

# DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL EN LA INTENSIDAD DE LOS PERIODOS SECOS: APLICACIÓN EN EL VALLE MEDIO DEL RÍO EBRO

Sergio M. VICENTE SERRANO y José M. CUADRAT PRATS

*Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.*

**RESUMEN:** En este trabajo se presenta una metodología para determinar la diferente intensidad que tienen los periodos secos en un territorio considerado como homogéneo desde el punto de vista ecológico, climático y paisajístico. Se ha calculado una serie regional que ha servido para identificar los diferentes periodos secos y a partir de estos periodos se ha calculado la intensidad en cada observatorio mediante la normalización de la precipitación recogida. Se han utilizado sistemas de información geográfica y análisis estadísticos multivariantes (conglomerados jerárquicos y análisis de componentes principales) para determinar las pautas espaciales de estos periodos secos, hallando una clara diferenciación espacial del fenómeno a pesar de tratarse de un área climáticamente muy uniforme.

**Palabras clave:** Periodos secos, intensidad de los periodos secos, sequía, valle del Ebro.

**ABSTRACT:** *A methodology is presented to determine the different intensity of the dry periods in a homogeneous territory. A regional series has been calculated and it has been good to identify the different dry periods. Starting from these periods, the intensity has been calculated in each observatory through the normalization of the showed precipitation. Geographical information systems and multivariate methods have been used (cluster analysis and principal components analysis) to determine the spatial patterns of the dry periods. In the region where the study has been applied there is a clear spatial differentiation of the phenomenon although this is a region climatically uniform.*

**Key words:** *Dry periods, Dry periods intensity, drought, Ebro valley.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios que se han realizado en España sobre el clima y la pluviometría han regionalizado el territorio ibérico en una serie de grandes conjuntos cuyo comportamiento pluviométrico es relativamente uniforme en cuanto a los procesos de indigencia pluviométrica. Las secuencias secas que se han analizado y los patrones de circulación atmosférica que las han propiciado sugieren claramente esta compartimentación general (OLCINA, 2001).

Dado que esta regionalización parece estar asentada en la comunidad científica, con numerosos estudios sobre los periodos secos y las sequías en cada una de estas regiones (OLCINA, 1994; CUADRAT, 2001; QUEREDA *et al.*, 2001; MARTÍN-VIDE y GÓMEZ, 1999; ORTIGOSA, L.M., 1987; ESTRELA, *et al.*, 2000; PÉREZ CUEVA y ESCRIVÁ, 1982, etc), cabe realizarse una serie de preguntas sobre si la dinámica pluviométrica general en cuanto a su variabilidad es de verdad uniforme, y si junto a una tendencia y un comportamiento general de sensibilidad a determinados fenómenos climáticos, en este caso periodos de indigencia pluviométrica, se pueden encontrar una serie de patrones espaciales que permitan localizar áreas sometidas a una mayor intensificación del fenómeno cuando se produce un periodo seco. Esto es evidente en áreas en las que se producen importantes variaciones topográficas en distancias cortas, ya que el relieve actúa como elemento perturbador de la dinámica atmosférica general, provocando un incremento de las precipitaciones y una menor incidencia de las secuencias secas. Sin embargo, en áreas relativamente continuas, en cuanto al relieve o la vegetación, puede suceder que no exista una homogeneidad climática real y que encontremos una dinámica general caracterizada por la diferenciación entre áreas con periodos secos muy intensos de forma recurrente, frente a otros sectores en los que los periodos secos tienen una aparición más suavizada respecto a la dinámica general. En este trabajo se plantea una metodología para determinar la diferente intensidad que tienen los periodos secos a nivel regional, ya que conocer esta dinámica en un área relativamente homogénea puede tener gran interés científico y aplicado.

El sector central del valle del Ebro es una región de acusada variabilidad pluviométrica (CUADRAT, 1999; ASCASO y CUADRAT, 1981). La sucesión frecuente de periodos secos de mayor o menor intensidad es uno de los principales factores que explican las características paisajísticas del valle, con una vegetación de tipo estepario adaptada a la sequedad y con unas actividades humanas que han aprovechado el territorio tradicionalmente de forma extensiva debido a las propias limitaciones que le imponía el medio climático. En esta área los recursos hídricos son limitados, por lo que determinar con detalle la diferente intensidad espacial de los periodos secos puede ayudar a racionalizar las actuaciones de tipo territorial a fin de adaptarlas a las condiciones intrínsecas del medio, evitando inadaptaciones productivas que supongan una desventaja para el desarrollo regional.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se ha realizado en el sector central del río Ebro, en un área de 22.909 Km<sup>2</sup> que engloba la mayor parte de la provincia de Zaragoza, así como los somontanos pirenaico e ibérico, que recogen una importante superficie de las provincias de Huesca y Teruel (Figura 1).

Paisajísticamente se trata de una región relativamente homogénea donde predominan los relieves tabulares fruto de la fuerte erosión de los depósitos terciarios continentales. La vegetación dominante es esteparia de influencia térmica (PEDROCCHI, 1998; SUÁREZ CARDONA *et al.*, 1992), excepto en los escasos relieves destacados (sierra de Alcubierre) donde aparecen áreas repobladas por pinares que se adaptan a duras penas a la dura climatología y a los escasos y pobres suelos. En los sectores sur y norte, donde los somontanos enlazan con las sierras ibéricas y prepirenaicas se produce un incremento de la vegetación inducida por el aumento altitudinal. El principal aprovechamiento lo constituyen los secanos cerealistas, complementados con los regadíos implantados

en la segunda mitad del siglo XX en los Monegros y las Bardenas. En el corredor del Ebro existen unos regadíos muy productivos sobre fértiles suelos aluviales. El clima se caracteriza fundamentalmente por la reducida pluviometría, lo que hace que la existencia de periodos secos y de largas secuencias de días sin lluvia sea un fenómeno habitual y persistente (CREUS, 2001; ASCASO y CASALS, 1981; SAZ y CREUS, 1998), con importantes consecuencias económicas y paisajísticas. Esta carencia crónica de precipitaciones se suele ver acentuada por el cierzo, viento dominante del NW, que barre el valle desecando la poca humedad que retiene el suelo y contribuyendo decisivamente a la aridificación paisajística que tiene lugar. Junto a ello, existe una acusada continentalidad térmica que provoca altas temperaturas estivales que agravan las tasas de evapotranspiración potencial, en unos momentos en los que se produce el principal descenso pluviométrico anual, y cuando las disponibilidades hídricas son menores.

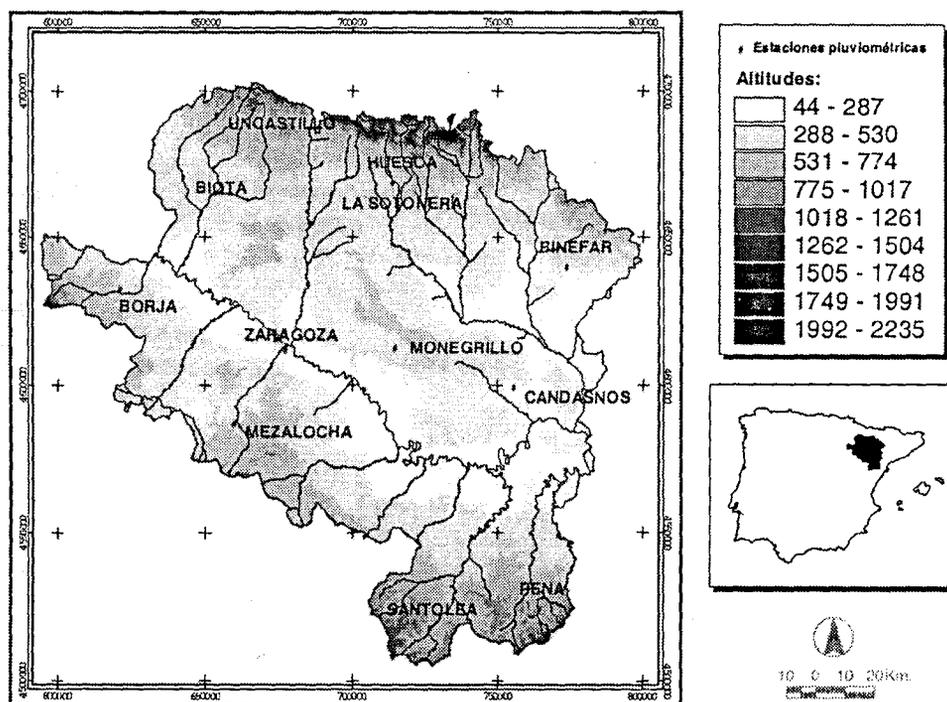


Figura 1: Descripción del área de estudio.

### 3. METODOLOGÍA

Se recopilaron los datos diarios de 328 estaciones pluviométricas del área de estudio procedentes del banco de datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Los registros diarios se agruparon en mensuales. Se comprobó la calidad de las diferentes estaciones y se establecieron una serie de

critérios para elegir las más adecuadas para el trabajo. Se seleccionaron los observatorios con datos anteriores a 1945 con un 5% como máximo de meses perdidos (AGUILAR *et al.*, 1999). Este filtro redujo el número de estaciones a nueve (Zaragoza, Huesca, Mezalocha, La Sotonera, Uncastillo, Pena, Candanos, Monegrillo y Santolea). Para lograr una cobertura espacial mayor se decidió componer algunas series mediante observatorios cercanos ubicados a menos de 10 km. y con coeficientes de correlación superiores a 0,85, con ello se incorporaron los observatorios de Borja, Biota y Binéfar a los nueve anteriores. En total se utilizaron, pues, doce observatorios que cubren el periodo 1943-1991.

Una vez determinados los observatorios se procedió al relleno de lagunas. Para ello se identificaron las estaciones a menos de 10 km. de cada estación a completar. Se seleccionaron aquellas cuyos coeficientes de correlación superaban 0,5 (en realidad todas las estaciones presentaban coeficientes superiores a 0,7, con un predominio de aquéllos entre 0,8 y 0,9). En el caso de que no hubiera observatorios suficientes para el relleno a 10 km. se seleccionaron también los ubicados a menos de 20 km., estableciéndose los mismos criterios de idoneidad. El relleno se llevó a cabo mediante el cálculo de la media aritmética entre todas las estaciones seleccionadas. Se calcularon los promedios tanto para los meses en los que se disponía de precipitación como en los que existía la laguna a rellenar. Con ello se obtuvieron unos valores estimados ( $x_e$ ) que se podían poner en relación con los valores reales ( $x_r$ ) medidos en el observatorio. De la diferencia entre el valor estimado y el real se obtuvo un residuo que representa el error de estimación de la precipitación mediante la media aritmética entre los observatorios (NINYEROLA *et al.*, 2000).

$$r = x_r - x_e$$

Como las diferencias promedio mensuales en los residuos eran significativas se calcularon los errores promedio para cada mes.

$$\bar{r}_m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{r,m} - x_{e,m})}{n}$$

Donde  $r$  es el promedio del residuo para el mes  $m$ ,  $x_{r,m}$  es el valor medido en el observatorio para el mes  $m$ , y  $x_{e,m}$  es el valor estimado mediante la media aritmética de los observatorios seleccionados. Con ello se obtuvo un factor corrector mensual con el que corregir el valor obtenido mediante la media aritmética entre observatorios.

$$x_{e,m} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} + r_m$$

Una vez completados los doce observatorios, se procedió a la homogeneización de los datos mediante el método de ALEXANDERSSON y MOBERG (1997) implementado en el programa ANCLIM. Paso previo a la homogeneización fue la creación de una serie de referencia para cada observatorio a partir de la cual se homogeneizarían los datos (PETERSON y EASTERLING, 1994).

Con las doce series homogeneizadas se procedió a la creación de una serie regional de toda el área de estudio a partir del método planteado por JONES y HULME (1996). El primer paso consistió en la estandarización de las anomalías de cada observatorio.

$$\Delta \hat{P}_{ik} = \frac{P_{ik} - \bar{P}_i}{\sigma_i}$$

Posteriormente se sumaron las anomalías mensuales ponderándolas por el peso que presentaba cada estación ( $w_i$ ) mediante el cálculo de polígonos de Thiessen.

$$\langle \Delta \hat{P}_k \rangle = \sum_{i=1}^n w_i \Delta \hat{P}_{ik}$$

JONES y HULME (1996) consideran que los valores obtenidos dan una buena medida de la variabilidad mensual de la precipitación; sin embargo, las unidades están en desviaciones estándar, por lo que para desnormalizar se calcula:

$$\langle \bar{P}_k \rangle = \langle \Delta \hat{P}_k \rangle \bar{\sigma} + \bar{P}$$

Donde  $\bar{\sigma}$  y  $\bar{P}$  son la desviación estándar de la precipitación y la media regional de la misma que se obtienen mediante:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \bar{P}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

donde  $\bar{\sigma}$  y  $\bar{P}$  son la media mensual y la desviación estándar del observatorio  $i$ .

Con la aplicación de este método se obtuvo una serie regional para todo el conjunto del área de estudio entre 1943 y 1991 (Figura 2).

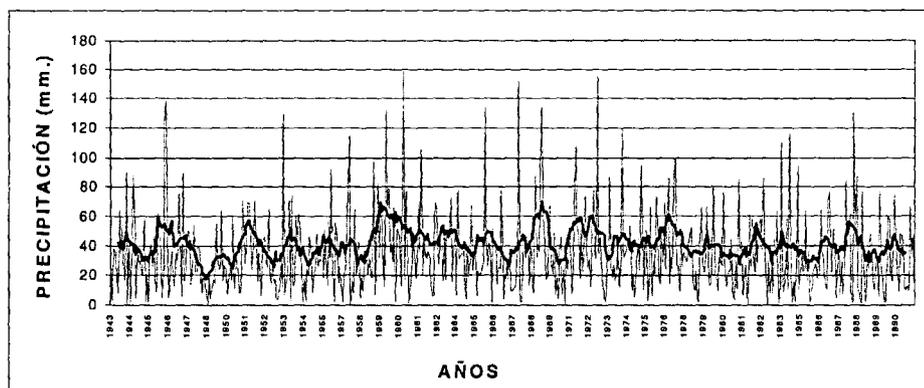


Figura 2: Serie regional para el sector central del valle del río Ebro (1943-1991). La línea negra representa una media móvil anual.

Una vez obtenida la serie regional se determinó un umbral por debajo del cual se consideraron los meses como secos. El umbral que se determinó fue el del segundo quintil de precipitación de la serie regional, es decir, todo mes dentro del intervalo del 40% de los meses más secos de la serie. Este es un criterio clásico en la definición de un año como seco (OMM, 1986; ALMARZA, 2000). Sin embargo, nuestro caso consistía en el análisis de precipitaciones mensuales, con la consiguiente perturbación estacional que se produce en los regímenes de precipitación, ya que la precipitación en el área de estudio tiene dos máximos (otoñal y primaveral) y dos mínimos (invernal y estival, mucho más marcado en esta última estación). Por esta razón, y para poder determinar realmente si un mes es seco de acuerdo al comportamiento pluviométrico mensual general de un observatorio se procedió a descomponer periódicamente las series mediante la adición de unos coeficientes que eliminan la perturbación estacional del régimen de precipitación.

La descomposición periódica se llevó a cabo en la serie regional y en cada uno de los doce observatorios utilizados. El resultado fueron trece series cuyos meses son comparables entre sí, permitiendo determinar si un mes es o no seco independientemente de la estación en que se encuentre. A partir de este momento se trabajó exclusivamente con las series descompuestas periódicamente.

De la serie regional se seleccionaron una serie de secuencias secas que, como tal, se consideraron los periodos de tres o más meses sucesivos cuya precipitación se encontrara por debajo del segundo quintil. Se computaron 26 secuencias de estas características entre 1943 y 1991.

El siguiente paso fue determinar para cada una de estas secuencias la intensidad que había representado en cada estación. Para ello se calculó el promedio de precipitación de los meses seleccionados como secuencia seca en la serie regional para cada una de las doce estaciones. Estos promedios se normalizaron en relación a la media y a la desviación estándar de cada observatorio:

$$a_{i,j} = \frac{x_{i,j} - \bar{x}}{\sigma}$$

Donde  $a_{i,j}$  es la intensidad de la secuencia seca  $i$  en el observatorio  $j$ ;  $x_{i,j}$  es el promedio de precipitación en la estación  $j$  durante la secuencia seca  $i$ ;  $\bar{x}$  es el promedio de precipitación de la estación  $j$  y  $\sigma$  es su desviación estándar. Para llevar a cabo esta normalización hubo que considerar que las series fueran normales. Para ello se aplicó el test de normalidad de Shapiro-Wilks a cada serie, comprobando normalidad en todas ellas.

El resultado de este proceso fue una base de datos sobre la intensidad de los periodos secos para cada estación. Esta base se implementó en un Sistema de Información Geográfica (MIRAMON v.3.5) para representar espacialmente la intensidad de cada secuencia seca. Se utilizó un SIG para realizar los análisis que permitieran comprobar si la intensidad de los periodos secos respondía a algún tipo de patrón espacial y si se podría compartimentar el área de estudio de acuerdo a esta intensidad.

Para pasar de una visión puntual a una percepción continua del territorio, mejor interpretable visual y numéricamente, se procedió a la interpolación espacial de las intensidades locales de cada

una de las secuencias secas reconocidas en la serie regional. La interpolación se realizó con la herramienta INTERPNT del SIG MIRAMON mediante el método de *splines* con tensión (MITASOVA y MITAS, 1995). La interpolación con *splines* se realiza mediante la compartimentación espacial de una función polinómica cúbica que es continua, al igual que su primera y segunda derivada (BORROUGH y McDONNELL, 1998). Se ha utilizado este método debido a su propiedad para suavizar las diferencias existentes entre las observaciones puntuales disponibles, lo que permite obtener un continuo suavizado donde se reconocen mejor las tendencias espaciales generales. Además, dada la escasa densidad de observatorios utilizados, no hubiera tenido sentido el uso de métodos que resaltan particularidades espaciales con mayor detalle como el co-kriging o la realización de un modelo de regresión múltiple.

El resultado de la interpolación de cada una de las anomalías secas fue una batería de mapas raster con una resolución de 500 m. que presentaban patrones de comportamiento espacial diferentes entre ellos, no pudiendo reconocer ningún tipo de comportamiento generalizable del que se pudieran extraer conclusiones climáticas significativas en cuanto a la intensidad de los periodos secos (Figura 3).

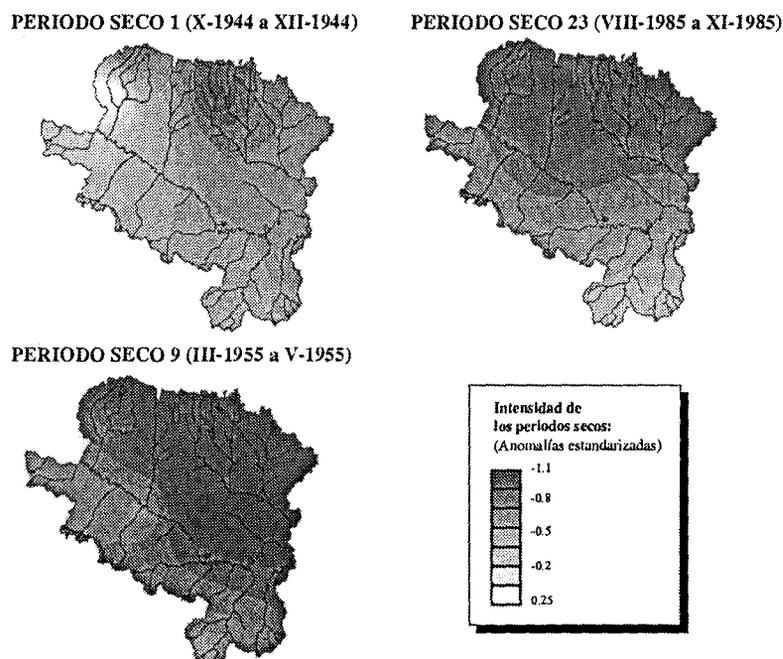


Figura 3: Ejemplo de la diferente intensidad espacial de los distintos periodos secos.

Para determinar a partir de los mapas de anomalías parciales el comportamiento territorial general se procedió a la realización de un Análisis de Componentes Principales. Esta técnica ha sido muy utilizada en estudios de regionalización climática (ROMERO *et al.*, 1999; RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al.*, 1998; BARRING, 1987, WHITE *et al.*, 1991, etc...) ya que mediante el análisis

de los componentes que agrupan el mayor porcentaje de la varianza se pueden conocer los patrones de comportamiento espacial general, así como aquellas áreas sujetas a mayor variabilidad en el fenómeno.

Finalmente se llevó a cabo una regionalización a partir de la intensidad de los periodos secos que afectan a las diferentes estaciones. Para ello se recurrió a un análisis de conglomerados jerárquicos a través del método de conglomeración por vecino más lejano, donde la distancia entre dos conglomerados se calcula como la distancia entre sus dos puntos más alejados. Este método fuerza la estructura de los conglomerados pero la clasificación es más fiable, ya que si entre casos lejanos se produce una agrupación esta será más sólida.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados del análisis de componentes principales se recogen en la tabla 1. Se aprecia un agrupamiento casi total de la varianza en el primer componente principal, que es el que indica las pautas de comportamiento general del territorio, en cuanto a la intensidad de los periodos secos respecto a la pluviometría normal de cada estación. El que el primer componente agrupe el 93,51% de la varianza nos da unos claros patrones generales, ya que la variabilidad territorial sólomente agrupará un máximo del 6,5% restante.

Tabla 1: RESULTADO DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES\*

	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
% varianza	93.51	2.59	0.58	0.5	0.48
Eigenvalue	52821.83	1464.56	326.86	282.9	270.79

\* Se muestran los cinco primeros componentes.

La figura 4 es una representación cartográfica de la primera componente principal del análisis. En ella se aprecia una clara diferenciación entre el sector NE y el resto del territorio, con una gradación desde los Monegros, la Hoya de Huesca y las comarcas de la Litera y el Sobrarbe hacia el centro del valle y los somontanos ibéricos y prepirenaico occidental. Es en el área nororiental donde la intensidad de los periodos secos es más alta. Alrededor de este sector, y englobando un ancho pasillo que recoge fundamentalmente el curso del río Ebro, hay un territorio en el que los periodos secos tienen una menor intensidad, sin embargo, las diferencias no son muy significativas respecto al área anterior, pudiendo considerarse también un sector en el que las secuencias secas también presentan una intensidad considerable, superior en todos los casos a 0,67.

Conforme nos aproximamos a las estribaciones de la cordillera ibérica, donde se incrementa la altitud, o al prepirineo oscense occidental, donde la influencia oceánica es mayor, la intensidad de los periodos secos disminuye, y lo hace en mayor medida conforme nos acercamos a las cadenas costero catalanas y a la influencia de las borrascas y bajas presiones mediterráneas. En este caso, la más elevada altitud y un relieve más complejo que en el sector central del valle del Ebro pueden ser la razón que explique la mayor estabilidad y regularidad en los regímenes de precipitación respecto al sector central.

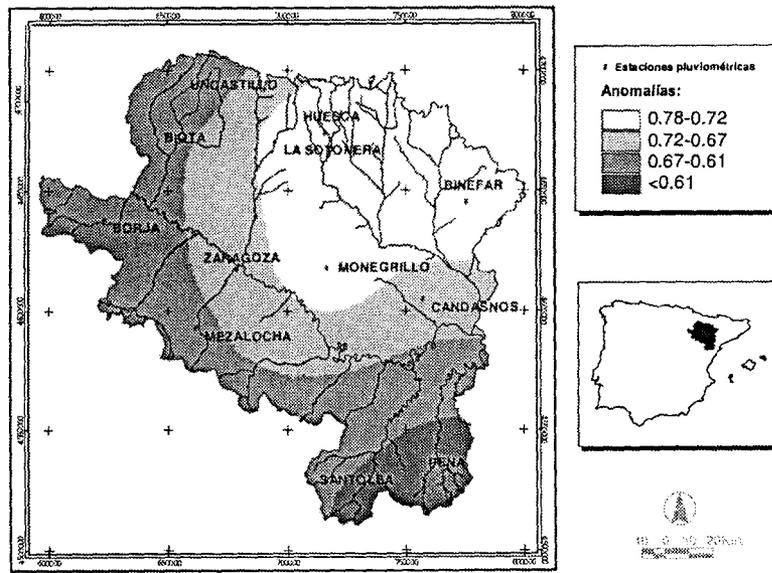


Figura 4: Intensidad de los periodos secos. Primer Componente Principal. Datos en anomalías secas normalizadas.

El análisis de conglomerados jerárquicos corrobora la compartimentación hallada con el primer componente principal. El dendrograma resultante (Figura 5) separa claramente las estaciones ubicadas en el área nororiental, o en el sector central del valle, de las ubicadas en el somontano occidental, en el sistema ibérico o en los límites con Cataluña y el Levante. Este hecho es indicativo de un comportamiento diferente dentro de un área relativamente homogénea desde un punto de vista climático y paisajístico, y aunque los valores encontrados entre los diferentes sectores no pre-

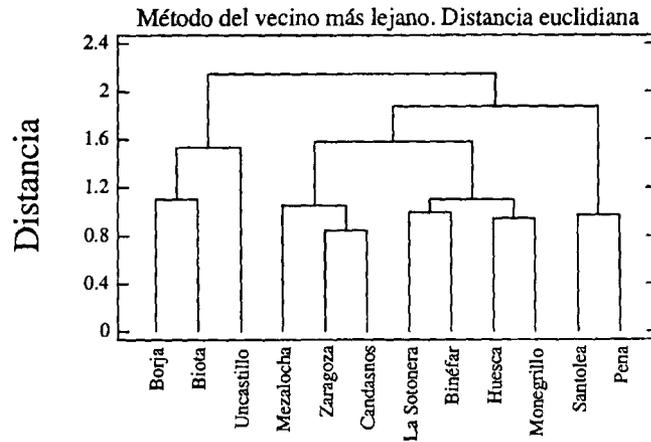


Figura 5: Dendrograma de clasificación mediante el método de conglomerados jerárquicos.

sentan una acusada semejanza, sí que encontramos unas pautas generales muy bien delimitadas que se deben tener en cuenta a la hora de caracterizar climáticamente el territorio o en el momento de acometer medidas de carácter territorial en las que el recurso hídrico tenga un papel predominante, ya que la inestabilidad y la incertidumbre en la disponibilidad de un recurso puede suponer la inviabilidad de determinadas actuaciones.

## 5. CONCLUSIONES

La variabilidad pluviométrica es una de las principales características climáticas de la España mediterránea, siendo los periodos secos un hecho recurrente a lo largo del tiempo (OLCINA, 1994; PITA, 1989; RASO *et al.*, 1981; GIL OLCINA, 2001). En este trabajo se ha mostrado un método para determinar la intensidad que cada uno de los periodos secos tienen respecto al comportamiento pluviométrico habitual que encontramos en un observatorio. Se ha planteado una metodología rigurosa que puede tener una importante utilidad en la caracterización climática de un territorio y en la identificación de áreas más sensibles a fenómenos de riesgo como sequías o a carencias pluviométricas prolongadas. Se ha podido determinar la utilidad del método en su aplicación al sector central del valle del Ebro, ya que con él se ha mostrado que en los territorios nororientales la intensidad de los periodos secos es superior al resto. No se ha profundizado en las causas que podrían generar esta clara regionalización en un área pluviométrica muy homogénea (CUADRAT, 1999), por ello, en este aspecto se deberá ahondar en el futuro, además de en la verificación del método mediante su aplicación a otras áreas de diferentes características, y en las que a primera vista tampoco existan unas claras pautas de regionalización en función de la intensidad de sus periodos secos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con el apoyo del proyecto de investigación CLI99-0981, financiado por la CICYT, Plan nacional de I+D.

## 7. REFERENCIAS

AGUILAR, E., LÓPEZ, J.M., BRUNET, M., SALADIÉ, O., SIGRÓ, X. y LÓPEZ, D., (1999): "Control de calidad y proceso de homogeneización de series térmicas catalanas". En "*La climatología española en los albores del siglo XXI*", J. Raso y J. Martín-Vide, Eds., 15-24.

ALEXANDERSSON, H., y MOBERG, A., (1997): "Homogeneization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends". *Int J. Climatol.* 17: 25-34.

ALMARZA, C., (2000): "Variaciones climáticas en España. Época instrumental". En "*El cambio climático*", *El campo*, 137 69-84.

ASCASO, A. y CASALS, M., (1981): "Periodos secos y sequías en la depresión del Ebro". *Geographicalia*, 11-22: 55-71.

ASCASO, A. y CUADRAT, J.M., (1981): "El clima de Aragón". En "*Geografía de Aragón*", A.

Higueras, Dir., Editorial Guara, Zaragoza.

BARRING, L., (1987): "Spatial patterns of daily rainfall in central Kenya: application of principal component analysis, common factor analysis and spatial correlation". *Int. J. Climatol.*, 7, 267-290.

BORROUGH, P.A y MCDONNELL, R.A., (1998): "*Principles of Geographical Information Systems*". Oxford University Press, 333 pp.

CREUS, J., (2001): "Las sequías en el valle del Ebro". En "*Causas y consecuencias de las sequías en España*" A. Gil Olcina y A. Morales Gil, Eds. Universidad de Alicante, 231-260.

CUADRAT, J.M., (1999): "*El clima de Aragón*". Caja de Ahorros de la Inmaculada, Zaragoza, 109 pp.

CUADRAT, J.M., (2001): "Percepción de la sequía en la fachada Cantábrica". En "*Causas y consecuencias de las sequías en España*", A. Gil Olcina y A. Morales Gil, Eds., Universidad de Alicante, 207-302.

ESTRELA, M.J., PEÑARROCHA, D., y MILLÁN, M., (2000): "Multi-annual drought episodes in the mediterranean (Valencia region) from 1950-1996. A spatio-temporal analysis". *Int. J. Climatol.*, 20, 1599-1618.

GIL OLCINA, A., (2001): "Secas históricas en la región climática del Sureste Ibérico". En "*Causas y consecuencias de las sequías en España*", A. Gil Olcina y A. Morales Gil, Eds., Universidad de Alicante, 161-185.

JONES, P.D. y HULME, M., (1996): "Calculating climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations". *International Journal of Climatology*, 16, 361-377.

LANA, X. y BURGUEÑO, A., (1998): "Spatial and temporal characterization of annual extreme droughts in Catalonia (Northeast Spain)". *International Journal of Climatology*, 18, 93-110.

MARTÍN-VIDE, J. y GÓMEZ, L., (1999): "Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells", *Int. J. Climatol.*, 19, 537-555.

MITASOVA, H. y MITAS, L., (1993): "Interpolation by Regularized Spline with Tension". *Mathematical Geology*, vol. 25, nº 6, 641-655.

NINYEROLA, M., PONS, X. y ROURE, J., (2000): "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques". *Int. J. Climatol.*, 20, 1823-1841.

OLCINA, J., (1994): "*Riesgos climáticos en la península ibérica*", Penthalon, Madrid, 440 pp.

OLCINA, J., (2001): "Causas de la sequía en España. Aspectos climáticos y geográficos de un fenómeno natural". En "*Causas y consecuencias de las sequías en España*", A. Gil Olcina y A. Morales Gil, Eds., Universidad de Alicante.

OMM (1986): "*Manual para la estimación de la precipitación máxima probable*". Ginebra, Organización Meteorológica Mundial, nº 332, 269 pp.

- ORTIGOSA, L.M., (1987): "Las sequías climáticas en el extremo noroccidental de la depresión del Ebro (La Rioja)". *Estudios Geográficos*, Tomo 68, nº 189, 639-658.
- PEDROCCHI, C., (1998): "*Ecología de los Monegros*". Instituto de Estudios Altoaragoneses, 430 pp.
- PÉREZ CUEVA, A. y ESCRIVÁ, J.L., (1982): "Aspectos climáticos de las sequías en el ámbito mediterráneo". *Cuad de Geogr*, 30, 1-12.
- PETERSON, T.C. y EASTERLING, D.R., (1994): "Creation of homogeneous composite climatological reference series". *Int J. Climatol.*, 14, 671-679.
- PITA, M.F., (1989): "La sequía como desastre natural. Su incidencia en el ámbito español". *Norba*, 6-7, 31-62.
- QUEREDA, J., MONTÓN, E. y ESCRIG, J., (2001): "Situaciones atmosféricas de sequía en la fachada oriental de la Península Ibérica". En "*Causas y consecuencias de las sequías en España*", A. Gil Olcina y A. Morales Gil, Eds., Universidad de Alicante, 11-130.
- RASO, J.M., CLAVERO, P.L. y MARTÍN-VIDE, J., (1981): "La sequía del año agrícola 1980-1981 en España". *Notes de Geografía Física*, 6, 31-47.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C., ENCINAS, A.H., NIETO, S. y GARMENDIA, J., (1998): "Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian peninsula". *Int. J. Climatol.*, 18, 299-316.
- ROMERO, R., RAMIS, C. y GUIJARRO, J.A., (1999): "Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification". *Int. J. Climatol.*, 19, 95-112.
- SAZ, M. y CREUS, J., (1998): "Estudio dendroclimático de las rachas secas y húmedas en el sector central de la Depresión del Ebro". *Geographica*, 36 159-172.
- SUÁREZ CARDONA, F., SAINZ OLLERO, H., SANTOS MARTÍNEZ, T y BERNÁLDEZ, F.G., (1992): "*Las estepas ibéricas*". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Centro de Publicaciones, Madrid, 160 pp.
- WHITE, D., RICHMAN, M. y YARNAL, B., (1991): "Climate regionalization and rotation of principal components". *Int. J. Climatol.*, 11, 1-25.