

COMPORTAMIENTO DE LAS SEQUÍAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: ANÁLISIS MEDIANTE EL *STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX*

José M. CUADRAT PRATS* y Sergio M. VICENTE-SERRANO**

* *Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza*

** *Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO)*

RESUMEN

Este trabajo analiza la evolución de las sequías en la Península Ibérica desde 1910 a 2000. Los principales episodios de sequía se identificaron mediante una serie regional para la totalidad peninsular, registrándose los episodios más severos en las décadas de 1940, 1950, 1980 y 1990. No obstante, se ha comprobado que la distribución espacial de los episodios de sequía puede ser muy diversa. De acuerdo a la evolución experimentada por las sequías se ha dividido la Península Ibérica en cuatro regiones homogéneas: Norte, Nordeste, Sudeste y las áreas centro-occidentales. Los principales episodios de sequía afectaron a amplias áreas de la Península Ibérica, pero también se comprueba que los periodos secos a veces manifiestan disincronías en su aparición, pudiendo afectar a una zonas mientras en otras dominan condiciones de humedad.

Palabras clave: Sequía, Standardized Precipitation Index, precipitación, análisis cluster, eventos extremos, Península Ibérica.

ABSTRACT

This paper analyses the evolution of droughts in the Iberian Peninsula from 1910 to 2000. The main drought episodes were identified at the scale of the entire Iberian Peninsula, with the most intense droughts recorded in the 40s, 50s, 80s and 90s. However, the spatial distribution of drought episodes can be very diverse. We divided the Peninsula into four homogeneous areas according to drought history. These areas are well-defined spatially as the North, Northeast, Southeast and Central/Western areas. The main drought episodes usually affected wide areas of the Iberian Peninsula, but dry periods sometimes manifested asynchronies - a simple drought episode can affect one region whilst other areas are subject to humid conditions.

Key words: *Drought, Standardized Precipitation Index, precipitation, analysis cluster, extreme events, Iberian Peninsula.*

1. INTRODUCCIÓN

Los extremos climáticos se han incrementado a lo largo del siglo XX (EASTERLING *et al.*, 2000), y también sus impactos sobre la sociedad (KUNKEL *et al.*, 1999); por ello, su análisis se ha convertido en una línea prioritaria de conocimiento con objeto fundamental de diseñar planes para la gestión y mitigación de sus efectos.

Las sequías son uno de los fenómenos extremos de consecuencias más nefastas y el más complejo de todos ellos (WILHITE, 1993). Al contrario que otros riesgos climáticos como las inundaciones, que se restringen a áreas más concretas y que suceden en un periodo de tiempo bien definido, en el caso de las sequías resulta complejo determinar su inicio y final, y normalmente afectan a áreas

más amplias. La aparición de la sequía es lenta y, a menudo, no se reconoce hasta que las actividades humanas o el medio ambiente quedan afectados por ella; además, sus efectos pueden persistir mucho tiempo después de que haya terminado (CHANGNON y EASTERLING, 1989).

Habitualmente, el comportamiento espacial de las sequías resulta muy complejo, siendo común diferencias territoriales significativas en las condiciones de sequedad, incluso entre espacios próximos (OLADIPO, 1995; KOMUSCU, 1999; NKEMDIRIM y WEBER, 1999). Esto hace que sea difícil determinar regiones homogéneas de comportamiento de las sequías; sobre todo en áreas de transición climática donde las influencias atmosféricas resultan complejas. Este es el caso de la Península Ibérica donde, por su localización entre los climas templados y subtropicales, las precipitaciones son muy variables y las diferencias espaciales importantes.

Los estudios paleoclimáticos muestran que las sequías son muy frecuentes en la Península Ibérica (MARTÍN VIDE y BARRIENDOS, 1995); y las estadísticas económicas muestran que las sequías causan importantes pérdidas. En los últimos treinta años la Península ha sufrido cinco sequías (CRED, 2003), y en la más reciente de ellas, la registrada entre 1992 y 1995, según las organizaciones agrarias, los daños directos e indirectos se estimaron en más de 3.500 millones de Euros; y según las compañías de seguros agrarios las pérdidas en el cereal de secano en 1992 ascendieron a unos 360 millones de Euros y en 1995 a unos 200 millones de Euros (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 2000).

Los modelos climáticos predicen una mayor incertidumbre en las disponibilidades hídricas en el área mediterránea durante el siglo XXI (HOUGHTON *et al.*, 2001), con una disminución importante de las precipitaciones si los niveles atmosféricos de CO₂ continúan subiendo (JONES *et al.*, 1996). Por este motivo resulta crucial el desarrollo de planes de seguimiento, prevención y alerta temprana de las sequías para la mitigación del riesgo. Estos planes requieren la identificación de áreas homogéneas en el comportamiento de las sequías, para optimizar sus propósitos y permitir un uso más eficaz de los recursos (WILHITE y SVOBODA, 2000).

En este trabajo se analizan los patrones espaciales de las sequías en la Península Ibérica entre 1910 y 2000, con objeto de identificar los episodios secos más importantes y caracterizar regiones homogéneas según su comportamiento.

2. METODOLOGÍA

2.1. Proceso de los datos climáticos

Para el análisis de las sequías se han utilizado 51 series pluviométricas del periodo 1910-2000 obtenidas del *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos em Portugal* (SNIRH, 2004) y del Instituto Nacional de Meteorología español (Fig. 1). El proceso de control de calidad y homogeneización se realizó mediante el programa ANCLIM (STEPANEK, 2003), y puede consultarse en mayor detalle en VICENTE-SERRANO (enviado).

A partir de estas series se generó una serie regional de toda la Península para observar sus patrones generales en el tiempo mediante el promedio ponderado de los diferentes observatorios mediante polígonos de Thiessen, de acuerdo al método planteado por JONES y HULME (1996).

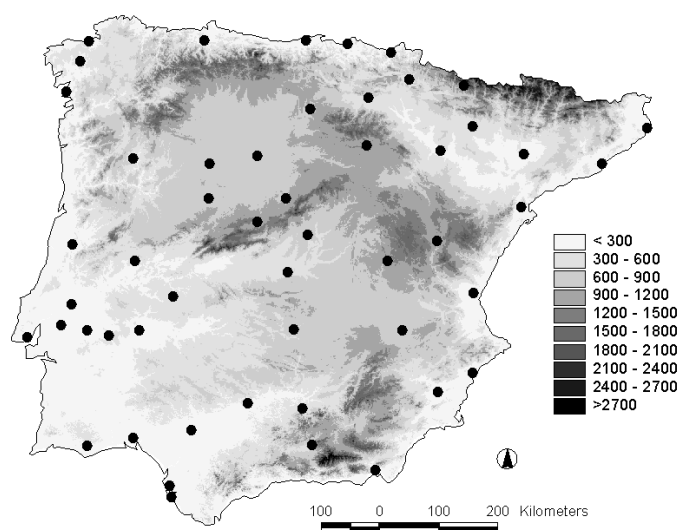


Fig. 1. Distribución espacial de las series pluviométricas utilizadas

2.2. Cálculo del índice de sequía

Para el análisis de las sequías se han desarrollado diferentes indicadores (HEIM, 2002). En la última década el más utilizado ha sido el *Standardized Precipitation Index* (SPI), desarrollado por McKEE *et al.* (1993 y 1995) para identificar los periodos secos y húmedos de modo más preciso que otros índices: KEYANTASH y DRACUP (2002) testaron la robustez de 18 índices de sequía y concluyeron que el SPI es el mejor índice para reconocer las sequías, realizar comparaciones en el espacio y cuantificar la severidad, duración y magnitud espacial de las mismas. Aunque el desarrollo del SPI es reciente, se está utilizando ampliamente para el estudio de las sequías en EEUU (HAYES *et al.*, 1999) o Europa (LLOYD-HUGHES y SAUNDERS, 2002).

El SPI permite el análisis de las sequías a diferentes escalas temporales (KOMUSCU, 1999), y la identificación de diferentes tipos de sequía, en particular la agrícola y la hidrológica: SIMS *et al.* (2002) indicaron que existe una fuerte relación entre el SPI a escalas temporales cortas y las variaciones temporales de humedad del suelo; SZALAI *et al.* (2000), también indicaron que el SPI computado a escalas más amplias se relaciona con las reservas y caudales hidrológicos.

Considerando la Península Ibérica, observamos que la importancia económica de la agricultura de secano ha disminuido en las últimas décadas, pero han aumentado las demandas hídricas por parte de las actividades turísticas y de la agricultura de regadío (MORALES *et al.*, 2000). Esto hace que sea más conveniente analizar el comportamiento de las sequías de tipo hidrológico; por esta razón, se ha computado el SPI a la escala temporal de 12 meses, considerado el más adecuado para el seguimiento de los recursos hídricos en el ámbito de una cuenca. Una completa explicación del procedimiento de cálculo de este índice puede consultarse en VICENTE-SERRANO y CUADRAT (2002).

2.3. Identificación de las sequías

Los periodos secos se han identificado de acuerdo con los valores del SPI, y la clasificación de los mismos se ha hecho siguiendo la propuesta de AGNEW (2000), en la cual los valores por debajo

de $-0,84$ se consideran indicativos de condiciones de sequía. Gracias a ello se puede identificar la extensión superficial y evolución de las sequías mediante la cartografía continua de los valores de SPI computados en los diferentes observatorios. Algunos de los episodios de sequía se han cartografiado mediante un algoritmo de splines con tensión (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2003).

3. RESULTADOS

3.1. Evolución de las sequías en la Península Ibérica

La serie regional obtenida de la evolución del SPI, representada en la figura 2, permite observar como las sequías más largas e intensas se produjeron en las décadas de 1940, 1950, 1980 y 1990; frente a las de 1960 y 1970, que fueron eminentemente húmedas. El periodo entre 1910 y 1940 se caracterizó por una mayor estabilidad climática, con momentos húmedos y secos más cortos y de menor intensidad.

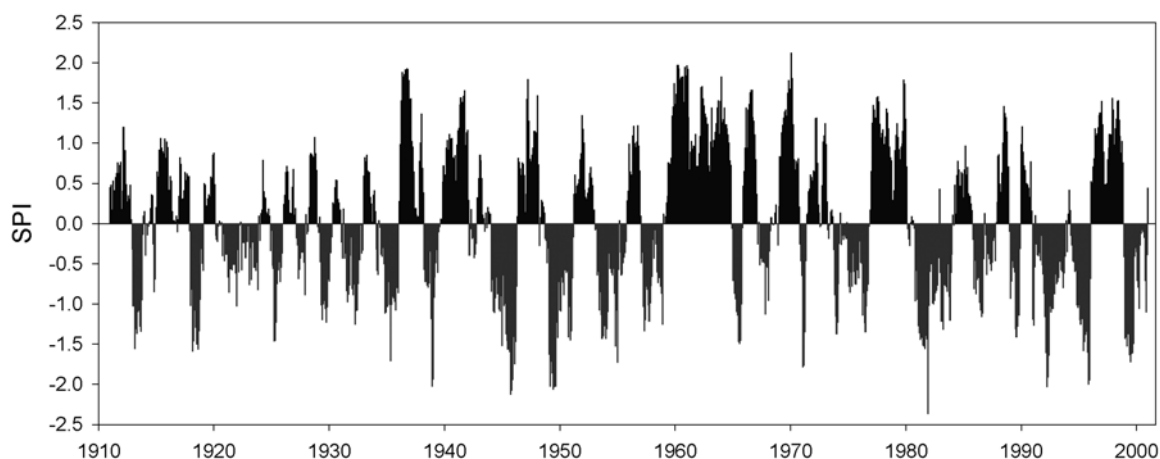


Fig. 2. Evolución del SPI en el conjunto de la Península Ibérica

3.2. Distribución espacial de las sequías en la Península Ibérica

Tanto la extensión superficial como la evolución espacial de la sequía presentan notables diferencias: el período seco de los años 1912 y 1913 comenzó en el norte y se extendió hacia el este y sur de la Península (Fig. 3); en cambio, en 1995 la sequía se inició en el sur y avanzó hacia el norte, llegando a observarse en más del 80 % del territorio (Fig. 4).

Los patrones espaciales pueden ser muy complejos y diferenciados. Del análisis de todos los episodios secos se comprueba que las sequías afectan, en general a regiones específicas, con la excepción de las sequías más extremas de los años cuarenta o noventa que se registraron en gran parte de la Península. De hecho, es común que se observen condiciones de sequedad en un área mientras que en otras regiones los valores de SPI resulten positivos.

Fig. 3. Evolución espacial de la sequía de 1912-1913

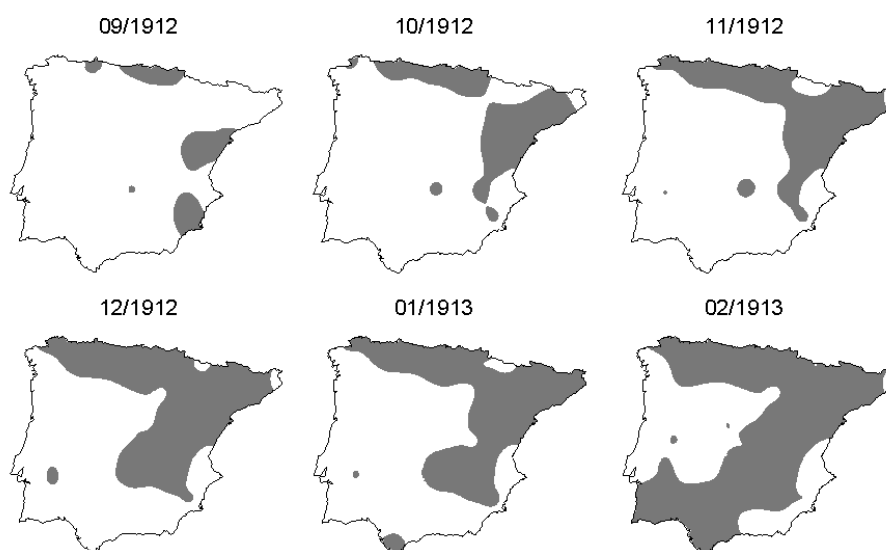
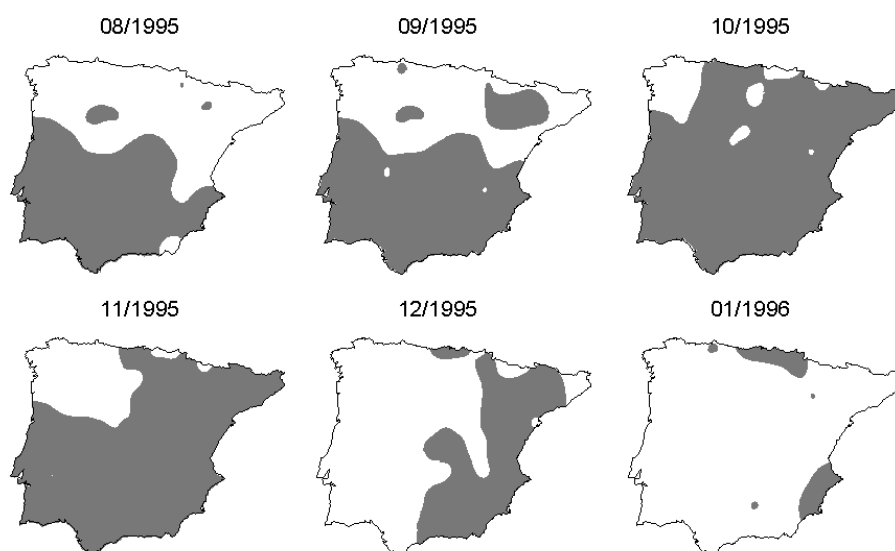


Fig. 4. Evolución espacial de la sequía de 1995



3.3. Clasificación de la Península Ibérica en función del comportamiento de las sequías

Para clasificar la Península Ibérica según los patrones de comportamiento de las sequías se ha utilizado un análisis de conglomerados jerárquicos. Se ha seguido un criterio similar al utilizado por STAHL y DEMUTH (1999) para definir regiones homogéneas de comportamiento de las sequías en el continente europeo, mediante el método de agrupación de Ward, y seleccionando la diferencia de la distancia entre conglomerados para definir el número óptimo. La mayor diferencia en este estadístico se produce entre 4 y 5 conglomerados. La figura 5 muestra las diferentes clasificaciones en función de la selección de un distinto número de conglomerados. La elección de cuatro áreas muestra una mayor coherencia, y permite estudiar el comportamiento espacial general

de los períodos secos, sin descender en aspectos más locales. Los espacios que han quedado individualizados son las siguientes: norte, nordeste, sudeste y las regiones centro-occidentales.

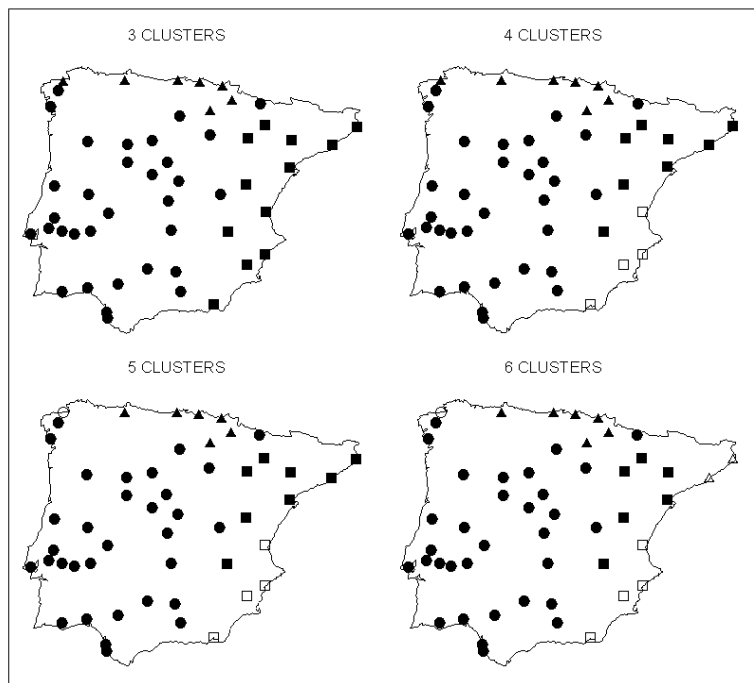


Fig. 5. Clasificación de la Península Ibérica de acuerdo al comportamiento temporal de las sequías Método de conglomerados jerárquicos

3.4. Evolución de las sequías en las diferentes regiones homogéneas

Según la clasificación en 4 conglomerados se generaron 4 series representativas de cada espacio mediante el promedio ponderado (polígonos de Thiessen) de las precipitaciones, calculando posteriormente las series de SPI en cada región. El detalle de cada serie nos indica lo siguiente: la evolución del SPI en la región más extensa, la centro-oriental, muestra un comportamiento muy similar al identificado mediante la serie regional, pues representa a un mayor porcentaje de la superficie peninsular (Fig. 6). En este caso los periodos más secos se registraron en los años cuarenta, cincuenta, ochenta y noventa, mientras que los episodios más húmedos se produjeron en las décadas de 1960 y 1970.

En el nordeste peninsular la dinámica del índice de sequía revela ciertas semejanzas con la región anterior (Fig. 7): en los años cuarenta, cincuenta y ochenta también se produjeron importantes sequías en el nordeste; sin embargo, éstas fueron más cortas y menos intensas. De hecho, en esta área los episodios más secos se produjeron entre 1910 y 1930, mientras que en la región centro-occidental este momento fue de mayor estabilidad pluviométrica.

El SPI en el sudeste peninsular ofrece algunas similitudes con la evolución que tiene en las regiones anteriores, pero también son muchas las diferencias (Fig. 8). El periodo entre 1910 y 1930 fue muy seco, al igual que en el nordeste, pero las sequías en los años cuarenta fueron poco frecuentes y su duración e intensidad menor.

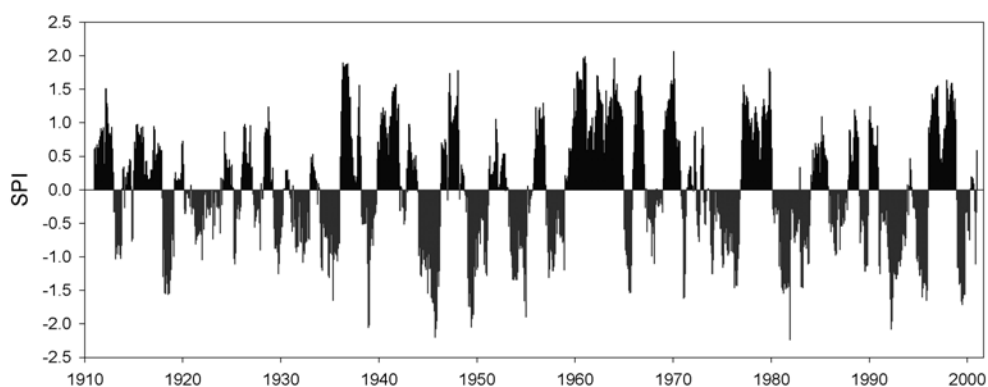


Fig. 6. Evolución de las sequías en el área centro-occidental

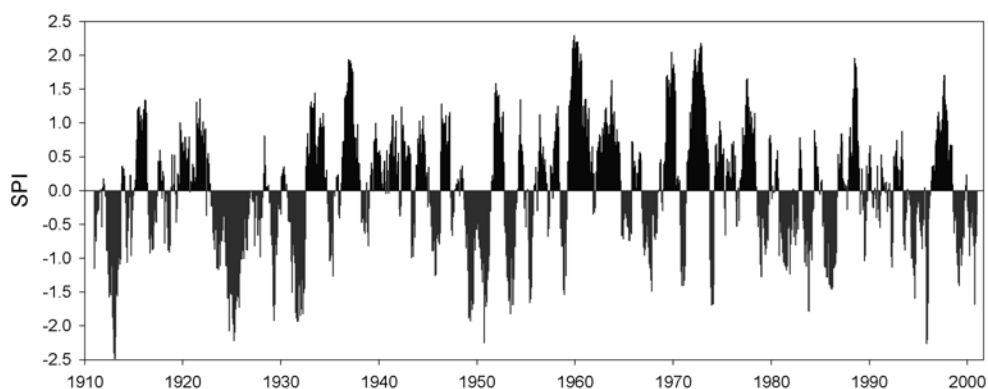


Fig. 7. Evolución de las sequías en el área nororiental

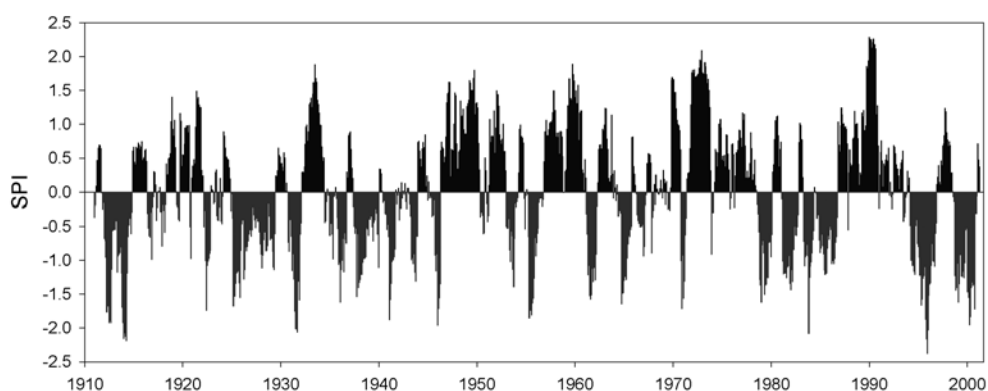


Fig. 8. Evolución de las sequías en el sudeste

Finalmente, en el norte peninsular la marcha de las sequías tiene en muchas ocasiones un comportamiento propio, bastante diferenciado del resto del territorio (Fig. 9). Las sequías más largas e intensas se produjeron en las décadas de 1910, 1950 y 1990. Éstas coinciden en ocasiones con lo observado en otras áreas, como en 1910 (similar al nordeste) o en 1950 (como en la región

centro-occidental). Sin embargo, la sequía más fuerte se produjo alrededor de 1990, y no coincidió con condiciones secas en ninguna otra área peninsular.

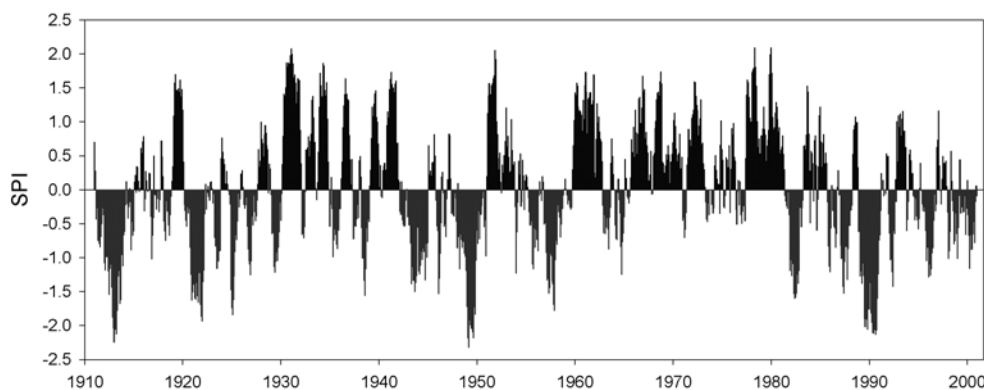


Fig. 9. Evolución de las sequías en el norte de la Península Ibérica

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado los patrones espacio-temporales de las sequías en la Península Ibérica entre 1910 y 2000 por medio del *Standardized Precipitation Index*. Mediante la construcción de una serie regional para toda la Península se ha comprobado que se produjeron importantes episodios de sequía durante los años cuarenta, cincuenta, ochenta y noventa. Algunos de estos episodios coinciden con las más intensas sequías registradas en el continente europeo y en la cuenca mediterránea durante el siglo XX. Por ejemplo, entre 1943 y 1952 en la mayor parte de Europa las precipitaciones fueron muy escasas (BRIFFA *et al.*, 1994; MAHERAS, 1988), pero particularmente en España e Italia, cuyas penínsulas guardan notables coincidencias (BONACCORSO *et al.*, 2003).

No obstante, a pesar de este comportamiento general, se ha observado que la evolución temporal de las sequías puede ser muy diversa, y un episodio seco puede quedar restringido a áreas muy concretas. En general, se ha comprobado que las sequías son un fenómeno de extensión limitada, con la excepción de los episodios más severos que han afectado a buena parte del ámbito peninsular; pero incluso en estos casos, no llegan a abarcar la totalidad del territorio.

En la Península Ibérica se identifican cuatro áreas con comportamientos individualizados en la evolución de las sequías: norte, nordeste, sudeste y centro-oeste. Estas diferencias se atribuyen a la acción que sobre las precipitaciones ejercen determinados patrones atmosféricos que intervienen en el ámbito peninsular, como han señalado ESTEBAN-PARRA *et al.* (1998) y RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al.* (1998). En este sentido, OLCINA (2001) indica que la frecuencia de determinados tipos de tiempo causa diferentes condiciones de sequía y comprueba un comportamiento espacial de su influjo acorde con la regionalización obtenida en este trabajo.

La clasificación obtenida es útil para individualizar los planes de sequía dentro de áreas homogéneas. No cabe duda de que una división espacial adecuada de acuerdo al comportamiento

de las sequías resulta crucial para el seguimiento de las mismas y debe ayudar al desarrollo de herramientas eficaces para la gestión y mitigación de sus efectos.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con la ayuda de los proyectos de investigación: “Caracterización espacio-temporal de las sequías en el valle medio del Ebro e identificación de sus impactos” (BSO2002-02743) y “Variabilidad climática y dinámica forestal en ecosistemas de ecotono” (REN2003-07453) financiados por la Comisión de Ciencia y Tecnología (CICYT) y FEDER, y del “Programa de grupos de investigación consolidados” (grupo Clima, Cambio Global y Sistemas Naturales, BOA 147 of 18-12-2002), financiado por el Gobierno de Aragón.

6. REFERENCIAS

- AGNEW, C.T. (2000). “Using the SPI to Identify drought”. *Drought Network News*, 12, pp. 6-12.
- BONACCORSO, B. *et al.* (2003). “Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily”. *Water Resources Management*, 17, pp. 273-296.
- BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. and HULME, M. (1994). “Summer moisture variability across Europe, 1892-1991: an analysis based on the Palmer drought severity index”. *International Journal of Climatology*, 14, pp. 475-506.
- CHANGNON, S.A. and EASTERLING, W.E. (1989). “Measuring drought impacts: the Illinois case”. *Water Resources Bulletin*, 25, pp. 27-42.
- CRDE. (2003). The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Disasters Database. On-Line: <http://www.cred.be/emdat/intro.htm>. Universite Catholique de Louvain – Brussels – Belgium.
- EASTERLING, D.R. *et al.* (2000). “Climate extremes: observations, modelling and impacts”. *Science*, 289, pp. 2068-2074.
- ESTEBAN PARRA, M.J.; RODRIGO, F.S. and CASTRO-DÍEZ, Y. (1998). “Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992”. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 1557-1574.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F. *et al.* (2000). Towards an operational monitoring of drought conditions in Spain using satellite images. En: CASANOVA, J.L. (Ed). *Remote sensing in the 21st century: economic and environmental applications*. Balkema. Rotterdam, pp. 403-405.
- HAYES, M. *et al.* (1999). “Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, pp. 429-438.
- HEIM, R.R. (2002). “A review of twentieth-century drought indices used in the United States”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, pp. 1149-1165.
- HOUGHTON, J.T. *et al.* (Eds.) (2001). *Climate Change 2001: The scientific Basis*. Cambridge University Press. Cambridge.
- JONES, P.D. and HULME, M. (1996). “Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations”. *International Journal of Climatology*, 16, pp. 361-377.
- JONES, P.D. *et al.* (1996). “Summer moisture availability over Europe in the Hadley centre general circulation model based on the Palmer drought severity index”. *International Journal of Climatology*, 16, pp. 155-172.
- KOMUSCU, A.U. (1999). “Using the SPI to analyze spatial and temporal patterns of drought in Turkey”. *Drought Network News*, 11, pp. 7-13.
- KEYANTASH, J. and DRACUP, J. (2002). “The quantification of drought: an evaluation of drought indices”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, pp. 1167-1180.

- KUNKEL, K.E.; PIELKE, R.A. and CHANGNON, S.A. (1999). "Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, pp. 1077-1098.
- LLOYD-HUGHES, B. and SAUNDERS, M.A. (2002). "A drought climatology for Europe". *International Journal of Climatology*, 22, pp. 1571- 1592.
- MAHERAS, P. (1988). "Changes in precipitation conditions in the Western Mediterranean over the last century". *Journal of Climatology*, 8, pp. 179-189.
- MARTÍN VIDE, J. and BARRIENDOS, M. (1995). "The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain)". *Climatic Change*, 30, pp. 201-221.
- McKEE, T.B.N.; DOESKEN, J. and KLEIST, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Eight Conf. On Applied Climatology*. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc. 179-184.
- McKEE, T.B.N.; DOESKEN, J. and KLEIST, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. In: *Ninth. Conf. On Applied Climatology*, TX, Amer. Meteor. Soc., Dallas, pp. 233-236.
- MORALES, A.; OLCINA, J. y RICO, A.M. (2000). "Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección". *Investigaciones Geográficas*, 23, pp. 5-46.
- NKEMDIRIM, L. and WEBER, L. (1999). "Comparison between the droughts of the 1930s and the 1980s in the southern praires of Canada". *Journal of Climate*, 12, pp. 2434-2450.
- OLADIPO, E.O. (1986). "Spatial patterns of drought in the interior plains of North America". *Journal of Climatology*, 6, pp. 495-513.
- OLCINA, J. (2001). "Tipología de sequías en España." *Ería*, 56, pp. 201-227.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. *et al.* (1998). "Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology* 18, pp. 299-316.
- SIMS, A.P.; NIGOYI, D.S. and RAMAN, S. (2002). "Adopting indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study". *Geophysical Research Letters*, 29, pp. 1-4.
- SNIRH. (2004). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. On-Line: <http://snirh.inag.pt/index.php>.
- STAHL, K. and DEMUTH, S. (1999). *Methods for regional classification of streamflow drought series: cluster analysis*. ARIDE Technical Report 1, 8 pp.
- STEPANEK, P. (2003). Anclim Software. On-Line: <http://www.sci.muni.cz/~pest/>.
- SZALAI, S.; SZINELL, C.S. and ZOBOKI, J. (2000). Drought monitoring in Hungary. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Early warning systems for drought preparedness and drought management*. Lisboa, pp. 182-199.
- VICENTE-SERRANO, S.M. "Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000)". *International Journal of Climatology*. (en prensa)
- VICENTE-SERRANO, S.M. y CUADRAT, J.M. (2002). Desarrollo de un método analítico para la obtención del SPI (Standardized Precipitation Index) como herramienta para el seguimiento y prevención de sequías climáticas. En: CUADRAT, J.M.; VICENTE, S.M. y SAZ, M.A. (Eds.) *La información climática como herramienta de gestión ambiental*. Zaragoza, pp. 145-153
- VICENTE-SERRANO, S.M.; SAZ, M.A. and CUADRAT, J.M. (2003). "Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro valley (Spain): application to annual precipitation and temperature". *Climate Research*, 24, pp. 161-180.
- WILHITE, D.A. (1993). *Drought assessment, management and planning: Theory and case studies*. Kluwer, Boston.
- WILHITE, D.A. and SVOBODA, M.D. (2000). Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION *Early warning systems for drought preparedness and drought management*. Lisboa, pp. 1-21.