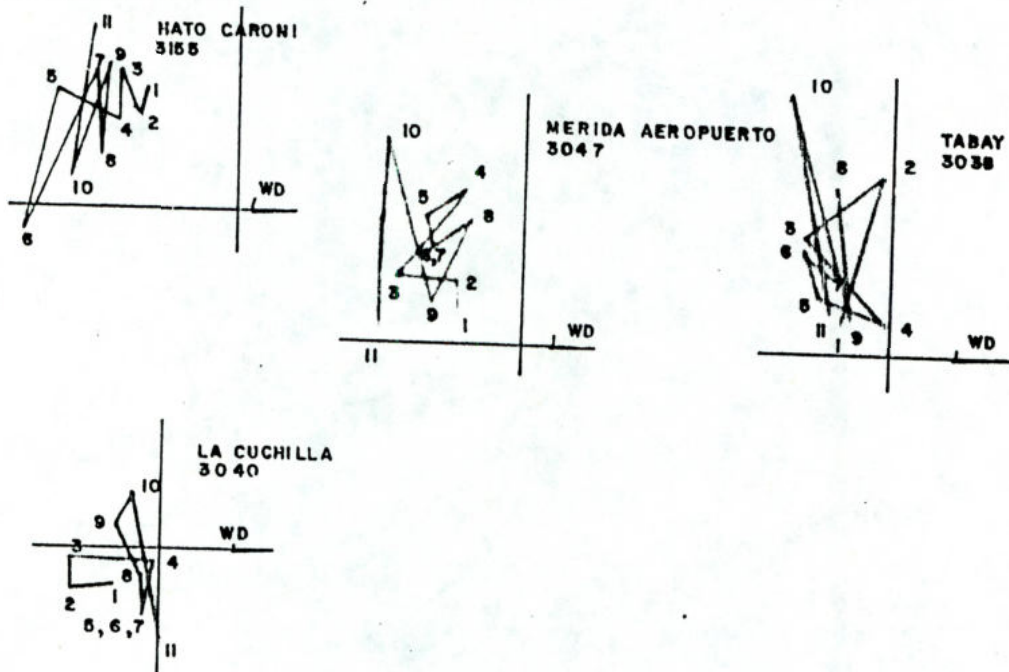
## 1.2 CLIMA SECO



## 1.3 CLIMA SUBHUMEDO

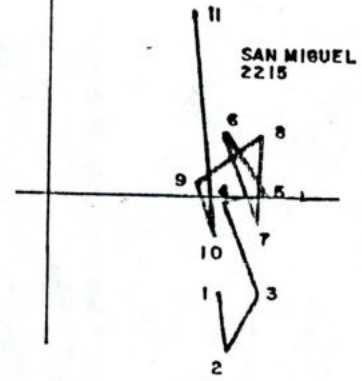
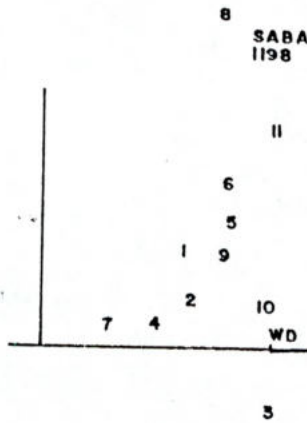
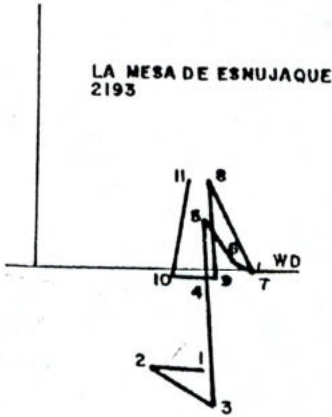


## 1.4 CLIMA HUMEDO I

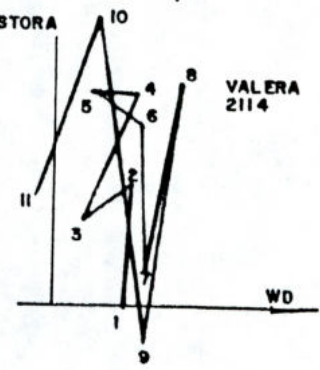
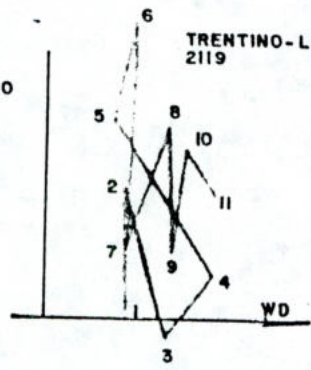
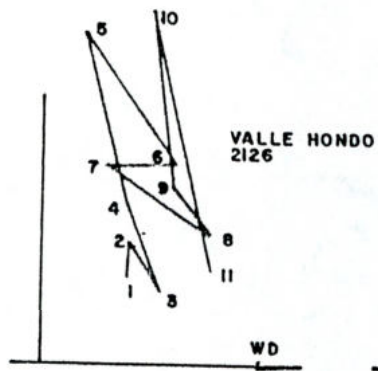
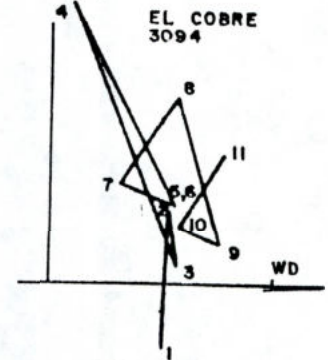
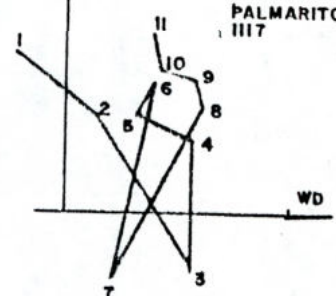
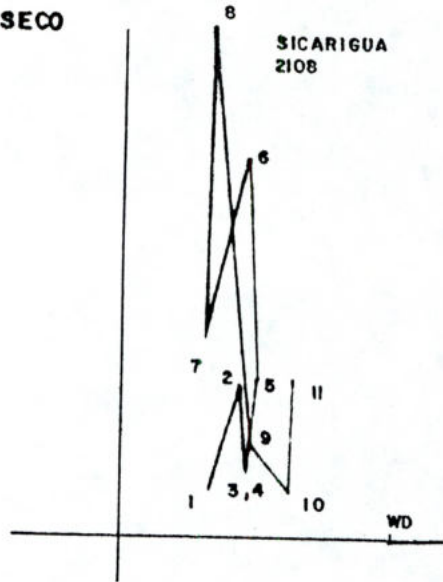


# GRUPO 2: CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

## 2.1 CLIMA MUY SECO

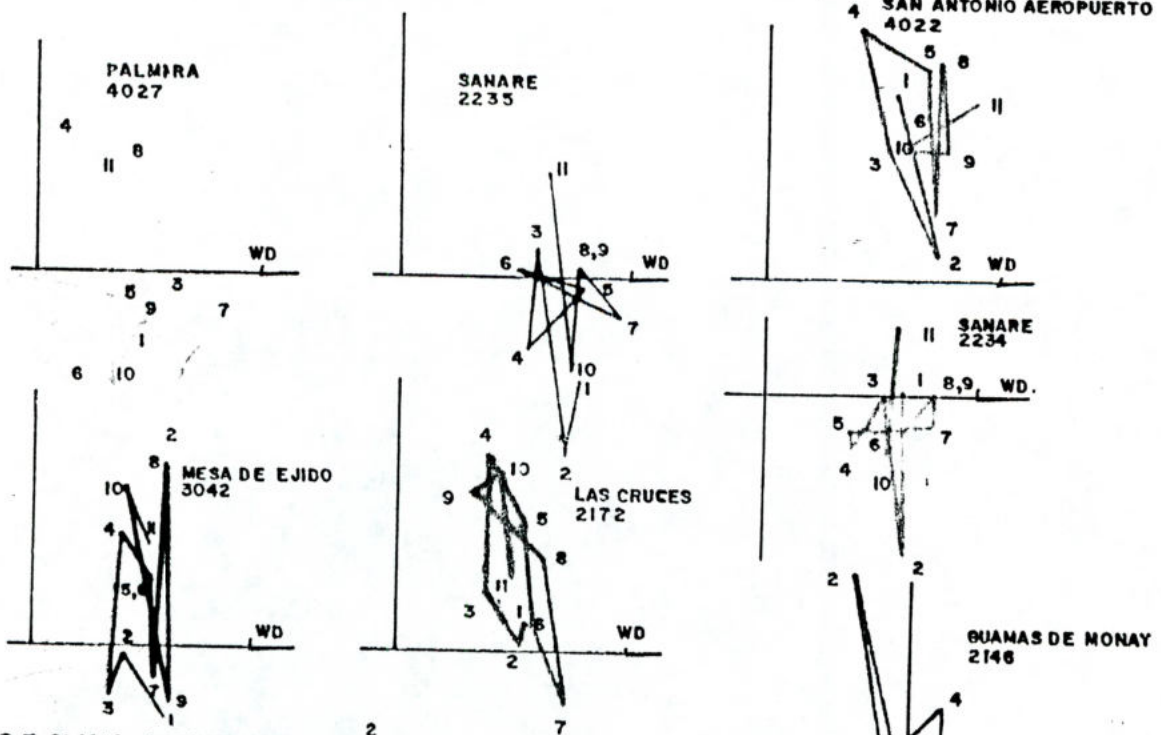


## 2.2 CLIMA SECO

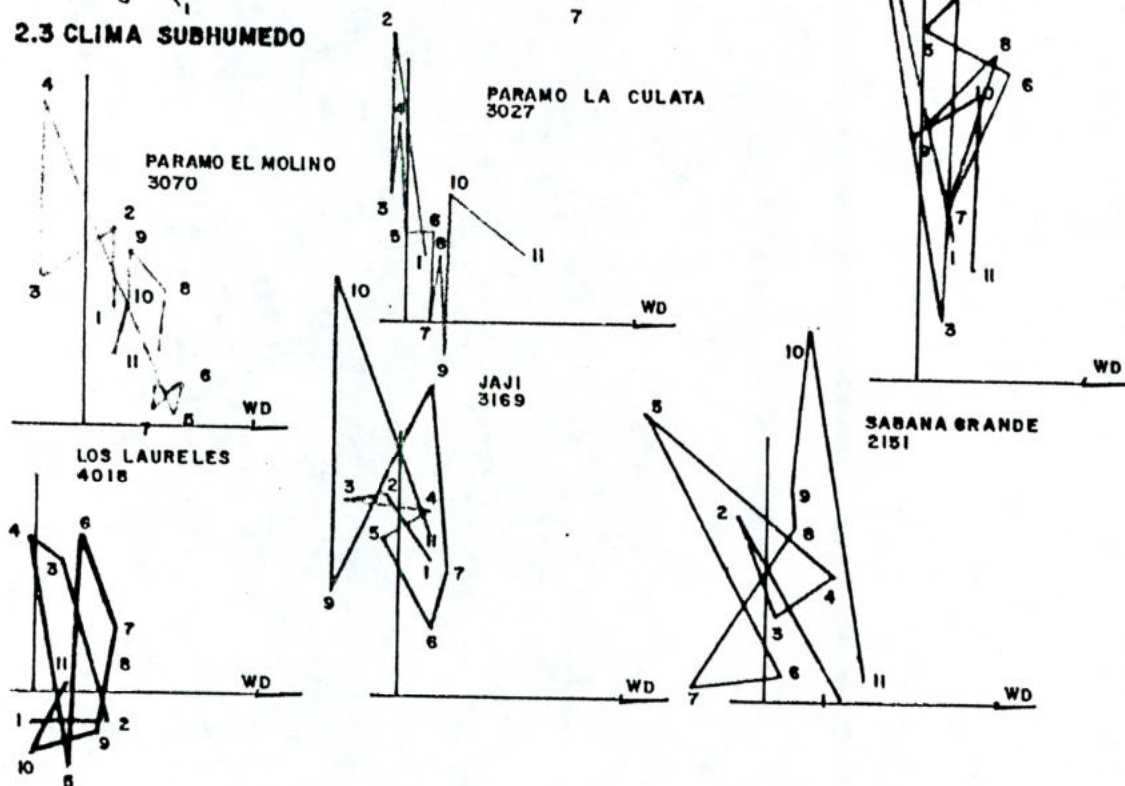


# GRUPO 2 : CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

## 2.2 CLIMA SECO

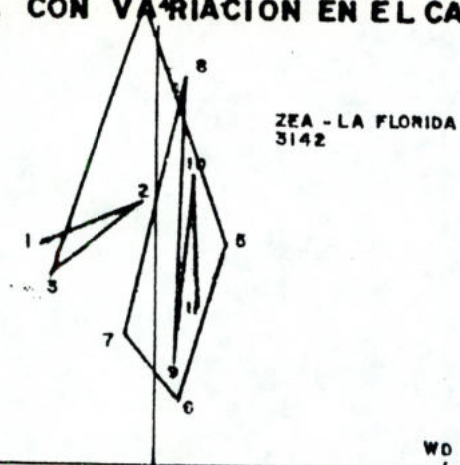


## 2.3 CLIMA SUBHUMEDO

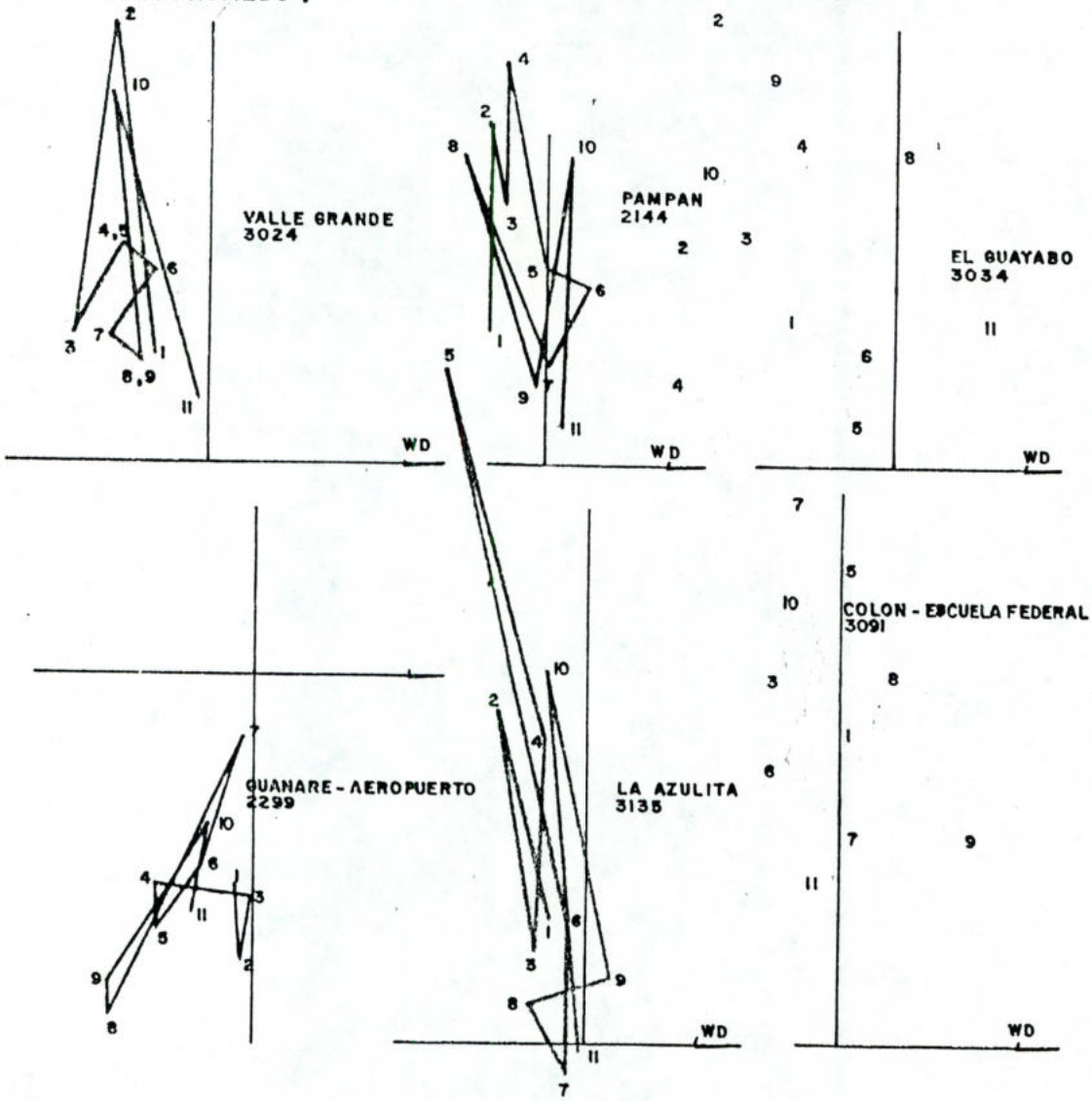


## GRUPO 2 : CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

### 2.3 CLIMA SUBHUMEDO

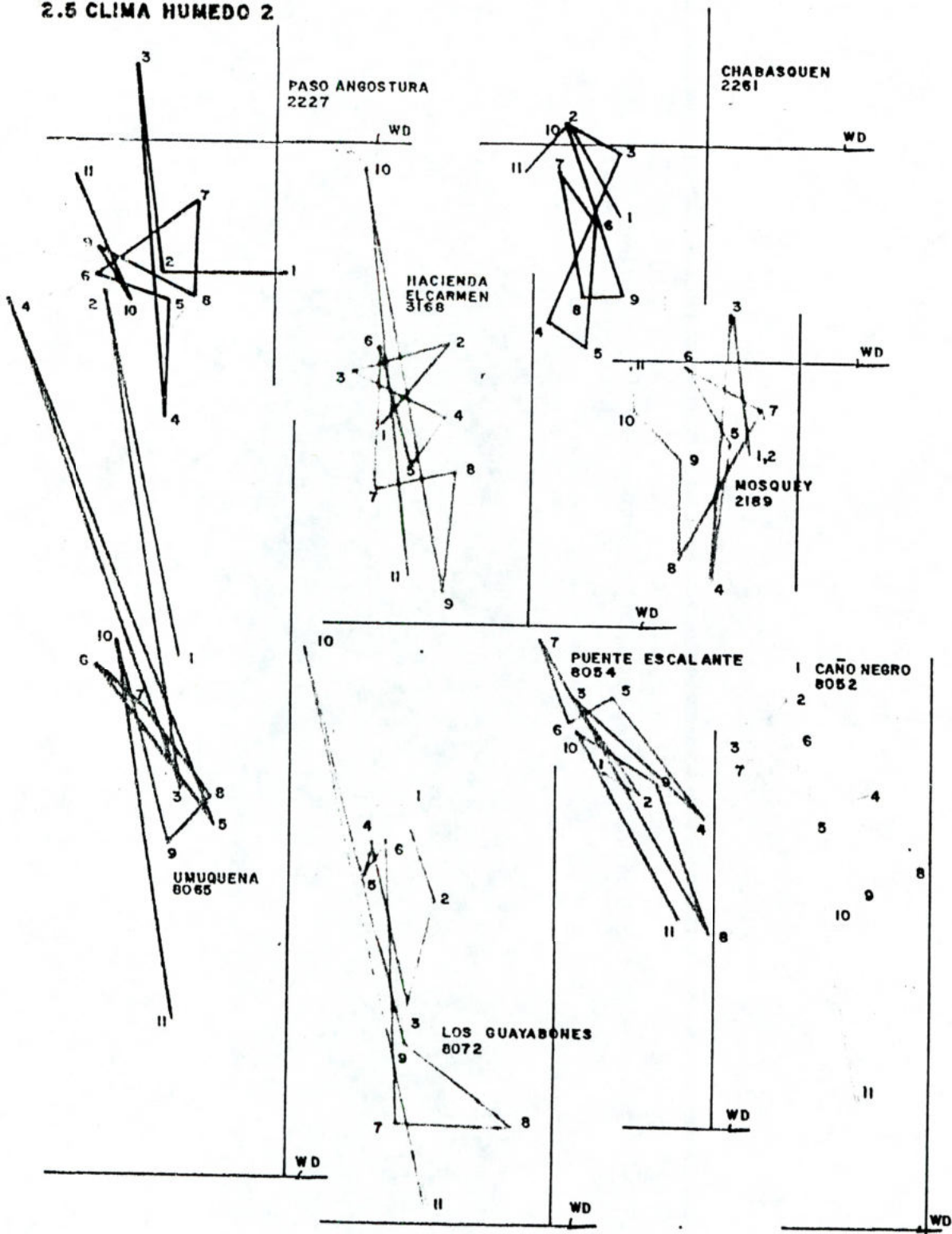


### 2.4 CLIMA HUMEDO I



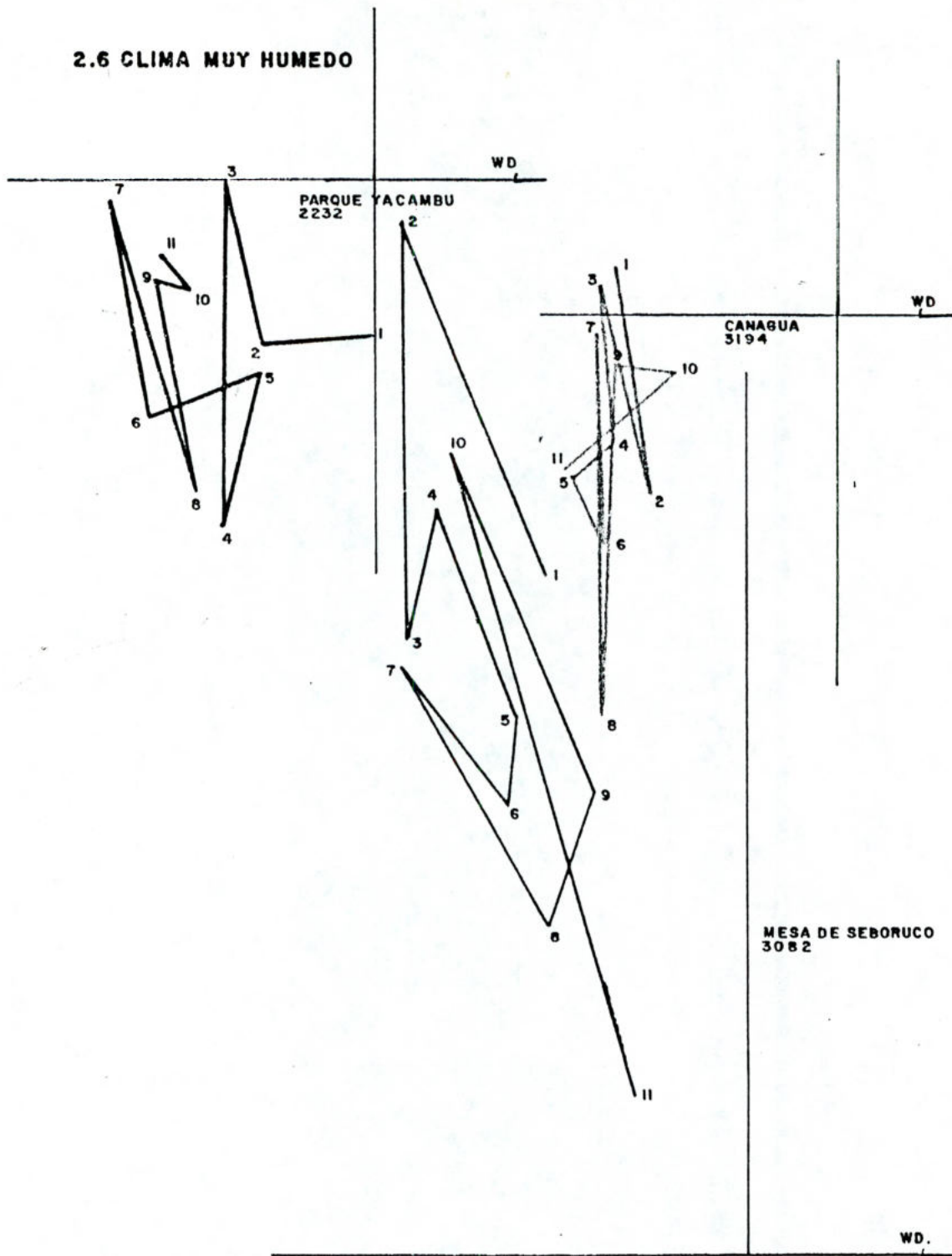
# GRUPO 2 : CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

## 2.5 CLIMA HUMEDO 2



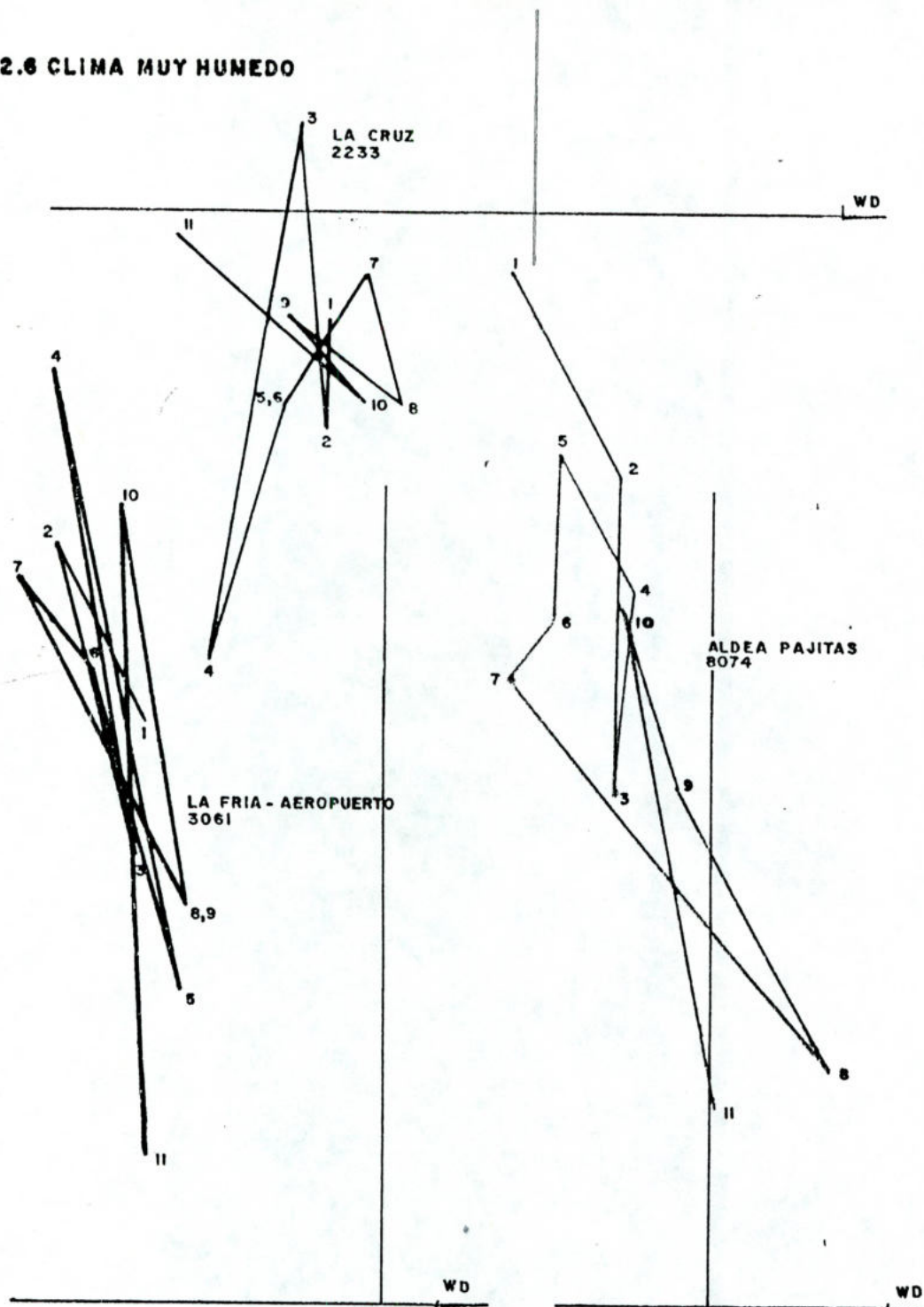
# GRUPO 2 : CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

## 2.6 CLIMA MUY HUMEDO



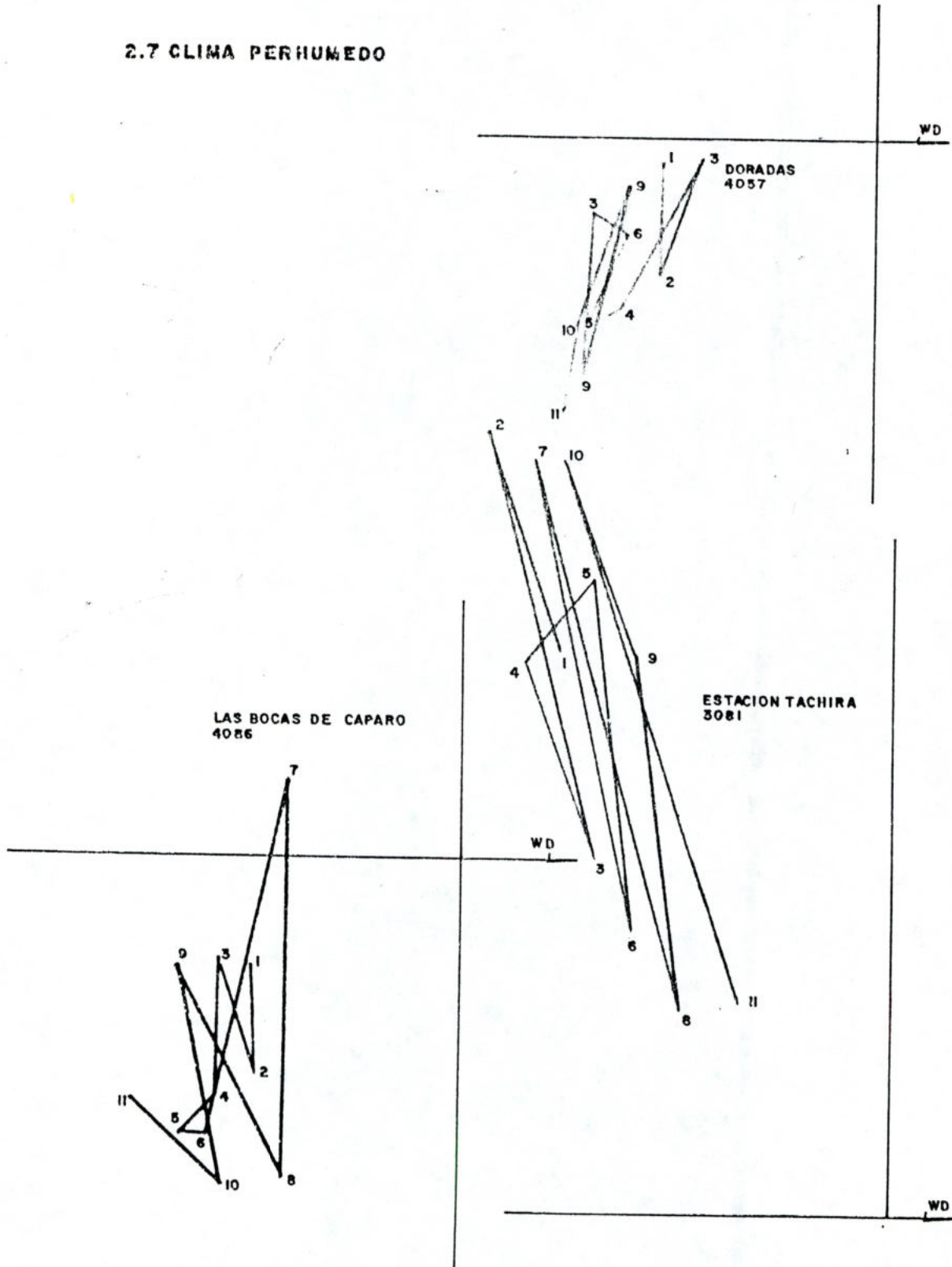
# GRUPO 2 : CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

## 2.6 CLIMA MUY HUMEDO



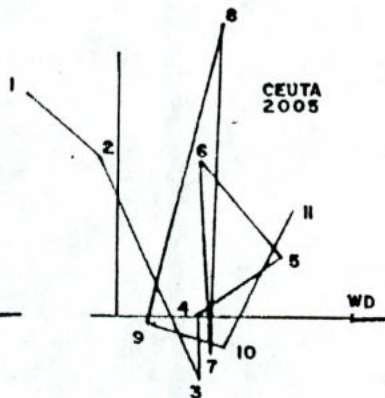
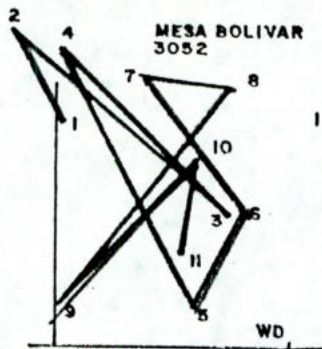
# GRUPO 2 : CLIMA CON VARIACION EN EL CALENDARIO

## 2.7 CLIMA PERHUMEDO

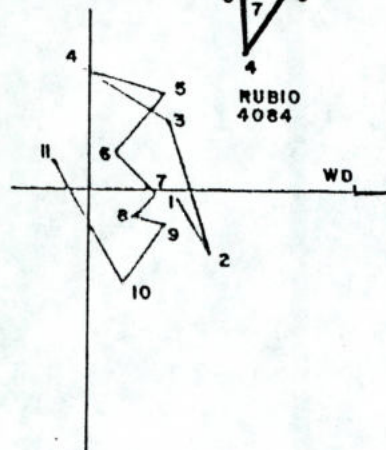
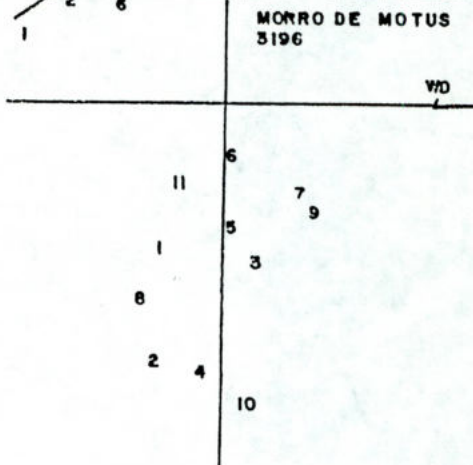
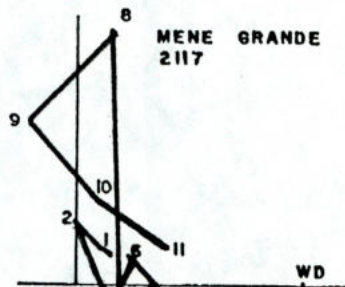
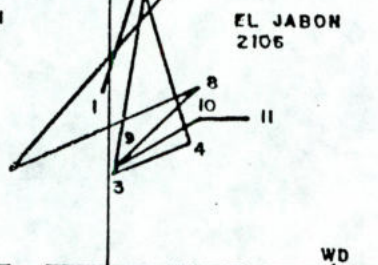
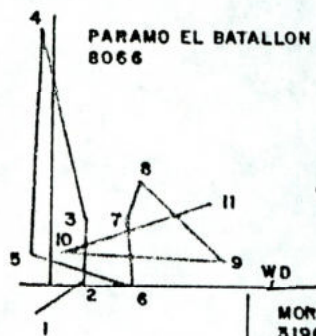
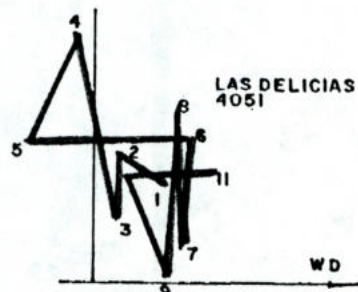
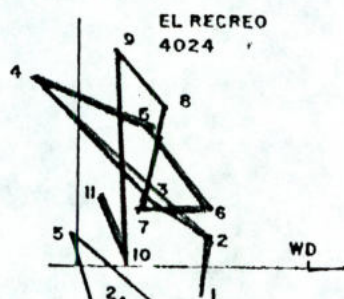
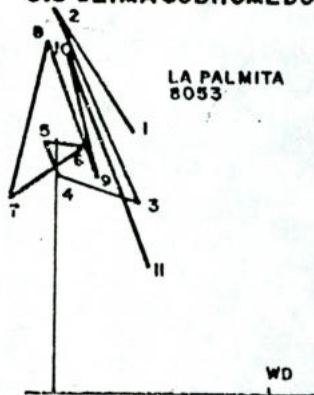


# GRUPO 3: CLIMA CON VARIACION EN LA PRECIPITACION Y EN EL CALENDARIO

## 3.2 CLIMA SECO

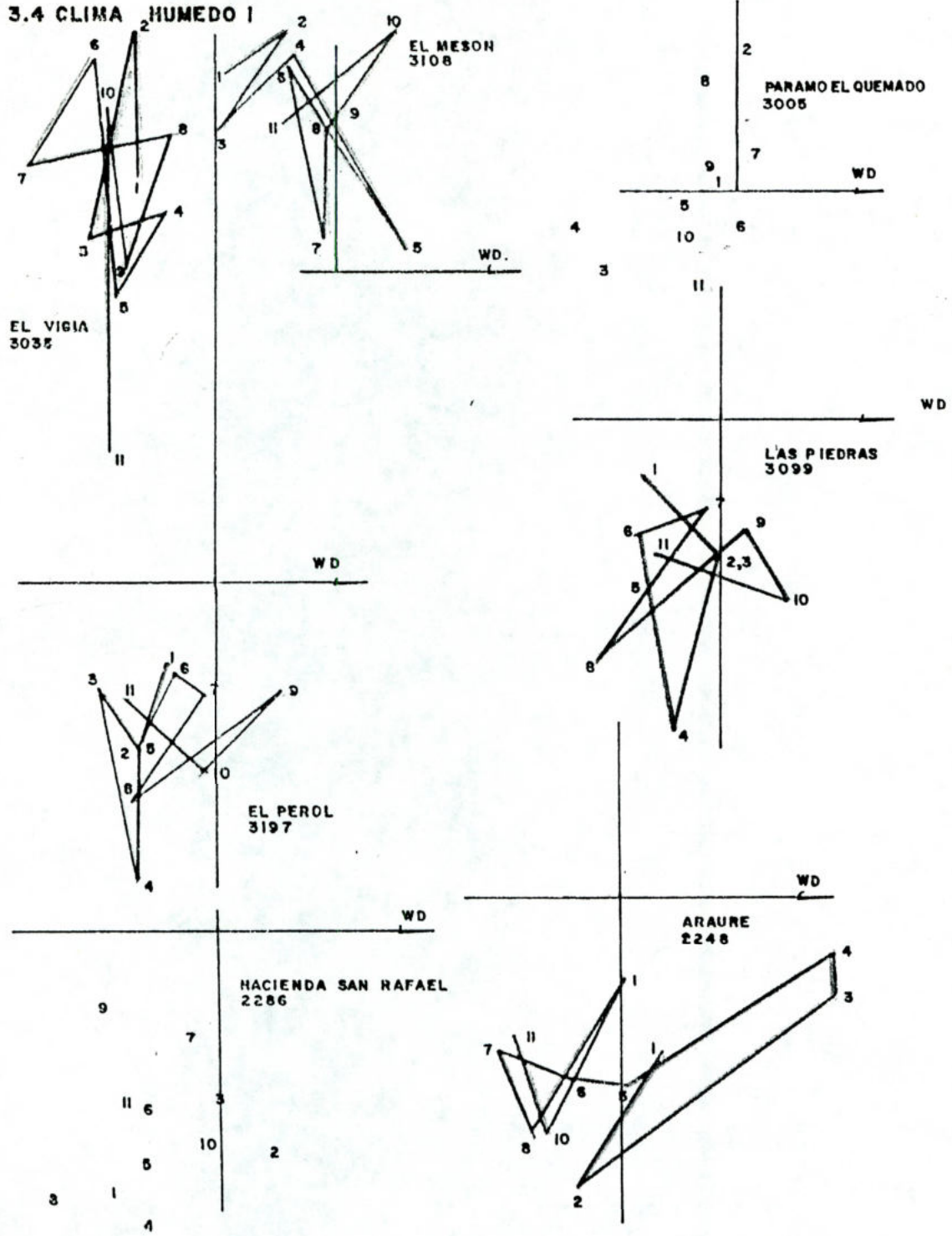


## 3.3 CLIMA SUBHUMEDO



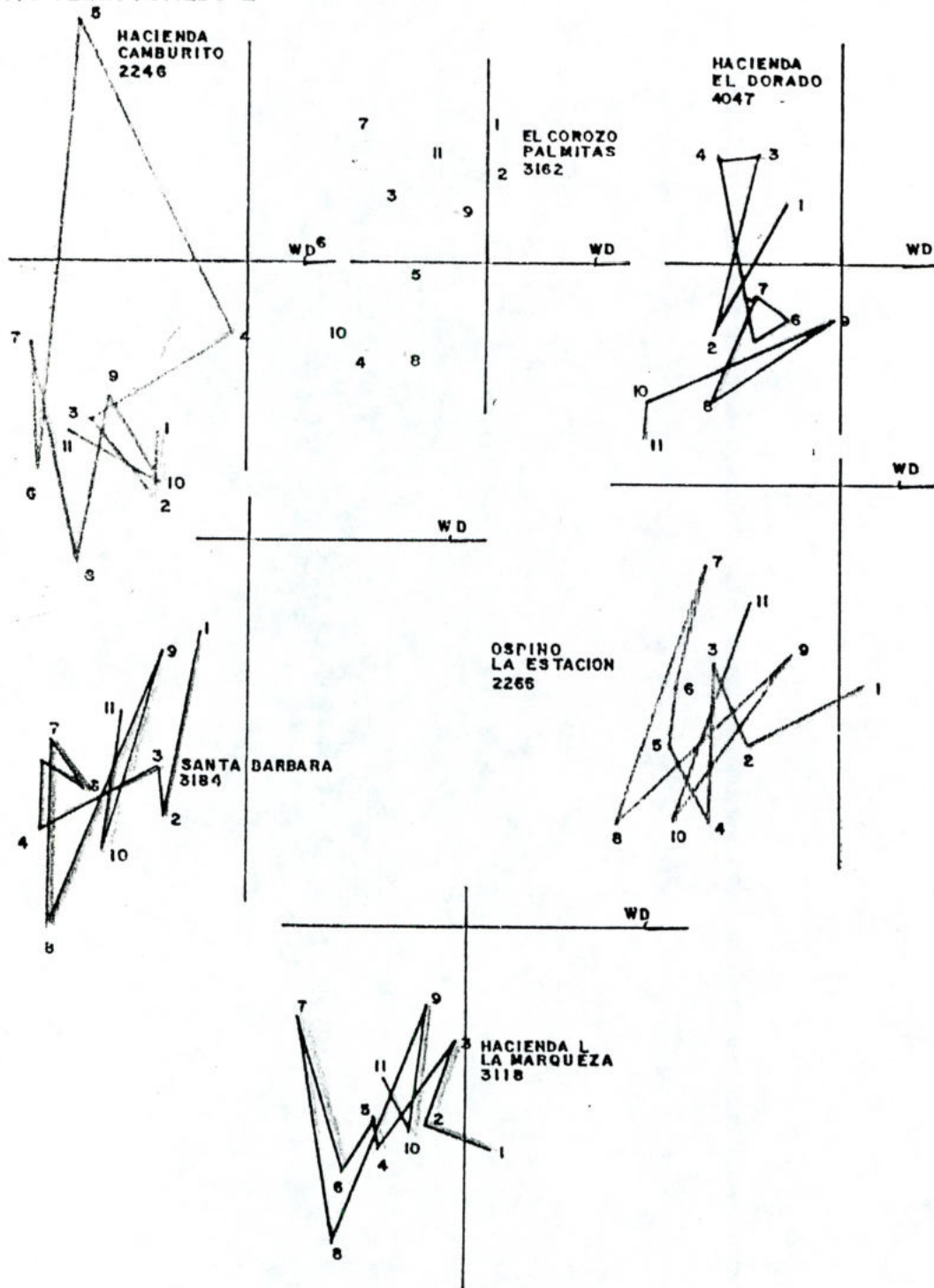
# GRUPO 3 : CLIMA CON VARIACION EN LA PRECIPITACION Y EN EL CALENDARIO

## 3.4 CLIMA HUMEDO I



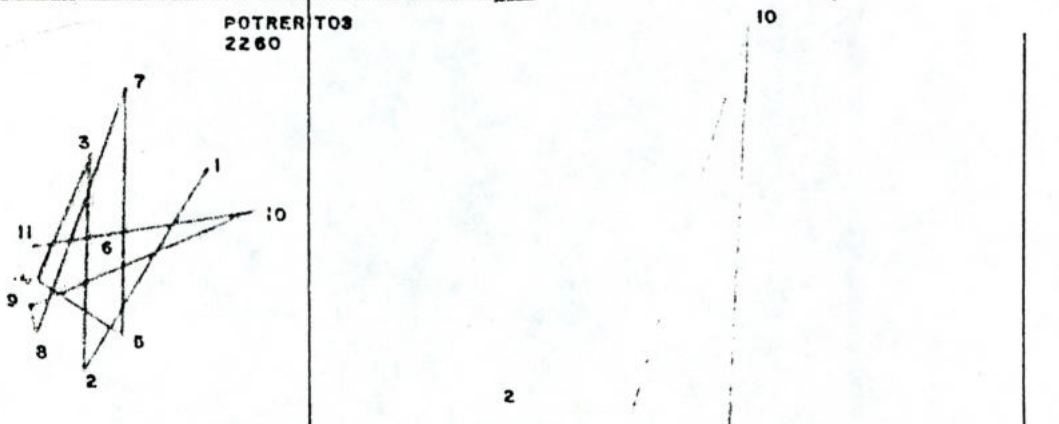
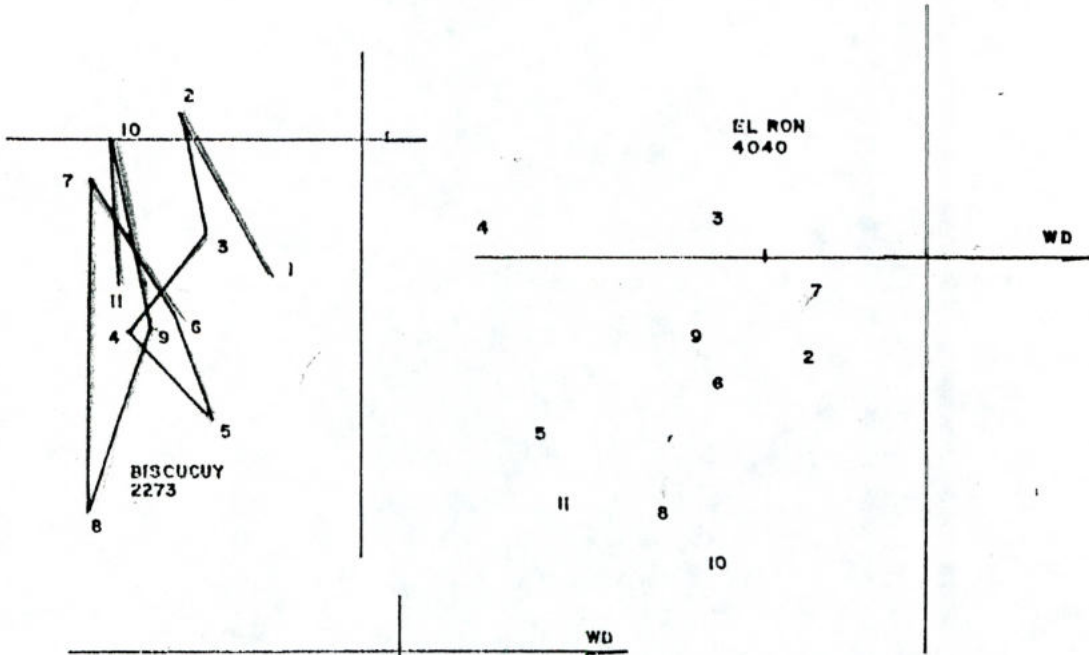
### GRUPO 3 : CLIMA CON VARIACION EN LA PRECIPITACION Y EN EL CALENDARIO

#### 3.5 CLIMA HUMEDO 2

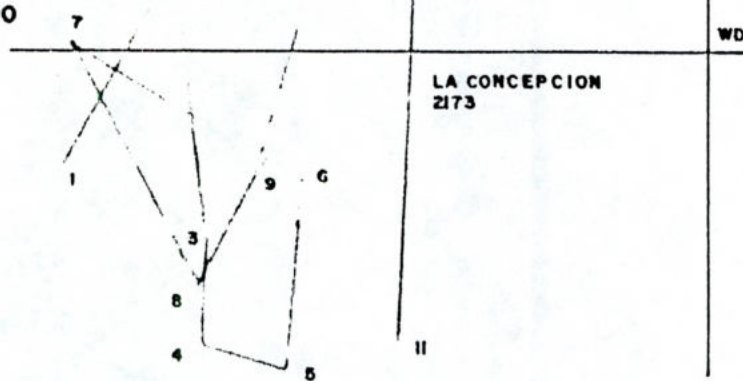


# GRUPO 3: CLIMA CON VARIACION EN LA PRECIPITACION Y EN EL CALENDARIO

## 3.6 CLIMA MUY HUMEDO

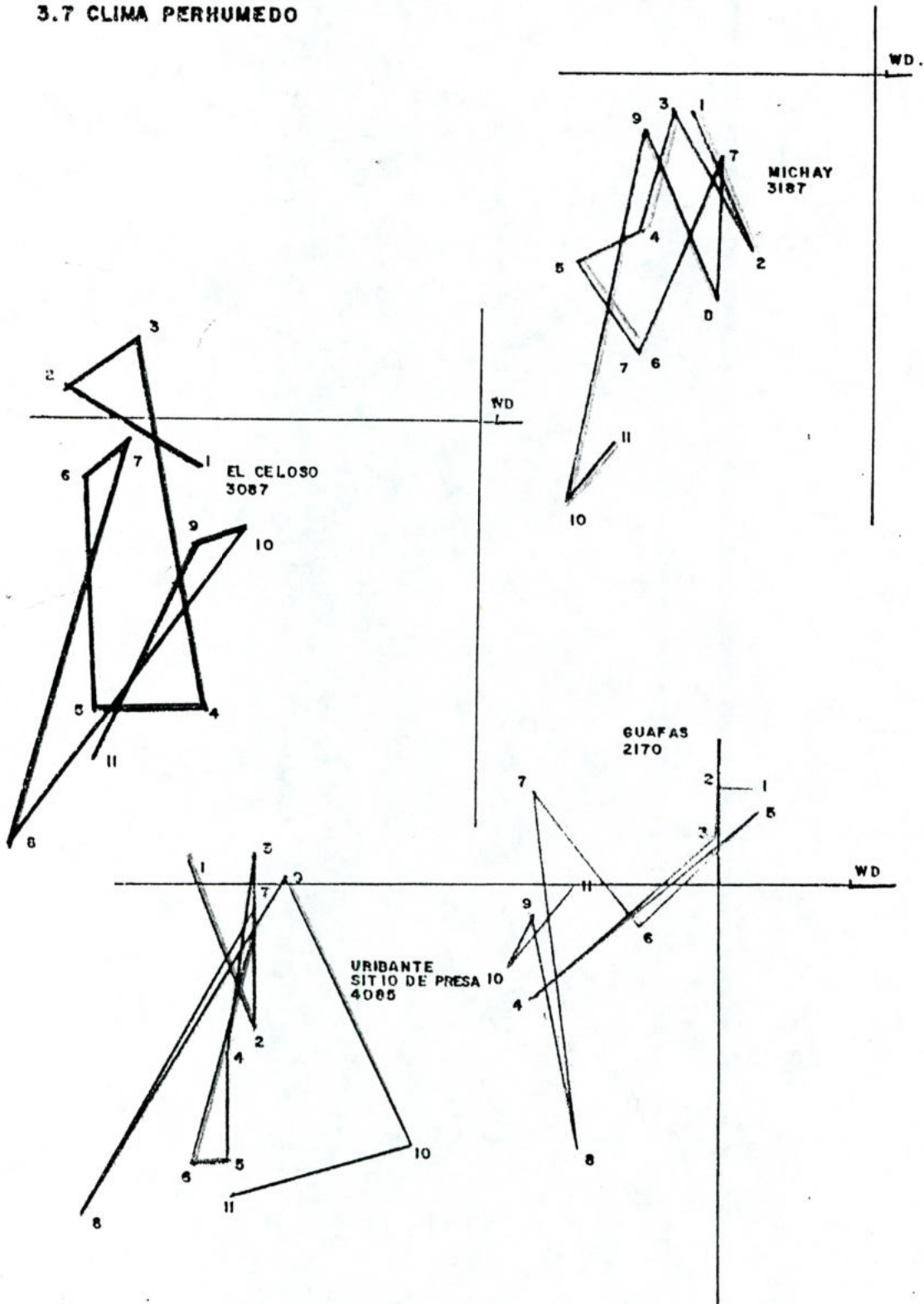


## 3.7 CLIMA PERHUMEDO



# GRUPO 3: CLIMA CON VARIACION EN LA PRECIPITACION Y EN EL CALENDARIO

## 3.7 CLIMA PERHUMEDO



## C O N C L U S I O N E S .

Con la aplicación del Análisis en Componentes Principales sobre los promedios mensuales de precipitación, conseguimos que los dos primeros valores propios representan el 67 y 8 por ciento de varianza respectivamente; obteniéndose una reducción del conjunto de datos originales a dos dimensiones. La representación gráfica de las estaciones en un espacio de dos dimensiones nos ha permitido definir grupos homogéneos de estaciones; que muestran patrones pluviométricos similares, los cuales se han determinado en base a las distancias observadas entre estaciones que pertenecen a un área geográfica en común. De los grupos definidos se toma una estación representativa por grupo, consiguiéndose una reducción importante del número de estaciones a investigar, con lo cual se ha cumplido el primer objetivo planteado en este trabajo.

De este análisis pudimos constatar el papel que juega la altitud en la determinación del clima pluviométrico; observándose las mayores variaciones en las grandes alturas, donde resulta difícil lograr un agrupamiento de las estaciones, mientras que en las menores alturas ( llanos y pie de monte), el clima pluviométrico difiere poco, en extensiones geográficas considerables, lo que ha permitido formar grupos de estaciones.

El agrupamiento de estaciones pluviométricas ha puesto en evidencia el uso indiscriminado que se ha venido dando a los recursos destinados a la recolección de información pluviométrica, puesto que se está utilizando parte de esos recursos a la recolección de información redundante.

Con las estaciones seleccionadas mediante el A.C.P., realizamos un análisis usando la técnica estadística Statis, que nos permitió hacer una mejor interpretación de los datos logrando finalmente establecer estaciones tipo que muestran patrones característicos en cuanto a la variación en la precipitación y en el calendario. El gráfico de la representación global de los puntos tablas en el plano del compromiso, es el primer resultado global, que pone en evidencia las desviaciones que presenta el clima pluviométrico entre tablas, años de estudio. De esta representación gráfica se extrajo que las condiciones del clima pluviométrico no han experimentado cambios importantes durante el período 1973 a 1983 desde el punto de vista general; no se define ninguna tendencia importante a través del tiempo. Solamente pudimos distinguir la oposición en que se presentan los años húmedos (76, 80, y 83) con respecto a los más secos (73, 74, y 75), lo cual indica que, efectivamente, el método Statis nos ha permitido medir las variaciones existentes en el clima pluviométrico de los diferentes años de estudio.

Alrededor de la posición compromiso, las trayectorias

reflejan en dirección y en longitud la variación que experimenta el clima pluviométrico entre años consecutivos. En las estaciones a las cuales les trazamos sus trayectorias hemos notado que la variación entre años consecutivos es superior a la variación presente en forma general a través del período estudiado. Ello significa que no es posible definir ningún tipo de tendencia del clima pluviométrico en los Andes Venezolanos, durante el período 1973 a 1983.

## R E C O M E N D A C I O N E S .

Rediseñar la red de estaciones meteorológicas con la mejor distribución posible en el espacio; de manera tal que garantice la cobertura total del área, para la recolección de información necesaria en el estudio del clima. Esto significa en primer lugar, que deben ser eliminadas las estaciones que estuviesen recogiendo información redundante y dedicar esos recursos a las estaciones que resulten representativas de sus respectivos grupos, para dotarlas de equipos que mida la mayoría de los factores que permitan realizar un estudio más completo del clima.

El anexo N° 4 contiene los códigos de las estaciones más completas, seleccionadas como representativas de los diferentes grupos de estaciones definidos mediante el A.C.P. (ver figura IV.4).

Anexo N° 1.

Estaciones seleccionadas para estudiar sus trayectorias.

Estac.	Alt. msnm	Estac.	Alt. msnm	Estac.	Alt. msnm	Estac.	Alt. msnm
4022*	404	3134*	1560	3035*	130	2299*	163
4047*	750	3112*	4126	2248*	200	3118*	300
4057*	220	2195*	1747	2266*	375	3162*	205
4040*	1080	3155*	165	2146*	272	2286*	176
4018*	1520	1198*	523	2114*	569	2156*	790
2148*	1157	3194*	212	3196*	2450	2176*	1200
2251*	950	4038*	800	3099*	1657	3184*	200
2119*	559	3073*	2000	1274*	582	2189	1430
8072*	70	3034*	28	2150*	63	2108	475
3087	1050	3040	2280	2170	370	4084	920
1117	470	3042	1520	2173	1000	4085	995
2106	1499	3047	1470	2246	285	8052	151
2124	1952	3052	1000	2260	365	8054	160
2215	1097	3070	2750	2261	600	8065	505
2225	1502	3080	1830	2273	555	8066	3165
2227	790	3089	2600	3061	95	8074	90
2232	1484	3108	1264	3081	340	2113	1636
2233	1200	3132	1920	3082	485	2126	800
2234	1330	3135	1000	3091	880	2144	480
2235	1350	3142	900	3094	2100	2151	200
3005	2212	3168	2250	4002	760	2167	2070
3023	1877	3169	1827	4003	1200	2172	756
3024	2515	3170	1050	4014	920	2186	1460
3027	2920	3197	2460	4024	1035	2193	1747
3029	2320	4086	220	4027	1100	2005	10
3030	1710	8053	600	4051	1600	2117	18
3038	1720	8057	2400	4071	1380	3187	260

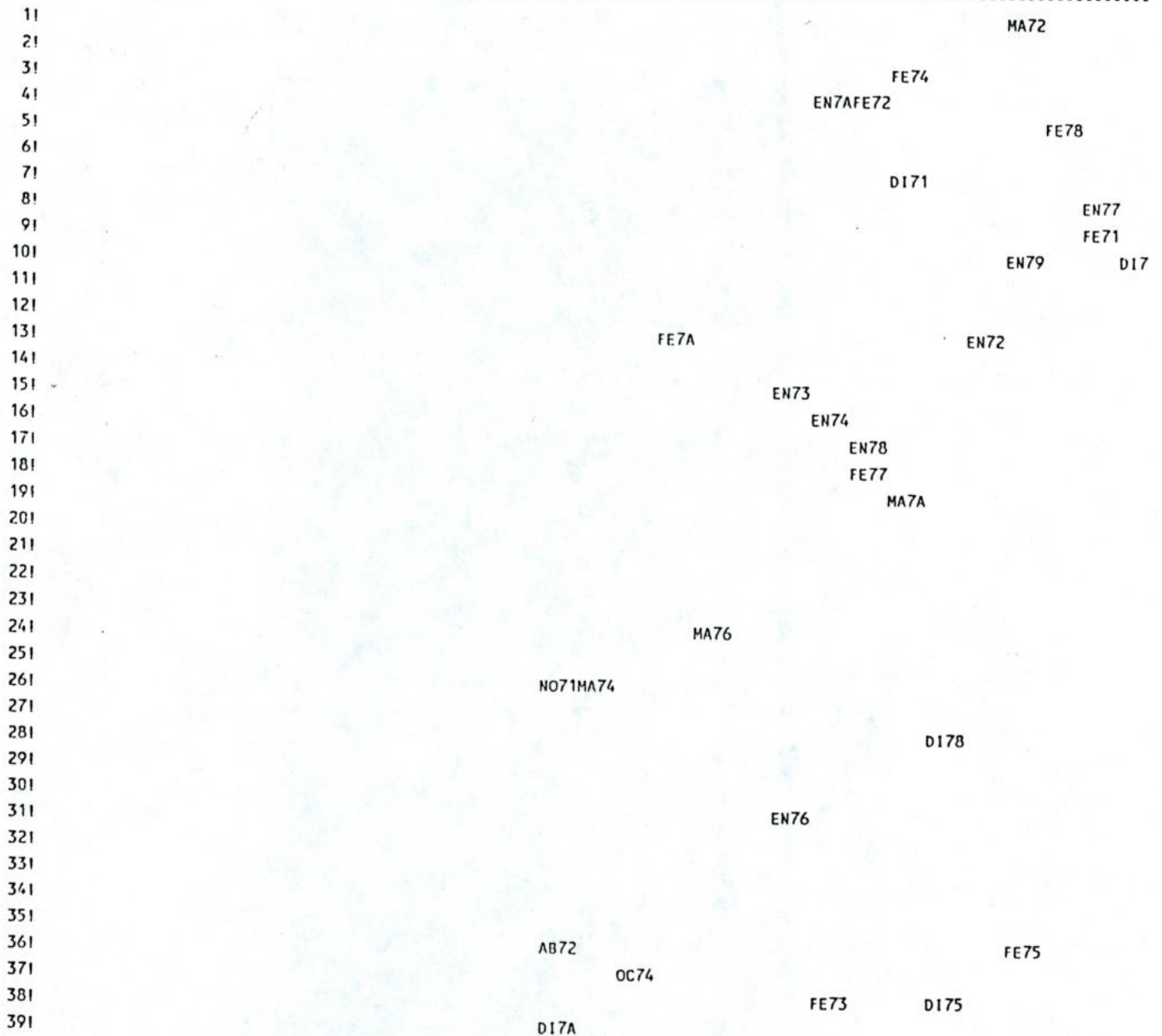
\* Estaciones representativas de los grupos, definidos con A.C.P.

Anexo N° 2.

REPRESENTACION GRAFICA DE LAS VARIABLES.

CORRELACION DE LAS VARIABLES CON LOS EJES

EJE HORIZONTAL: 1 EJE VERTICAL: 2 .cw 6



401  
411  
421  
431  
441  
451  
461  
471  
481  
491  
501  
511  
521  
531  
541  
551  
561  
571  
581  
591  
601  
611  
621  
631  
641  
651  
661  
671  
681  
691  
701  
711  
721  
731  
741  
751  
761  
771  
781  
791  
801  
811  
821  
831  
841  
851  
861  
871  
881  
891

AB75

NO73

NO72

NO79

AB73

NO77

D172

MA75

EN7

MA77

D176

EN7B

MA7B

D177

AB76

NO78

FE79

MY72

D17B

OC72

AB71

NO76

AB7A

NO75

OC71

MA71

NO7A

AB79

MA73

741 AB77

AB7B

NO7B

OC76

OC75

OC7A

D174

SE73

SE77

AG71

OC73

901			
911			
921		OC77	
931			
941			
951		SE71	
961			
971			
981			MA78
991	JN71MY71	AB74	
1001	AG73		
1011		SE78	
1021			
1031		MY77	
1041		SE72OC76	OC79
1051	JL73		
1061			
1071		SE74	
1081			
1091			
1101	AG77		FE7B
1111			
1121			SE7A
1131	MY73		
1141			
1151	SE75	AG78	
1161			JL79
1171		MY7B	
1181		MY7A	MY79
1191		OC78MY74	AB78
1201		SE7B	
1211	MY75		
1221			SE79
1231	AG79		
1241			
1251			
1261		JN77	
1271	AG72		
1281	JL76	JL77	
1291		SE76	
1301		JN72	
1311			
1321		MY75	JN79
1331	AG76	JN73	AG75
1341			
1351			
1361		JN75	
1371			JL7BAG74
1381			JN7A
1391	MY78	JN76	

1401  
1411  
1421  
1431  
1441  
1451  
1461  
1471  
1481  
1491  
1501  
1511  
1521  
1581

JL72AG7B

JN7B

AG7A

JL7A

JL75

JL71

JN7B

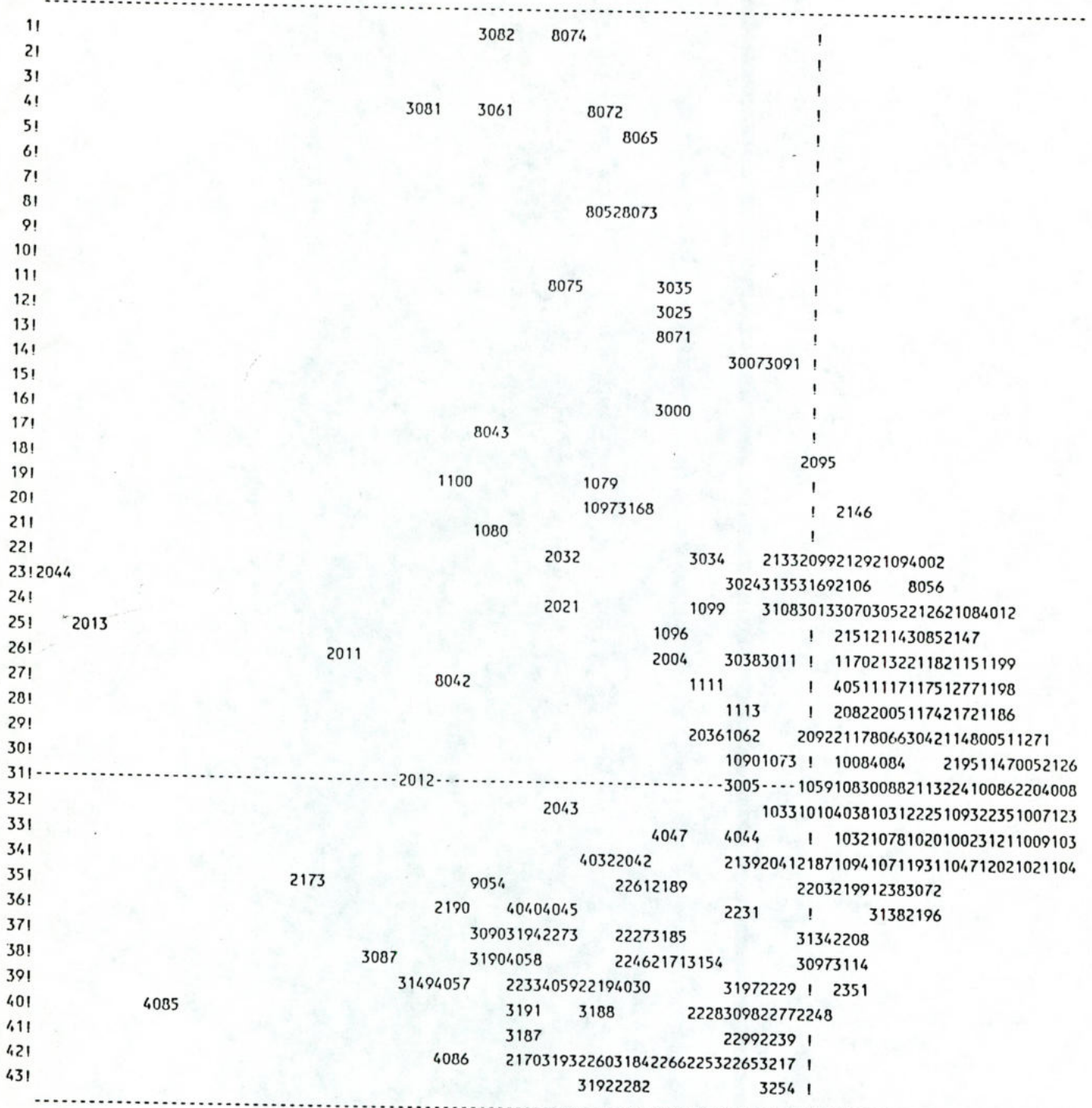
JL7B

JL74

JN74

GRAFICA DE LOS INDIVIDUOS EN EL COMPROMISO.

EJE HORIZONTAL: 1 EJE VERTICAL: 2



NUMERO DE PUNTOS REPRESENTADOS: 192  
 NUMERO DE PUNTOS SOBREPUESTOS: 147

Anexo N° 4.

ESTACIONES MAS COMPLETAS DE LA RED  
Clasificadas por tipo de clima pluviométrico

	Estable	Variación en el calendario	Variación en el calend. y precip
Muy seco	3170	1199 1187	
Seco	2132 3072	2235 4022	
	2225 3112		
Subhúmedo	3134		2117 3114 8053
Húmedo 1	3040 3047	2299 3135	2264 2248 2253
			2286 3035
Húmedo 2		8065 2227	3184
		8052	
Muy húmedo		3061	

MUESTRA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS TOMADAS DE LA RED DE LOS ANDES VENEZOLANOS

INVENTARIO DE DATOS MENSUALES Fecha: 27/ 3/1992

BARINAS.

SERIAL ESTACION	INST	ELIM	PRE	EVAP	6000	7000	1200	1210	1220	2100	0100	0210	3000	4000	4600
3087 EL CELOSO	0169		69-89												
3090 CALDERAS	0169		69-89												
3118 HACIENDA LA MARQUESEÑA	1156	0184	57-83	57-81											
3120 PEÑA LARGA-ZONA	0663		65-89	64-81	66-81	66-81	66-81	66-81	73-81	73-81	73-81				
3126 BARINITAS	0344		44-89												
3128 BARRANCAS	0246		46-89												
3136 QUEBRADA SECA	0246		55-89												
3149 ALTAMIRA-BARINAS	0651	0184	51-83												
3154 PAGUEY	1256	0184	57-83												
3155 HATO CARONI	0951	0184	51-83												
3156 TORENO-SOCONY	0751	0184	51-83												
3158 TORUNOS	0246		51-89												
3162 EL COROZO-PALMITAS	0253		57-89												
3173 SAN SILVESTRE	1151		52-89												
3183 PUNTA GORDA-CARD.	0851	0184	51-83												
3184 SANTA BARBARA	1269		70-89	70-89	70-87	70-88	70-88			73-89			81-83		
3185 CURBATI	1269		70-89												
3186 PEDRAZA-LA VIEJA	1269		70-89												
3187 MICHAY	1269	0184	70-83												
3188 QUIU	1269		70-84												
3189 MAPORALITO	1269		70-89												
3190 LA ACEQUIA	1269		70-89												
3191 BUM-DUM	1269		70-89												
3192 SURIPA	1269		70-89												
3193 SAI-SAI	0170		70-89												
3194 CANAGUA	0170	0184	70-83												
3212 SABANETA	0551		51-89												
3222 SAN HIPOLITO	1156		57-89												
3254 MIJAGUAL	0765		65-89												
3261 EL REAL	0246		46-89												
3283 SANTA LUCIA	0552		52-89												
3331 ARISMENDI	0571		71-89	71-88	82-90	71-90	71-90	89-90	79-90				84-89		

LARA

SERIAL ESTACION	INST	ELIM	PRE	EVAP	6000	7000	1200	1210	1220	2100	0100	0210	3000	4000	4600
1117 PALMARITO	0673		73-89												
1147 LOS PEDERNALES	0550		50-89												
1148 EL CARRIZAL	0951		52-89												
1170 EL BURRO	0462	0284	62-83												
1174 QUEBRADA ARRIBA	0450		50-89												



MERIDA

SERIAL ESTACION	INST	ELIM	PRE		EVAP		TEMPERATURA				HUM		INS		RAD		NUB		VIENTOS		
			6000	7000	1200	1210	1220	2100	0100	0210	3000	4000	4600								
3005 PARAMO EL QUEMADO	0766		66-90																		
3023 EL MOLINO	0566		66-90																		
3024 VALLE GRANDE	0361		61-90																		
3027 PARAMO LA CULATA	0361		61-90																		
3029 MUCURUBA	1048	0184	50-83	63-83	81-83	72-83	72-83														
3030 GUARAQUE-LA QUINTA	0766		66-90																		
3035 EL VIGIA	0942		45-89	55-84	70-84	70-84	70-84														
3038 TABAY	1048		48-90																		
3040 LA CUCHILLA	0663		63-90	70-83	81-83	72-83	72-83														
3042 MESA DE EJIDO	1148		48-90																		
3047 MERIDA AEROPUERTO	0120		21-89		51-89	51-85	51-85	51-85	51-69	56-85	71-84	51-85									
3052 MESA BOLIVAR	0349		49-89																		
3070 PARAMO EL MOLINO	1061	0184	62-83																		
3072 MUCUBAJI	0169		69-90	69-83	70-83	70-83	70-83	70-80	70-81											70-80	
3080 EL MORRO	0262		62-90																		
3089 LA CULATA	0169		** -90																		
3098 LA MESA DE ARACAY	0169	0184	69-90																		
3099 LAS PIEDRAS	0169	0184	69-83	69-83	69-83	70-83	70-83	69-71	70-81												
3108 EL MESON	1267		68-90																		
3111 PARAMO DE MUCUCHIES	0142		42-90																		
3112 PARAMO PICO AGUILA	0353		53-90	69-74	70-70	71-76	71-76	70-70													
3114 SANTO DOMINGO	0657		57-90	78-83	80-83	78-83	78-83		80-80												
3115 LA HITISUS	0555		56-90																		
3121 MUCUCHIES	0549	0184	53-83																		
3122 MUCUCHIES	0141		41-91		51-91	61-85	61-85		61-85	63-84											
3132 LAS TAPIAS	0868		68-90																		
3133 MUCUCHIACHI	0470		70-90																		
3134 CANAGUA	0968		68-90	69-83	81-83	72-82	72-83														
3135 LA AZULITA	1168		69-89	69-80		77-80	77-80														
3138 CHACANTA	1169		** -90	73-73																	
3141 TOVAR	1068		68-90	68-89	69-86	69-89	69-89	69-80	69-90		69-69										
3142 ZEA-LA FLORIDA	1068		68-89																		
3161 LOS PLANTIOS	0169		69-90	69-83	71-83	71-83	71-83														
3166 TIMOTES	1169		70-89																		
3168 HACIENDA EL CARMEN	0670	0184	70-83	70-83	81-83	73-83	73-83														
3169 JAJI	0870		70-90																		
3170 SAN JUAN LAGUNILLAS	0970		70-90	70-83	81-83	72-83	73-83														
3195 LAS MESAS	0770		70-90																		
3196 MORRO DE MOTUS	0770	0184	70-83																		
3197 EL PEROL	0770		70-90																		
3198 PUEBLO LLANO	0770	0184	70-83																		
4086 LAS BOCAS DE CAPARO	0471		71-89	71-82	81-82	71-82	71-82														
8053 LA PALMITA	0153		53-89	53-84		72-83	72-83														
8056 SAN PEDRO-CHIGUARA	1269		70-90																		
8057 TOSTOS	1169		70-88																		
8072 LOS GUAYABONES	0273		73-89																		
8073 CAPAZONES	0373		73-89																		
8075 MESA JULIA	0373		73-89																		

PORTUGUESA

SERIAL ESTACION	INST	ELIM	6000	7000	1200	1210	1220	2100	0100	0210	3000	4000	4600
2170 GUAFAS	0458		58-89										
2171 SURUGUAPO	0558		58-90										
2173 LA CONCEPCION	0661		61-90										
2239 AGUA BLANCA	0446		46-90										
2246 HACIENDA CAMBURITO	1155		55-90										
2248 ARAURE	0753		61-85		61-75	61-85	61-85		61-85	61-84			
2253 HACIENDA GUACHE	0651		51-90	52-83	82-83	72-83	72-83						
2259 PAYARA	0755		55-90										
2260 POTRERITOS	0558		58-90										
2261 CHABASQUEN	0560		60-90										
2264 ACARIGUA-AEROPUERTO	0170		70-89	70-83	70-89	70-88	70-87	70-88	70-83	70-88	70-88	70-84	
2265 OSPINO	0351		51-90										
2266 OSPINO-LA ESTACION	0551		51-90										
2267 PIRITU	1056		56-90										
2273 BISCUCUY	0557		57-90										
2277 COLONIA TUREN-I.A.N.	1046		51-89	51-89	57-87	61-88	61-88		61-87	62-83			
2282 DESEMBOCADERO	0552		52-90										
2286 HACIENDA SAN RAFAEL	0951		51-90										
2292 PUENTE COROMOTO	0252	0184	52-83										
2295 CAMPAMENTO LAS MARIAS	1253		54-90										
2299 GUANARE-AEROPUERTO	0170		70-89	71-83	70-89	72-88	72-88	70-88		70-88	70-88	70-84	
2331 SAN RAFAEL DE ONOTO	0246		46-90										
2334 LAS MAJAGUAS	0462	0184	62-83	62-83	62-83	62-83	62-83						
2351 TOCUYANO	1053	0184	53-83										
3213 BOCONO-CASERIO	1151	0184	52-83										
3214 PUERTO LAS ANIMAS	0855		55-90										
3215 TUCUPIDO	0558	0184	58-83										
3216 SIPORORO	0458		58-90										
3217 SAN NICOLAS	0458	0184	58-83										

TACHIRA

SERIAL ESTACION	INST	ELIM	6000	7000	1200	1210	1220	2100	0100	0210	3000	4000	4600
3061 LA FRIA-AEROPUERTO	0349		51-89	62-84	81-83	71-84	71-83						
3073 SABANA GRANDE	1048		52-89										
3074 PUEBLO HONDO	0142		42-89										
3081 ESTACION TACHIRA	1248		51-89										
3082 MESA DE SEBORUCO	0142		42-89										
3083 LA GRITA	0344	0184	44-84	63-84	67-84	67-84	67-84	67-70	67-69			67-70	
3085 SEBORUCO	1149	0184	50-84										
3091 COLON-ESCUELA FEDERAL	0249		49-89										
3094 EL COBRE	0344		44-89										
3097 PREGONERO	0551	0184	52-89										
4002 SAN PEDRO DEL RIO	0652		52-89										





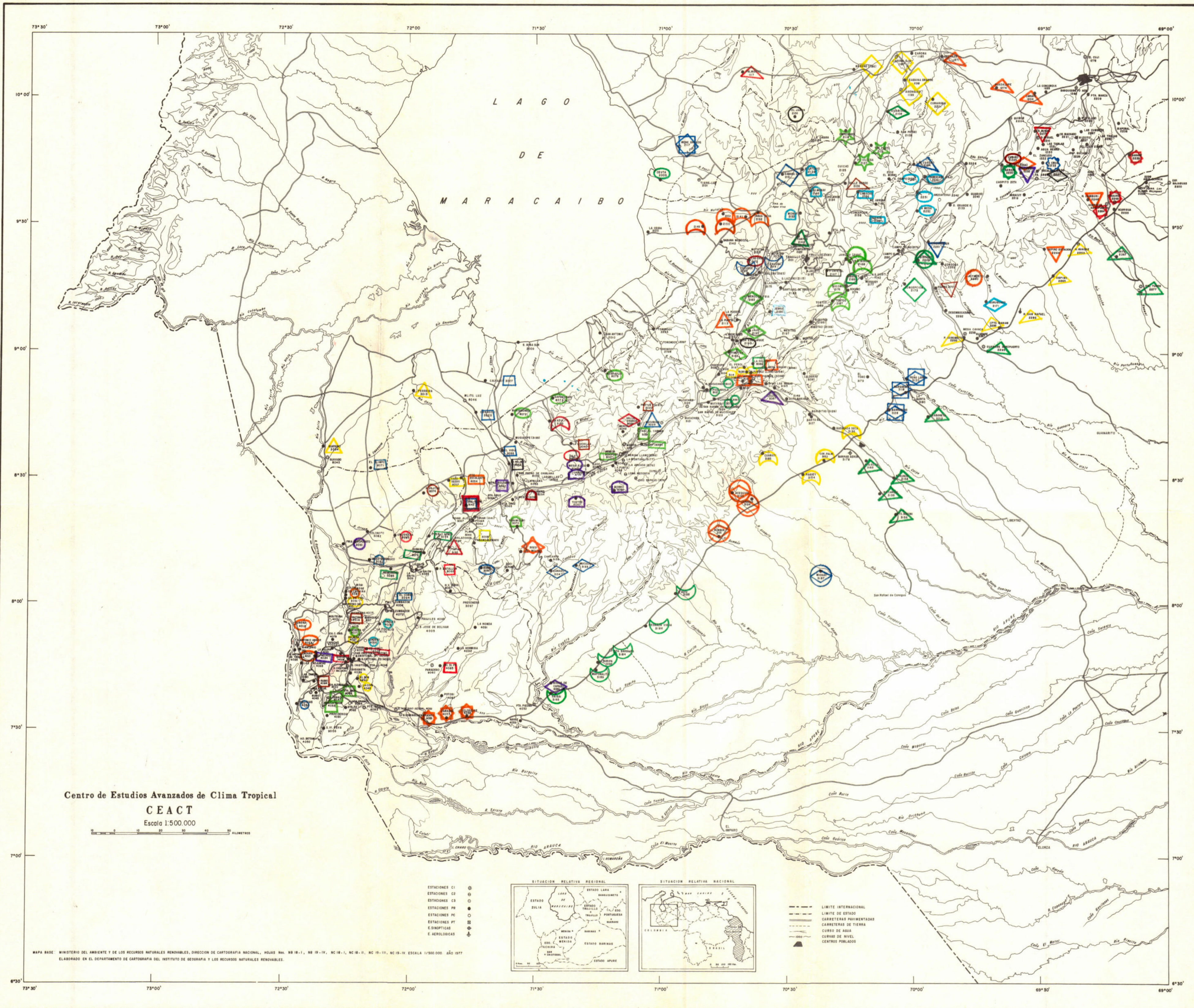


3007 EL CALVARIO	0153		53-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3011 BELLA VISTA-KILOMETRO 23	0453		53-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3013 LA FERREIRA	0353		53-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3025 CARACOLI	0253		53-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3034 EL GUAYARO	0767	0483	67-83	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8042 LAS ACACIAS	1171		72-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8043 PUENTE PERU	1171		72-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----
8071 EL OLIMPO	0173		73-89	-----	-----	-----	-----	-----	-----

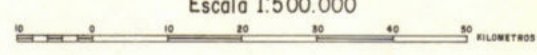
## BIBLIOGRAFIA:

- ANDERSON, Theodore Wilbur: An introduction to Multivariate Statistical Analysis. 1971.
- ANDRESSEN, R.; RIECHL, H., y B., Rincón: Precipitación y flujos de aire en relación a una cadena montañosa, (Andes Venezolanos), U.L.A. - CCDCH, 1990. Proyecto de Investigación N° C-445.
- BARRY, R. G., and R.J. Chorley: Atmosphere, weather and climate (Londor: Methuen & Co. Ltd, 1969).
- CAILLEY ET PAGES: Iintroducction à l'analyse des données Smash Paris 1976.
- CHATFIELD, C. and COLLINS A: Introduction to Multivariate Analysis. 1980
- DEFIVES, G. Análisis simultáneo de varias tablas de datos cuantitativos. El método "Statis". Trabajo presentado en la III jornadas Científico-Técnicas en la Facultad de Ingeniería. U.L.A. Mérida, 1992.
- DIAZ DE PASCUAL, A. Método Stasis. Manual del usuario. U.L.A. Mérida, 1988.
- ESCOUFIER Y., COURS: d'analyse des données USTL Monptpellier 1979.
- LAVIT, CH.: Analyse simultanée de plusieurs tableaux quantitatifs Maasson Paris 1986.
- LUDOVIC, Lebart; ALAIN, Morineau, & KENNETH M., Warwick: Multivariate Descriptive statistical Analysis. 1984.
- MORRISON, Donald F.: Multivariate Statistical Methods. 1990.
- STRAHLER, A. N.: Gegrafia Física. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1927.

FIGURA IV. 4 UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS ( Andes Venezolanos )  
GRUPOS OBTENIDOS MEDIANTE EL A.C.P.



Centro de Estudios Avanzados de Clima Tropical  
**CEACT**  
Escala 1:500.000



- ESTACIONES CI ○
- ESTACIONES C2 ○
- ESTACIONES C3 ○
- ESTACIONES PR ●
- ESTACIONES PT ○
- ESTACIONES E SIMBOLICAS ○
- ESTACIONES E AEROLOGICAS ↓



- LIMITE INTERNACIONAL
- LIMITE DE ESTADO
- CARRETERAS PAVIMENTADAS
- CARRETERAS DE TIERRA
- CURSO DE AGUA
- CURVAS DE NIVEL
- CENTROS PUEBLADOS

MAPA BASE: MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES, DIRECCION DE CARTOGRAFIA NACIONAL, HOJAS N.º. 18-1, 18-1V, 18-11, 18-111, 18-11V, 18-1111, 18-111V, ESCALA 1:500.000, AÑO 1977  
ELABORADO EN EL DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA DEL INSTITUTO DE GEOGRAFIA Y LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

**UNIDAD DE ESTUDIOS DEL CLIMA TROPICAL  
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO  
E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL**

**CLASIFICACION EN GRUPOS HOMOGENEOS DE LAS  
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS EN LA  
REGION CENTRO-NORTE DE VENEZUELA**

**ING. MARIA ISABEL ROJAS**

**CIDINT**

**UNIDAD DE ESTUDIOS DEL CLIMA TROPICAL  
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO  
E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL**

**CLASIFICACION EN GRUPOS HOMOGENEOS DE LAS  
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS EN LA  
REGION CENTRO-NORTE DE VENEZUELA**

**ING. MARIA ISABEL ROJAS**

**UNIDAD DE ESTUDIOS DEL CLIMA TROPICAL  
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO  
E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL**

**CLASIFICACION EN GRUPOS HOMOGENEOS DE  
LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS  
EN LA REGION CENTRO NORTE DE VENEZUELA**

**ING. MARIA ISABEL ROJAS**

# CLASIFICACION ESPACIAL EN GRUPOS HOMOGENEOS DE LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS UBICADAS EN LA REGION CENTRO-NORTE DE VENEZUELA.

## RESUMEN

En el presente estudio se aplica el método de Componentes Principales con la finalidad de optimizar la Red Básica Nacional de estaciones climatológicas, clasificando espacialmente, grupos homogéneos de estaciones pluviográficas, localizadas en la región Centro-Norte de Venezuela, utilizando registros mensuales de precipitación.

Los datos de precipitación mensual corresponden a un período de 11 años, comprendido desde 1973 a 1983, aportados por un conjunto de 250 estaciones.

Los resultados mostraron que los dos primeros valores propios representaban el 67.2 y 12.1 por ciento de la varianza respectivamente; obteniéndose así una reducción del conjunto de datos originales en un espacio de dos dimensiones, lo que permitió representar gráficamente las estaciones en un plano bidimensional, conformando 23 grupos homogéneos que muestran patrones pluviométricos similares entre sus estaciones, los cuales se determinaron dependiendo de la proximidad entre distancia euclidiana y la distancia geográfica existente en las estaciones.

## 1.-INTRODUCCION

El método de Análisis de Componentes Principales ha sido aplicado a registros climatológicos, por muchos autores (G. Summer, L. Ogallo, P. Bonelli, S. Hastenrath, N. Rodríguez) en un intento para reducir la dimensionalidad de los datos básicos que se procesan y para describir algunos patrones meteorológicos.

De una manera análoga en este estudio se ha utilizado el método de Análisis de Componentes Principales para agrupar las estaciones pluviográficas, en grupos homogéneos con el fin de optimizar la Red de pluviógrafos localizados en la región Centro-Norte del País.

La región contemplada para el estudio está conformada por los estados: Yaracuy, Cojedes, Carabobo, Aragua, Distrito Federal, Miranda y Guarico; la cual está comprendida entre los 7° 30' y 11° 30' de latitud norte y entre los 65° 00' y 69° 30' de longitud oeste. La distribución espacial de las estaciones se muestra en la fig. 1, mientras que en la tabla 1 se muestra tanto su ubicación geográfica como su altitud. Los datos de precipitación mensual corresponden a un período de 11 años, comprendido entre 1973 y 1983, y fueron obtenidos en base a los registros de un conjunto de 250 estaciones. Esta información fue

ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS TABLA 1

SERIAL	ESTACION	ALT.	EDO	LAT.	LOM.	SERIAL	ESTACION	ALT.	EDO	LAT.	LOM.	SERIAL	ESTACION	ALT.	EDO	LAT.	LOM.
403	RANCHO GRANDE-REGRESIVA	1090	AR	102138	674138	1363	CHIRGUA-COLONIA BOLIVAR	660	CA	101232	681058	2427	HATO PARADERO	318	GU	94620	673440
405	OCUMARE DE LA COSTA	15	AR	10228	6746	1366	CHIRGUA	740	CA	1013	6811	2430	PARAPARA	230	GU	94210	671732
406	EL CAMBUR	80	CA	102329	680554	1368	BEJUMA-PANAMERICANA	650	CA	101011	681533	2431	RIO VERDE	170	GU	933	6740
410	HACIENDA LAS MARIAS	560	CA	101650	680630	1370	CANOABO	300	CA	101815	681640	2432	LOS GUIRES	140	AR	93120	663630
411	BORBURATA	250	CA	102400	675820	1371	URACHICHE	425	YA	100848	690039	2448	ORTIZ	205	GU	93700	671700
412	HACIENDA EL MANGLAR	20	CA	102706	675752	1373	NIRGUA	810	YA	100943	683335	2455	MORROCOCYES	150	GU	927	672150
414	SAN FRANCISCO PAO	648	AR	100545	671705	1380	TEMERLA	435	YA	101533	682552	2469	EL SOMBRERO	152	GU	92300	670320
415	LOS MANIRES	443	AR	95830	665840	1381	CENTRAL MATILDE	235	YA	100839	685211	2470	EL SOMBRERO-KILOMETRO 18	138	GU	929	6711
416	CHORONI-CABECERAS	1310	AR	102225	673515	1385	MIRANDA-LA TRINIDAD	628	CA	101032	682511	2471	KILOMETRO 25	139	GU	92327	664930
417	SANTA CRUZ EDAPOLOGICA	444	AR	101000	672915	1387	VALENCIA-SAN LUIS	470	CA	100821	680304	2477	ENCRUJADA CALABOZO	210	GU	91331	670200
421	MARACAY-LAS DELICIAS	550	AR	101724	673425	1390	SAN ESTEBAN-OC	60	CA	1025	6801	2483	FALTRIQUERA	319	GU	94625	670745
424	LA MORITA	445	AR	101355	673207	1395	LOS AGUACATES	467	CA	100051	680218	2492	GUARDATINAJAS	107	GU	903	6738
425	MARACAY-OFCINA	490	AR	101606	673524	1397	CAMPO DE CARABOBO	500	CA	100013	680942	2493	PALO SECO	136	GU	904	6713
426	RANCHO GRANDE	1160	AR	102108	674102	1401	MAMO	16	DF	103522	670313	2495	EL RASTRO	100	GU	90352	672605
427	LA ESPINOSA	320	AR	949	6647	1402	PUERTO DE MAYA	AR	1032	6724	2499	QUEBRADA HONDA	115	GU	91255	653405	
437	MARACAY-LA TRINIDAD	510	AR	101650	673655	1404	PUERTO CRUZ	5	DF	1032	6721	2500	EL PUNZON	150	GU	904	6636
447	MARACAY-C.E.N.I.A.P.	455	AR	1017	6737	1414	MAS MERCEDES	1537	DF	102901	671143	2501	CARTANAL	620	CA	95330	6733
451	SAN DIEGO	460	CA	101719	675629	1425	ALTO DE O LEON	2101	DF	102624	670936	2502	TAGUAY	321	AR	94650	6640
460	LA PERE-A	444	AR	101102	673430	1434	BUENA VISTA	2160	AR	102500	671350	2503	LOS ARBOLITOS	107	GU	922	6623
461	VALENCIA-GFV	460	CA	101127	675946	1435	COLONIA TOVAR	1900	AR	102431	671739	2504	SALINETAS MANAPIRE	195	GU	91946	661123
463	LA CABRERA-PLANTA	438	AR	101530	674023	1441	INSTITUTO PIGNATELLI	1240	MI	102207	670229	2505	GUATOPO	710	GU	100308	662600
466	MARACAY BASE AEREA	442	AR	101519	673820	1442	EL ROBLE	1678	AR	1022	6714	2507	SAN FRANCISCO DE MACAIRA	578	GU	95850	661606
468	GONZALITO	450	AR	101324	673114	1444	PIE DEL CERRO	780	AR	101924	671915	2508	EL DIVIDIVE	150	GU	85900	650525
470	TOCOMA-CASERIO	440	AR	100615	673504	1451	GUAYABITA	515	AR	101544	672846	2509	EL SOCORRO	100	GU	85923	654427
472	YUMA-CASERIO	460	CA	100619	674200	1455	LA URBINA-QUEBRADA SECA	615	AR	101653	671540	2511	VALLE MORIN	400	AR	95520	665510
487	GUACAMAYA	650	AR	100302	673957	1457	BUEN PASO	502	AR	101730	671340	2512	BELLA VISTA	120	GU	90530	6524
488	COLONIA EL TROMPILLO	450	CA	100338	674618	1472	CAGUA-GRUPO ESCOLAR	445	AR	101120	6728	2513	PRESA TAMANACO	160	GU	92702	669350
489	AGUA BLANCA	515	CA	100246	675016	1475	EMBALSE DE SUATA	512	AR	101246	672258	2519	OROCOVAL-VENADO	386	GU	95450	662344
491	LAS DOS BOCAS	550	CA	95738	675943	1483	CASUPITO	450	AR	100836	672624	2520	EMBALSE DE CAMATAGUA	330	AR	94900	665722
495	EL CARUTO-BELEN	700	CA	95938	674200	1487	TIARA	750	AR	100749	670900	2521	CAMATAGUA	244	AR	94725	665416
497	LAS CENZAS	670	AR	100138	673355	1492	EL SAMAN-HACIENDA MONTERO	545	AR	100131	672726	2522	CARMEN DE CURA	244	AR	947	665038
502	MAIQUETIA	75	DF	1036	6657	1494	EMBALSE TAIGUAGUAY	438	AR	100849	672959	2528	PASO REAL	305	GU	94958	661151
508	MACUTO	53	DF	103714	665351	1497	HACIENDA EL ANCON	480	AR	100428	672752	2550	MEMO KILOMETRO 50	182	GU	92343	663640
520	CARACAS-LA SALLE	1007	DF	103048	6650	1504	CHUSPA	6	DF	103708	661844	2551	BARBACOAS	120	AR	92850	665755
522	CARACAS-CATIA	970	DF	103029	665648	1505	CASUPITO-EL CERRO	80	MI	101200	662500	2552	EL PLAYON	202	AR	93240	665210
526	CARACAS-TORRE SUR	1000	DF	103020	665453	1508	CARENERO	10	MI	103224	660730	2589	VALLE DE LA PASCUA	184	GU	913	6600
531	CARACAS-OBSERVATORIO CAJIGAL	1042	DF	1030	6655	1509	LA ORCHILA	3	DF	1148	6611	2600	POTRERITO	160	GU	902	6503
537	CARACAS-LA RINCONADA	936	DF	102611	6657	1516	CURIEPE	30	MI	102830	661000	2601	SOUBLETTE	355	GU	95506	660531
540	CARACAS-HACIENDA MONTALBAN	937	DF	102822	665805	1519	MONDRAGON	15	MI	102820	660640	2624	EL CARO DE LA NEGRA	110	GU	916	6535
548	GUARENAS	385	MI	102802	663700	1534	EL CAPE	65	MI	102500	661654	2671	TUCUPIDO	135	GU	91548	665436
559	GUATIRE	363	MI	102802	663124	1542	PALO GACHO	500	MI	1023	6631	2674	EL PALMAR	130	GU	92711	655415
560	PARACOTOS	620	MI	101602	665730	1546	EL TIGRE	25	MI	102055	660730	3301	EL AMPARO	134	CO	91836	684525
561	SAN DIEGO-LOS ALTOS	1300	MI	102049	665714	1554	CAUCAGUA	60	MI	1017	6622	3302	YAGUARA	154	CO	93848	683343
563	CARACAS-LA MARIPOSA	980	MI	102441	665553	1555	CAUCAGUA	80	MI	101751	662206	3303	PALO QUEMADO	136	CO	925	6842
565	ALTOS DE PIPE	1739	DF	1024	6659	1586	PANAQUIRE	30	MI	101326	661415	3309	EL BAUL-CARRITERA	102	CO	85940	681451
570	MACAGUITA	200	MI	100741	665622	1588	TAGUAZA-LA CORONA	137	MI	1010	6628	3311	PUENTE EL BAUL	95	CO	85734	681729
571	TUMUZA	200	MI	101555	664450	1652	PAPAZO	10	MI	102256	655916	3332	JOBALITO	102	CO	84115	680543
572	CHARALLAVE	400	MI	1016	665122	1661	TACARIGUA LA LAGUNA	2	MI	101827	655236	3400	BIOLOGICA LOS LLANOS	86	GU	853	6719
582	CUA-TOVAR	230	MI	100845	665150	1662	SAN JOSE RIO CHICO	8	MI	101825	660040	3403	LOS NARANJOS	78	GU	85238	673035
585	CA-A AMARGA	340	MI	100311	665741	2308	VALLECITO	474	CO	95252	682757	3415	GUAYABAL	38	GU	80042	672405
589	RIO ARRIBA	395	MI	1009	6701	2316	TINAQUILLO	385	CO	95518	681738	3436	BANCOS DE SAN PEDRO	100	GU	845	6732
590	SAN CASIMIRO	444	AR	100015	670149	2318	CACHINCHE	400	CO	95400	680830	3437	LA MISION	120	GU	85702	672300
594	COLONIA MENDOZA	210	MI	100741	664950	2324	MANRIQUE	450	CO	94842	683102	3438	LA CANDELARIA	66	GU	84722	674028
607	CARACAS-SAN JOSE DEL AVILA	919	DF	103121	665458	2326	AGUADITA	219	CO	94849	682231	3454	COROZO-PANDO	65	GU	83046	673504
612	CARACAS-CIRCULO MILITAR	990	DF	102815	665350	2333	LA CEIBA-CAMORICO	150	CO	93903	684423	3501	EL CALVARIO	120	GU	85905	670800
623	CARACAS-LA TRINIDAD	962	MI	102630	665150	2335	MORENA	160	CO	94132	683547	3502	PALENQUE-DISPENSARIO	120	GU	85940	665350
624	CARACAS-URBANIZACION MIRANDA	1040	MI	102905	664700	2336	TINACO	171	CO	94212	682624	3503	HATO EL BURRO	120	GU	90000	660507
626	CARACAS-LOS CHORROS	1000	MI	103050	664926	2338	EL PAO PLANTA	148	CO	94537	680644	3504	LA CULEBRA	180	GU	90030	6612
1205	MIRAFLORES	1310	YA	101351	690100	2340	COJEDITOS	160	CO	93847	685510	3505	SAN ANTONIO	100	GU	82728	661650
1288	YARITAGUA	384	YA	100516	690732	2342	SANTA TERESA	150	CO	93123	685137	3506	TORO NEGRO	88	GU	82240	661430
1295	YARITAGUA-EXPOSICION RODEO	375	YA	1004	6907	2348	MORITA-CASERIO	122	CO	93919	681530	3601	EL PALITO	135	GU	84841	655708
1297	EL RODEO-EXPOSICION OCCIDENTAL	312	YA	100300	690807	2349	EL PAO-OFCINA	128	CO	939	6803	3602	ALTAMIRA	130	GU	835	6534
1304	PUEBLO NUEVO	40	YA	103508	683308	2350	GALERA	180	CO	92844	681031	3603	MATA LINDA	115	GU	85458	6539
1307	HACIENDA MACAGUITA	25	YA	103245	682523	2352	MATA OSCURA	120	CO	93156	675920	3625	SANTA MARIA DE IPIRE	160	GU	85030	651950
1309	BARBULA	545	CA	101742	680018	2354	LOS COLORADOS	157	CO	93833	683784	5001	CARABALLEDA	74	DF	103647	665043
1310	GUATAPARO-EL CAFE	1200	CA	101606	680321	2357	GUABINAS	180									

aportada por la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) .

## 2.- METODOS DE ANALISIS

Para aplicar el método de análisis de Componentes Principales ( ACP ) se obtuvo una muestra de 250 individuos (estaciones pluviográficas) con 132 variables que representaban cada una el total de precipitación mensual, para los 11 años de registro. El ACP se utilizó con la finalidad de obtener una representación gráfica de las estaciones, que permitiera definir grupos homogéneos de igual comportamiento de régimen mensual de precipitación. Tomando en consideración que una cantidad de lluvia mensual nula tiene un sentido físico real , se formó una matriz de 500 individuos y 132 variables, agregándole una observación simétrica a cada valor mensual registrado (Defives,1993), a fin de que el centro de gravedad de los datos se encontrara en cero y no en el centro de gravedad de las mediciones , eliminando al final, las pseudo observaciones y no tomándolas en cuenta para su representación.

Para la delimitación de los grupos se aplicó una solución gráfica .En principio se definió un espacio reducido que explicara la mayor variación total dentro del conjunto original de individuos, ubicando posteriormente las estaciones según las coordenadas de los dos componentes principales seleccionados, para luego comparar la similitud de su distancia euclidiana con respecto a la distancia en su espacio geográfico y el patrón topográfico del área bajo estudio.

Por otra parte, para la representación de las variables , los autovectores principales fueron sometidos a una rotación Varimax, ya que de esta forma se eliminaban ciertas ambigüedades, que muchas veces eran evidentes en las soluciones directas, facilitando así la interpretación del espacio bidimensional conformado por los mismos.

### 3.- RESULTADOS

El conjunto de datos originales se redujo a dos dimensiones, debido a que los dos primeros autovalores indicaron el 67.1 y el 12.1 por ciento de la varianza respectivamente, lo que representaba un 79.3% de la variación total dentro del conjunto de las variables originales (tabla 2), por esta razón se descartaron los otros componentes ya que su explicación dentro de la variabilidad era muy poco significativa.

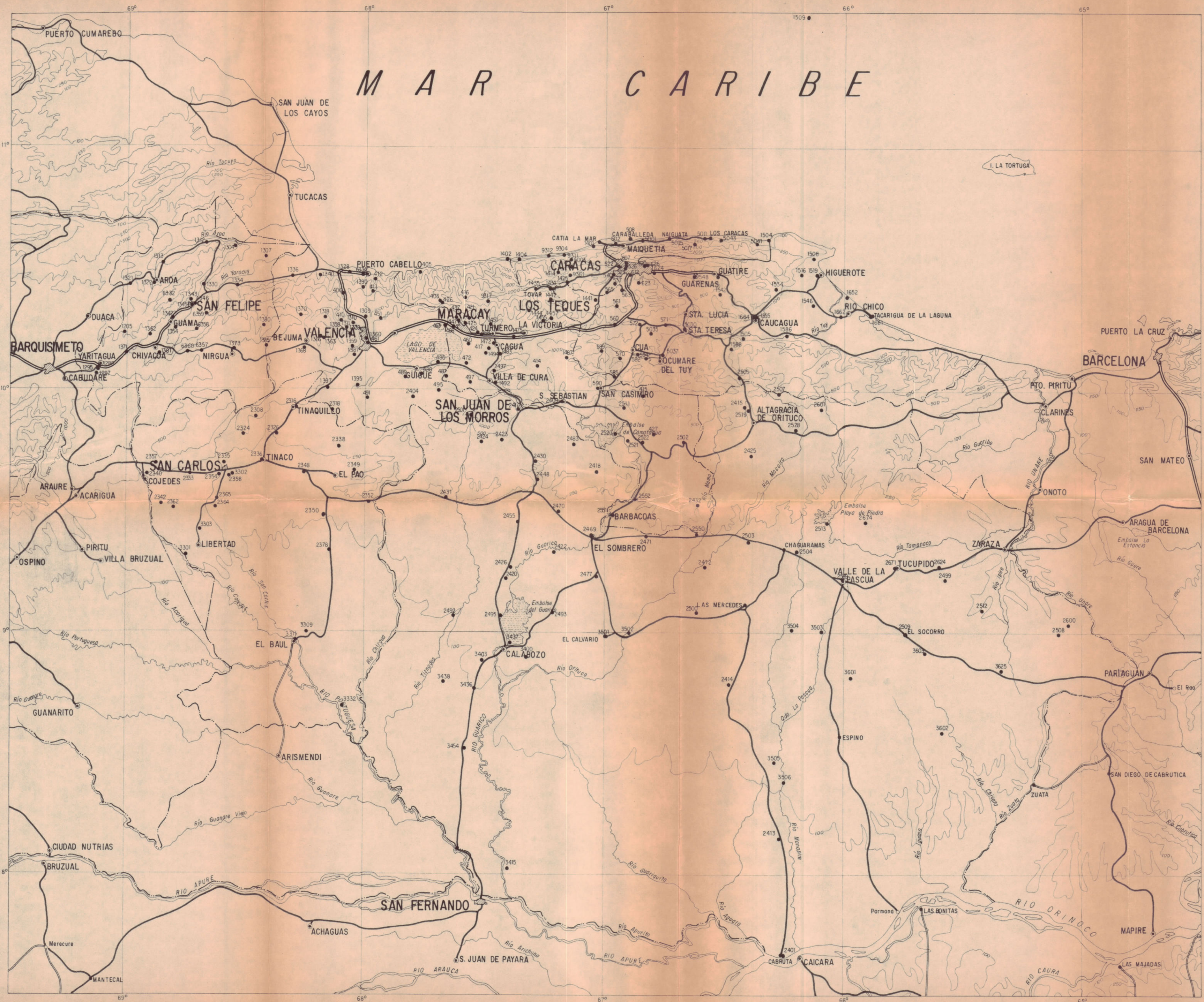
TABLA 2

Autovalores de la Matrix de Correlación

	Autovector	Diferencia	Proporción	Acumulado
PRIN1	103.444	84.7668	0.671717	0.671717
PRIN2	18.678	.	0.121283	0.793000

El hecho de que los dos primeros valores propios explicaran el mayor porcentaje del comportamiento de los datos, simplificó la interpretación de los resultados, en cuanto a la representación geométrica de la estaciones (individuos), permitiendo a su vez, visualizar la distancia entre ellas, a fin de discernir los grupos.

La interpretación de los componentes seleccionados se realizó a partir de la representación de las variables originales en el espacio conformados por los mismos, lo que permitió identificar fácilmente las características del régimen mensual pluviométrico según la distancia de las variables al origen. En la Fig.2 podemos apreciar que los meses más lluviosos del año: abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, caracterizan al primer componente por su alta correlación con estas variables; no obstante se puede observar que el grado de asociación disminuye desde octubre hasta marzo, lo cual indica que este primer componente está relacionado con la variación de la cantidad de lluvia mensual.



**CIDIAT**  
 UNIDAD DE ESTUDIOS  
 DEL CLIMA TROPICAL  
 MERIDA-1994

**REGION NORTECENTRAL DE  
 VENEZUELA**



ESCALA: 1 / 1000.000  
 FUENTE:  
 ● ESTACION PLUVIOMETRICA

ING: MARIA ISABEL ROJAS P.  
 DIBUJO: HENRY J. GONZALEZ

### 3.- RESULTADOS

El conjunto de datos originales se redujo a dos dimensiones, debido a que los dos primeros autovalores indicaron el 67.1 y el 12.1 por ciento de la varianza respectivamente, lo que representaba un 79.3% de la variación total dentro del conjunto de las variables originales (tabla 2), por esta razón se descartaron los otros componentes ya que su explicación dentro de la variabilidad era muy poco significativa.

TABLA 2

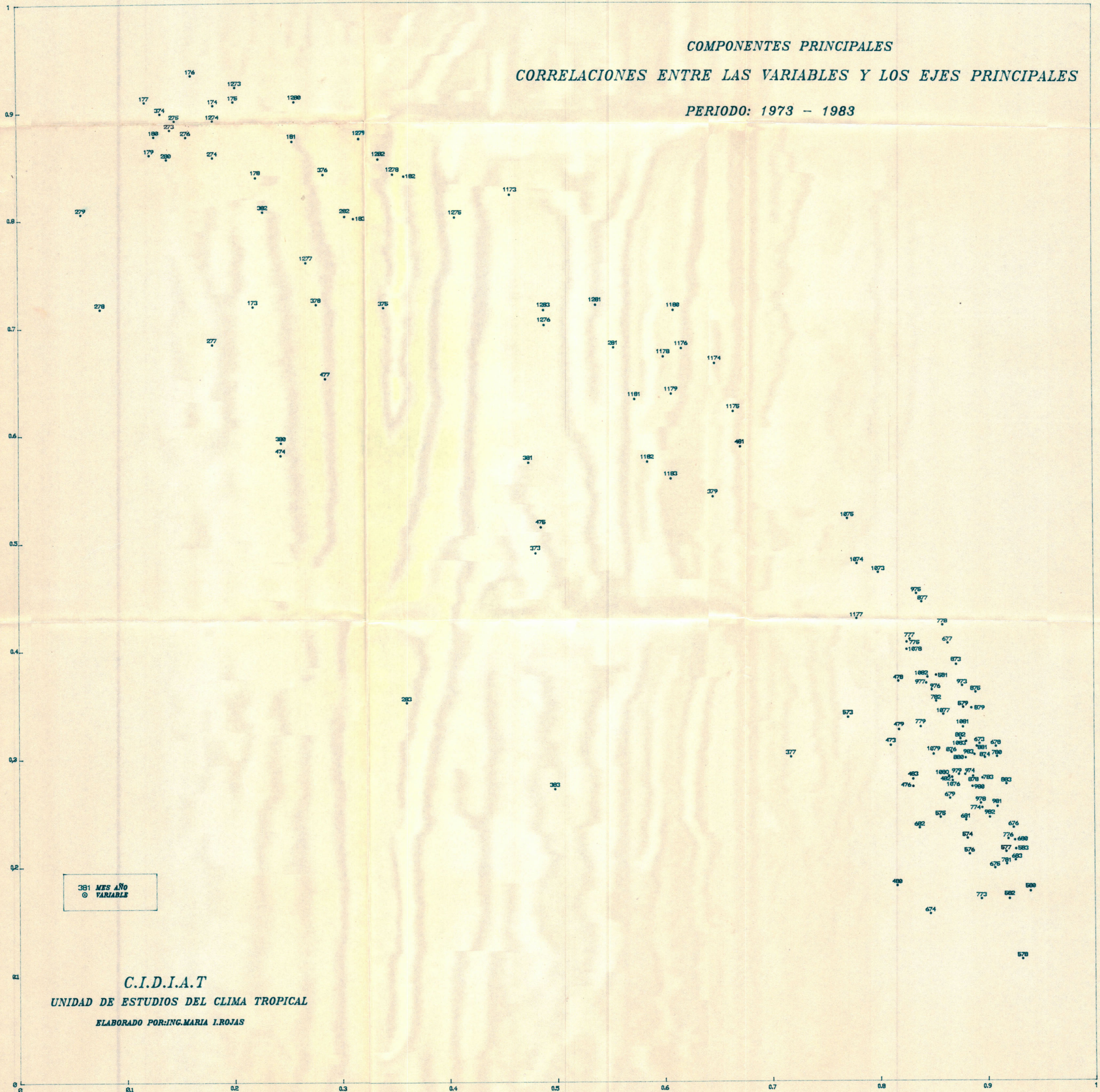
Autovalores de la Matrix de Correlación				
	Autovector	Diferencia	Proporción	Acumulado
PRIN1	103.444	84.7668	0.671717	0.671717
PRIN2	18.678	.	0.121283	0.793000

El hecho de que los dos primeros valores propios explicaran el mayor porcentaje del comportamiento de los datos, simplificó la interpretación de los resultados, en cuanto a la representación geométrica de la estaciones (individuos), permitiendo a su vez, visualizar la distancia entre ellas, a fin de discernir los grupos.

La interpretación de los componentes seleccionados se realizó a partir de la representación de las variables originales en el espacio conformados por los mismos, lo que permitió identificar fácilmente las características del régimen mensual pluviométrico según la distancia de las variables al origen. En la Fig.2 podemos apreciar que los meses más lluviosos del año: abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, caracterizan al primer componente por su alta correlación con estas variables; no obstante se puede observar que el grado de asociación disminuye desde octubre hasta marzo, lo cual indica que este primer componente está relacionado con la variación de la cantidad de lluvia mensual.

COMPONENTES PRINCIPALES  
CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES Y LOS EJES PRINCIPALES

PERIODO: 1973 - 1983



Con respecto al segundo componente , se pudo apreciar una evidente oposición entre los meses secos y los húmedos, lo que indica que este componente representa la variación del régimen mensual de precipitación. Esto está relacionado con el hecho de que en Venezuela el régimen pluviométrico está caracterizado por presentar un período seco y otro húmedo , cuya ocurrencia en el calendario, en una determinada localidad, dependerá fundamentalmente de tres factores: meteorológico, orográfico y del flujo de aire sobre el cual está influenciado durante el año . A través del segundo componente también se detectaron los meses denominados de transición entre el período seco y el húmedo, y de aquellos meses que se han presentado de una manera anómala, es decir demasiados húmedos o muy secos en un año particular , dentro de cualquiera de los períodos antes señalados

Los resultados del agrupamiento se muestran en figs 3 y 4, en las cuales se señalan, con colores distintos, los 23 grupos conformados a partir de las coordenadas del primer y segundo autovector, la cercanía geográfica y la orografía circundante. En la fig.3 se observó que con respecto al primer componente, las estaciones son más húmedas en la medida que se alejan del origen de coordenadas y con respecto al segundo componente se pudo notar que la variación ,en el calendario , se determinó en función de la diferencia con respecto al tipo de régimen unimodal con un máximo de precipitación en el mes de junio o julio y las más alejadas presentan un tipo de régimen del tipo meseta, es decir que la cantidad de lluvia por mes en el período lluvioso se mantiene aproximadamente constante desde mayo hasta octubre o desde junio hasta diciembre, por lo que en la fig.2 se puede apreciar una nube de puntos intermedia entre los meses húmedos y secos. Es de hacer notar que la variación del primer componente es aproximadamente cinco veces mayor que la dada por el segundo , lo que significa que existe mayor variación espacial en la cantidad de lluvia que en el tipo de patrón mensual pluviométrico.

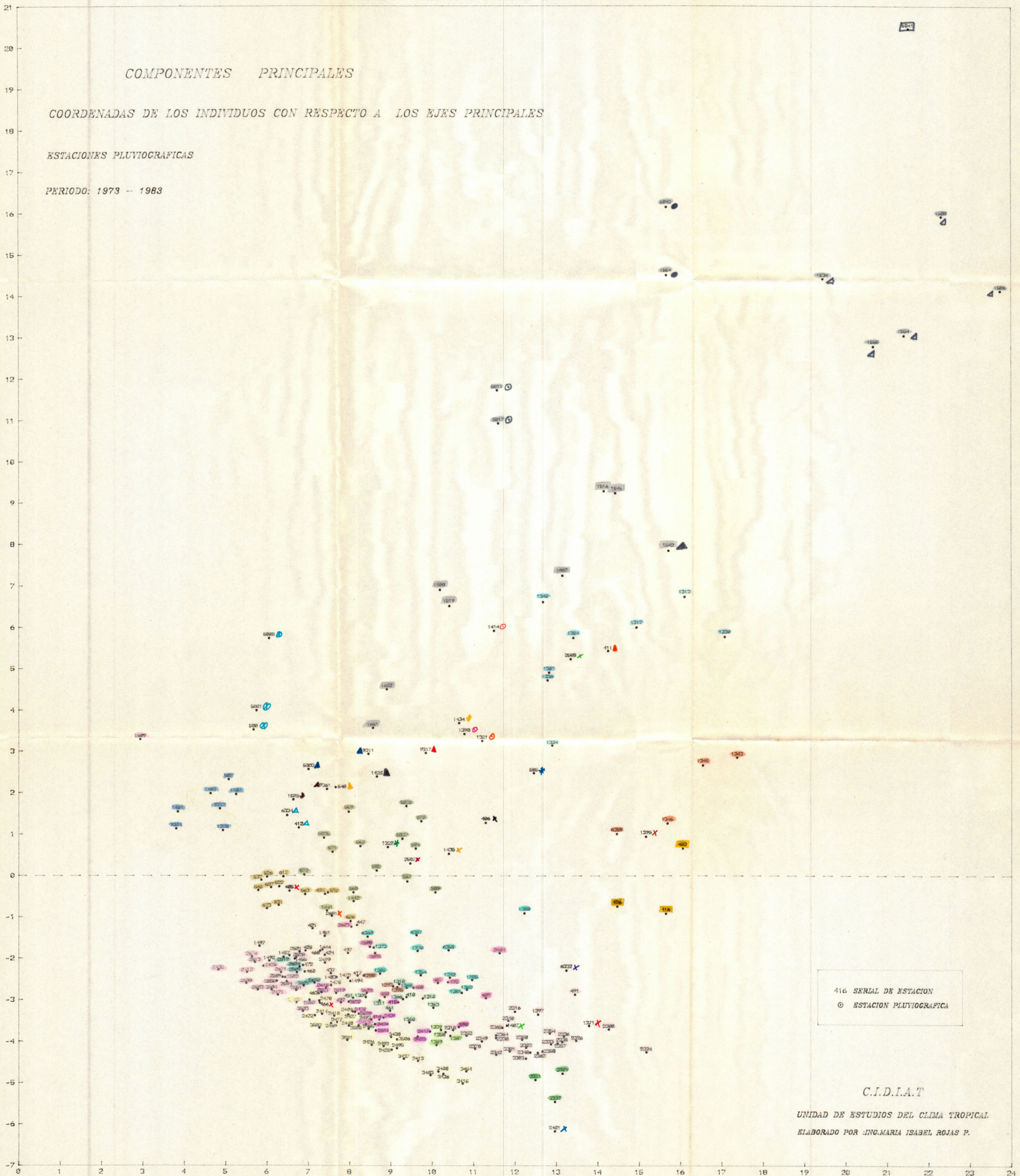
Se formaron, además, 21 grupos unitarios en los cuales, aún cuando las estaciones estaban ubicadas en una misma área geográfica, su distancia euclidiana era

COMPONENTES PRINCIPALES

COORDENADAS DE LOS INDIVIDUOS CON RESPECTO A LOS EJES PRINCIPALES

ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS

PERIODO: 1973 - 1983



416 SERIAL DE ESTACION  
 ○ ESTACION PLUVIOGRAFICA

C.I.D.I.A.T  
 UNIDAD DE ESTUDIOS DEL CLIMA TROPICAL  
 ELABORADO POR ING. MARIA ISABEL ROJAS P.

significativamente grande, esto podría deberse, bien a la influencia de la topografía del área y/o por el efecto costero, que determinan un régimen particular de precipitación en su cantidad de lluvia mensual o por la calidad de los datos registrados en algunas de ellas. Las estaciones atípicas ( puntos outliers) fueron La Orchila (1509), la estación más árida de toda la región y Los Caracas (5041) la más húmeda y con un régimen cuyas características especiales se deben principalmente a su ubicación en un valle intramontano elevaciones mayores a los 1000 m.s.n.m y cuyo saliente es el mar.

Ahora bien, desde el punto de vista geográfico, a partir de la aplicación del ACP se observó que en la Región Centro-Norte del país la cantidad de precipitación disminuye del Oeste al Este y la variación, en cuanto al régimen mensual de precipitación, varía de Sur a Norte.

Los grupos de estaciones que indican zonas que van de áridas a semiáridas se encuentran en el litoral central, esto se debe a la influencia de los constantes vientos Alisios del Este, con escasas excepciones donde los valles más o menos amplios minimizan la acción desecante de estos flujos de aire, como es el caso de la zona noreste del Distrito Federal y del estado Miranda, cuyas estaciones son las más húmedas y su período de lluvia es del tipo meseta. Estas estaciones se ven afectadas durante los meses de noviembre y diciembre por perturbaciones y tormentas tropicales.

La Cordillera de La Costa, ubicada en la parte Norte del país incide también particularmente en la clasificación de las estaciones, pues aquellos grupos que están ubicados en el sotavento son más secos que los que están ubicados al barlovento, debido que los fenómenos de convección convierten a esta última en un área receptora de precipitación, marcando un verdadero contraste con las regiones semiáridas de la costa.

La región Centro-Norte del país está afectada durante todo el año por diferentes situaciones sinópticas, entre las que podemos mencionar la Zona de la Convergencia Intertropical (abril a noviembre), las Vaguadas en la altura (noviembre a febrero), Ondas

del Este (junio a octubre), inestabilidad atmosférica producidas por restos frontales (enero a abril) . Estas situaciones aunadas a la geografía física del lugar donde se localizan las estaciones determinan su comportamiento climatológico y por tanto sus posibles agrupaciones .

#### 4.- CONCLUSIONES

La aplicación del Análisis de Componentes Principales en los valores de precipitación mensual permitió la delimitación de grupos homogéneos de estaciones con igual régimen de precipitación , estableciendose a través de una representación gráfica , fundamentada analíticamente , las bases necesarias pra redefinir la red de estaciones de la Región Centro-Norte del país , bien por las deficiencias o por la redundancia de información en un área determinada.

#### BIBLIOGRAFIA

- Charbonneau R. Use of Principal Component Analysis to Identify Homogeneous Precipitation Stations for Optimal Interpolation, Water Resour. Res 15(6)1841-1850 , 1979
- Morris R. Classification Of Philippine rainfall patterns, IRPS Nh 109, April 1985
- Ogallo L. Regional Classification of East African Rainfall Stations into homogeneous Group Using the Method of Principal Component Analysis. Atmosphere Science, 13, 1980
- Rodriguez N, 1993 . Clasificación de las Estaciones Pluviométricas de Los Andes venezolanos. Tesis de grado ULA