

RACHAS SECAS Y GRADIENTE PLUVIOMÉTRICO EN LA CUENCA DEL DUERO

A. CEBALLOS BARBANCHO, M.A. LUENGO UGIDOS, J. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ,
S. CASADO LEDESMA y V. SÁNCHEZ ORTEGA

Departamento de Geografía. Universidad de Salamanca. C/ Cervantes, 3. 37002-Salamanca.

RESUMEN

Se estudian las rachas secas a lo largo de un marcado gradiente pluviométrico entre el sector central de la cuenca del Duero, con una precipitación media anual inferior a 400 mm, y la Sierra de Salamanca con más de 1.000 mm. Los resultados, considerando el umbral de 0,1 mm en la definición de “día seco”, muestran la elevada duración y frecuencia de las rachas secas en el conjunto del transecto, con una racha media de 10 días y un valor medio de las rachas máximas anuales superior a 40 días, manifestando una marcada mediterraneidad a pesar de su ubicación en la mitad septentrional de la Península Ibérica y del carácter montañoso de parte del mismo. No obstante, sí se observa un comportamiento diferencial, de acuerdo con el gradiente, cuando se consideran umbrales de lluvia (=10 mm) que discriminan las precipitaciones que realmente inciden sobre la disponibilidad hídrica de los ecosistemas.

Palabras clave: rachas secas, gradiente pluviométrico, clima mediterráneo, cuenca del Duero.

ABSTRACT

The aim of the present work is to study the dry spells along a marked rainfall gradient from the central part of the Duero basin, with an average annual precipitation below 400 mm, to Salamanca Rangeland, with precipitation recordings above 1000 mm. Considering as dry days those with precipitations of = 0.1 mm, the results of the analysis show a high duration and frequency of dry spells for the overall zone: mean duration over 10 days and the mean duration of maximum dry spells is higher than 40 days. Although the study area is located in the northern part of Iberian Peninsula and the mountainous sector is important, this analysis indicates the Mediterranean climatic characteristics of the transect. However, the differences were noteworthy, according with the rainfall gradient, when threshold rainfalls (= 10 mm) related with water availability of ecosystems are used.

Key words: dry spells, rainfall gradient, Mediterranean climate, Duero basin.

1. INTRODUCCIÓN

La cantidad de lluvia y su distribución espacio-temporal condicionan extraordinariamente en la región mediterránea aspectos como la dinámica de los ecosistemas, la explotación agrícola y ganadera del territorio, y la disponibilidad de recursos hídricos. La enorme irregularidad pluviométrica, su aleatoriedad espacial y la acusada escasez del período estival son características inherentes a lo mediterráneo. La sequía, definida con cualquiera de los criterios que se emplean habitualmente

(meteorológicos, agronómicos, hidrológicos o socioeconómicos) es una amenaza constante que puede afectar, en mayor o menor medida, a toda esta región. Pero no sólo la sequía, que tiene una connotación espacial y temporal amplia, supone un elemento de incertidumbre para los recursos hídricos. El acentuado predominio de los intervalos sin precipitación (rachas secas) sobre los períodos húmedos y su gran incidencia en el balance de agua condicionan decisivamente la dinámica del medio natural y la explotación agrícola del territorio. El gran número de días sin lluvia y la prolongada concatenación de días secos consecutivos, van unidos a aspectos como la elevada evapotranspiración, el déficit hídrico de los suelos, el estrés hídrico de la vegetación, la recarga de los acuíferos, el estiaje de los cursos fluviales, etc.

Tradicionalmente se ha puesto el énfasis en el estudio de las rachas secas con el objeto de tipificar esa variable en una determinada zona, establecer niveles de riesgo, delimitar zonas con comportamiento homogéneo o aportar nuevos índices que contribuyan a una mejor catalogación climática de un territorio. Sin embargo, hay menor información sobre las diferencias existentes entre áreas climáticas distintas o, más concretamente, entre sectores con acusados contrastes pluviométricos. La región mediterránea española presenta notables diferencias pluviométricas entre unos sectores y otros, que van desde condiciones húmedas o subhúmedas hasta semiáridas, en ocasiones separados por cortas distancias

En este trabajo se aborda el estudio del comportamiento de las rachas secas a lo largo de un gradiente pluviométrico en la vertiente noroccidental del Sistema Central. Los objetivos son comprobar la constatación de dicho gradiente en relación con las rachas secas y su signo, e identificar la relevancia y significación de dichos períodos en ambientes mediterráneos de abundante precipitación.

2. ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Para la realización del presente análisis se han utilizado las series de registros pluviométricos diarios procedentes de 15 estaciones pertenecientes a la red del INM cuyos datos de localización se especifican en la tabla 1. El período de observación fue superior a 30 años en todas las estaciones menos en dos (Morille y Pedrosillo, con 22 y 28 años respectivamente), mínimo considerado por la OMM para caracterizar climáticamente una estación. Las estaciones seleccionadas se distribuyen a lo largo de un marcado gradiente pluviométrico de aproximadamente 130 km de longitud comprendido entre la Sierra de Salamanca, en el sur de dicha provincia, y el sector central de la cuenca del Duero en el límite de las provincias de Zamora y Valladolid. En dicho transecto se han diferenciado 3 unidades: I) El extremo más continental del transecto lo representa el sector central de la cuenca sedimentaria del Duero (La Guareña), con precipitaciones medias anuales generalmente inferiores a los 400 mm y en el que abundan los cultivos de secano (cereal y viñedo). II) La Penillanura salmantina ocupa el tramo intermedio, con una precipitación media ligeramente por encima de 500 mm, siendo las dehesas de *Quercus ilex subsp. ballota* el paisaje más conspicuo. III) Finalmente, la Sierra de Salamanca, al sur, con precipitaciones superiores a 1.000 mm, es una zona esencialmente forestal, en la que predomina el melojar (*Quercus pyrenaica*). Desde el punto de vista térmico no existen diferencias significativas entre las tres zonas, oscilando la temperatura media anual entre 10-12 °C.

Tabla 1: Localización de los observatorios meteorológicos.

Observatorios	Provincia	Observación		Latitud N	Longitud W	Altitud (m)	Precip. (mm)
		Período	Años				
La Guareña							
Alaejos	Valladolid	1942-2000	59	41°18'30"	5°12'57"	754	324,1
Argujillo	Zamora	1967-2000	34	41°18'40"	5°35'17"	769	429,1
Castronuño	Valladolid	1960-2000	41	41°23'10"	5°15'52"	705	390,8
Fuentesaúco	Zamora	1967-2000	34	41°13'55"	5°29'52"	802	432,2
La Bóveda de Toro	Zamora	1967-2000	34	41°20'35"	5°24'37"	696	359,8
Toro-Iberduero	Zamora	1961-1997	37	41°31'15"	5°23'47"	735	374,9
Penillanura salmantina							
Martinamor	Salamanca	1954-1999	46	40°48'20"	5°35'57"	956	480,3
Morille	Salamanca	1974-1995	22	40°48'25"	5°41'57"	937	493,3
Pedrosillo de los A.	Salamanca	1966-1993	28	40°42'50"	5°42'22"	959	583,3
P.-Castillejo	Salamanca	1967-2000	34	40°40'25"	5°38'27"	860	495,6
Vecinos	Salamanca	1950-2000	51	40°46'40"	5°52'37"	891	525,2
La Sierra de Salamanca							
La Alberca-Batuecas	Salamanca	1951-2000	50	40°27'35"	6°08'37"	652	1497,9
La Rinconada	Salamanca	1951-2000	50	40°36'00"	6°11'00"	998	956,8
Linares de Riofrío	Salamanca	1967-2000	34	40°35'05"	5°55'17"	958	1081,3
Valero de la S.	Salamanca	1953-1988	36	40°32'05"	5°56'37"	586	1101,2

Aunque la definición de racha seca puede variar según el planteamiento metodológico de cada estudio, de modo general se trata de un período caracterizado por la consecución de un determinado número de días sin precipitación apreciable. En el presente trabajo se han empleado dos umbrales de precipitación para la tipificación de día seco. El primer valor, 0,1 mm, se considera como la cantidad mínima de lluvia registrada por los pluviómetros oficiales en España (Martín Vide y Gómez, 1999). El segundo umbral, de 10 mm, tiene un claro carácter aplicado, relativo a la exigua incidencia que tienen sobre los valores de humedad edáfica, en los primeros centímetros del perfil del suelo, precipitaciones inferiores a esa cantidad (Ceballos *et al.*, 2002).

Para el cálculo de la probabilidad de que un determinado día del año sea seco y del desarrollo de una racha seca de n días de duración, se ha utilizado el modelo estocástico de las cadenas de Markov de primer orden, aplicando una metodología similar a la de trabajos previos sobre distintas zonas del territorio español (Martín Vide *et al.*, 1989; Lana y Burgueño, 1998a; Martín Vide y Gómez, 1999; Luengo *et al.*, 2002). Mediante el método de Gumbel (1958) se estimó la duración de las rachas secas máximas anuales para diversos períodos de retorno (i.e. 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años). La distribución de frecuencias de Gumbel ya ha sido utilizada en climatología para el análisis de diversas variables extremas (Elías Castillo y Ruiz Beltrán, 1979; Lana y Burgueño, 1996, 1998b).

Tabla 2: Distribución estacional de los días secos (%).

Unidades	día seco <0,1 mm				día seco <10 mm			
	Inv.	Pri.	Ver.	Oto.	Inv.	Pri.	Ver.	Oto.
Guareña	23,6	23,8	28,6	24,0	24,8	24,8	25,5	24,9
Penillanura	23,2	23,9	29,0	23,8	24,6	24,9	25,8	24,8
Sierra	22,6	24,2	29,8	23,4	23,9	24,9	26,9	24,3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Distribución de las rachas secas

En las tres unidades analizadas el número medio anual de días secos es alto, con un reparto estacional relativamente uniforme, apreciándose en el caso de la Sierra valores más elevados en verano (tabla 2), en relación con la mayor frecuencia de situaciones convectivas tanto en la Penillanura como en la Guareña durante el estío.

Tanto si se considera el umbral de 0,1 mm como el de 10 mm en la definición de “día seco”, las cifras absolutas más elevadas se registran en la unidad con menor precipitación y las más bajas en la Sierra (tabla 3). Atendiendo al primer umbral, de forma general, las diferencias entre unidades territoriales no son altas (el porcentaje anual de días secos está comprendido entre el 76 y el 80 %) y se observa que, a pesar de la localización septentrional del transecto estudiado en el contexto de la Península Ibérica, los valores se asemejan más a los característicos de la zona litoral mediterránea, matizando considerablemente el gradiente latitudinal que iría desde valores inferiores al 55 % en la costa cantábrica hasta valores superiores al 80 % en el litoral mediterráneo (Martín Vide y Gómez, 1999). Considerando el umbral de los 10 mm, sí se aprecia una discriminación de la unidad serrana respecto a las dos restantes debido a la mayor intensidad diaria de las precipitaciones y al peso que tienen los días con precipitaciones superiores a 10 mm en el régimen pluviométrico anual. En la Sierra el número de días de lluvia con valores superiores a 10 mm excede los 30, en la Penillanura se reduce a 15 y en la Guareña no se sobrepasa el umbral de 10.

El análisis de los años más secos del conjunto de las series (tabla 3) muestra que para el umbral de 0,1 mm se sobrepasa en las tres unidades los 325 días, y para el de 10 mm los 350, manifestando la notable intensidad del fenómeno estudiado en años concretos.

El resultado del análisis de la longitud media de las rachas secas con un umbral de 0,1 mm (figura 1) no muestra ninguna diferencia entre las tres unidades, con unos valores en todos los casos comprendidos entre los 9 y 10 días. Este dato es muy significativo ya que, si bien en una tercera parte de los observatorios analizados las precipitaciones superan los 1.000 mm, la longitud media de las rachas secas en la totalidad de las zonas de estudio difiere considerablemente de la correspondiente a su entorno geográfico más próximo y se asemeja más al comportamiento del sector sur y sureste de la Península Ibérica en donde la duración media de las rachas secas es habitualmente superior a los 9 días (Martín Vide y Gómez, 1999).

Tabla 3: Media de días secos al año e indicación de los años más secos.

Unidades	día seco $\leq 0,1$ mm				día seco ≤ 10 mm			
	media Año	Año más seco			media	Año más seco		
		Obs.	Días			Año	Obs.	Días
Guareña	291	1964	Castroño	332	355	1964	Castroño	365
Penillanura	287	1957	Vecinos	340	350	1995	Martinamor	360
Sierra	279	1980	Linares	328	332	1992	Rinconada	352

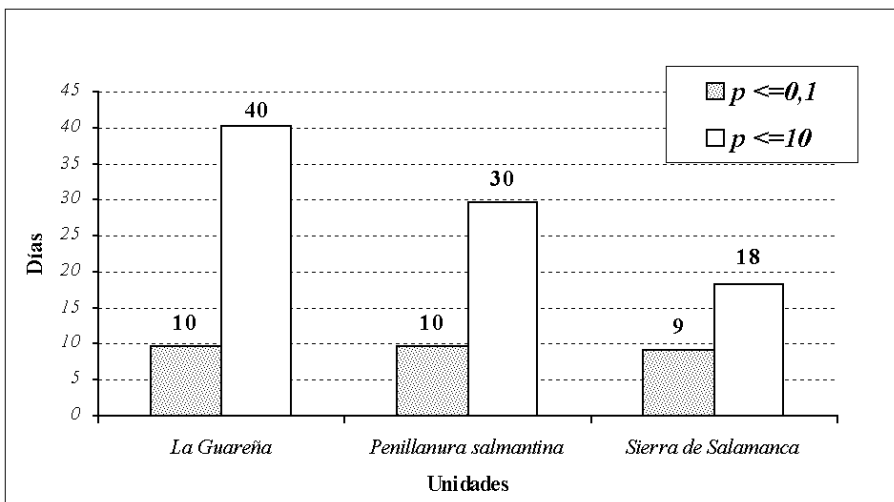


Figura 1: Duración media de las rachas secas atendiendo a dos umbrales de precipitación.

Sin embargo, considerando el umbral de 10 mm (figura 1), el gradiente sí es apreciable, observándose una diferencia proporcional decreciente en la Penillanura y en la Sierra respecto al máximo de la Guareña. La utilización de este umbral pluviométrico en el análisis de la duración de las rachas tiene un mayor significado ya que, por un lado, son las rachas que realmente reflejan los efectos de la ausencia de lluvia sobre el territorio debido a su notable incidencia sobre el balance de agua en el suelo y, por otro, permiten una mejor distinción del nivel de vulnerabilidad de los distintos espacios geográficos a la disponibilidad de recursos hídricos.

3.2. Rachas secas máximas

La duración media de las rachas máximas anuales, considerando el primer umbral de análisis (0,1 mm), supera los 40 días en las tres unidades, sin existir diferencias notables entre ellas (tabla 4). Este dato es altamente significativo, ya que muestra un comportamiento homogéneo entre zonas

Tabla 4: Duración media de las rachas máximas anuales y rachas máximas extremas.

Unidades	día seco $\leq 0,1$ mm				día seco ≤ 10 mm			
	media	Racha máxima extrema			media	Racha máxima extrema		
		Año	Obs.	Duración		Año	Obs.	Duración
Guareña	48	1944-45	Alaejos	115	137	1964-65	Castroñuño	457
Penillanura	49	1954	Vecinos	143	115	1968	Martinamor y P. Castillejo	240
Sierra	44	1964	Rinconada y Valero	84	90	1962	Rinconada	193

bioclimáticamente contrastadas. Las rachas máximas, las que mayor significación tienen en términos de disponibilidad hídrica, no muestran correlación con la precipitación media anual. Estos resultados evidencian el gran peso que tiene la mediterraneidad, incluso en zonas, como el sector montañoso analizado en el Sistema Central, en donde ésta podría verse enmascarada por la elevada pluviometría.

Si se adopta el umbral de los 10 mm la homogeneidad se rompe, siendo la diferencia entre los datos altamente significativa y en consonancia con el gradiente establecido. La consideración de las rachas máximas extremas insiste en este comportamiento. Con el primer umbral se han llegado a alcanzar valores que rondan la tercera parte del año en la Guareña y en la Penillanura, mientras que en la Sierra no se llega nunca a la cuarta parte. Por el contrario, con el umbral de los 10 mm, en la Sierra apenas se supera la mitad del año y en la Guareña se sobrepasa claramente la duración de un período anual.

De forma general, considerando el umbral de los 0,1 mm, en más de las dos terceras partes de las rachas secas máximas anuales, el día central de la misma se localiza en el verano, con valores que oscilan entre el 67 % de la Guareña y el 74 % de la Penillanura. No obstante, es destacable el hecho, generalizado a lo largo del transecto, de una llamativa irregularidad estacional del fenómeno a partir de la década de los 90 del siglo pasado, con una paradójica concentración de las mismas en la estación invernal (figura 2). En diversos trabajos (Rodríguez-Puebla *et al.*, 1998; Sáenz *et al.*, 2001) se ha puesto de manifiesto la relación existente entre valores altos en el índice en la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la disminución de las lluvias invernales en el oeste peninsular.

Los resultados obtenidos en el análisis del número medio de rachas de diferente duración (tabla 5) han confirmado, por un lado, la intensidad y frecuencia de las rachas secas en el conjunto de la zona estudiada y, por otro, la uniformidad de este fenómeno en las tres unidades independientemente de las diferencias en los totales pluviométricos anuales. Sin embargo sí existen diferencias significativas cuando se analiza la duración media de las rachas iguales o mayores a 7 días atendiendo a los diferentes umbrales de precipitación. En el caso de 0,1 mm, hay una gran uniformidad en torno a los 18 días de duración en las tres unidades (18,3 en la Guareña, 18,7 en la Penillanura

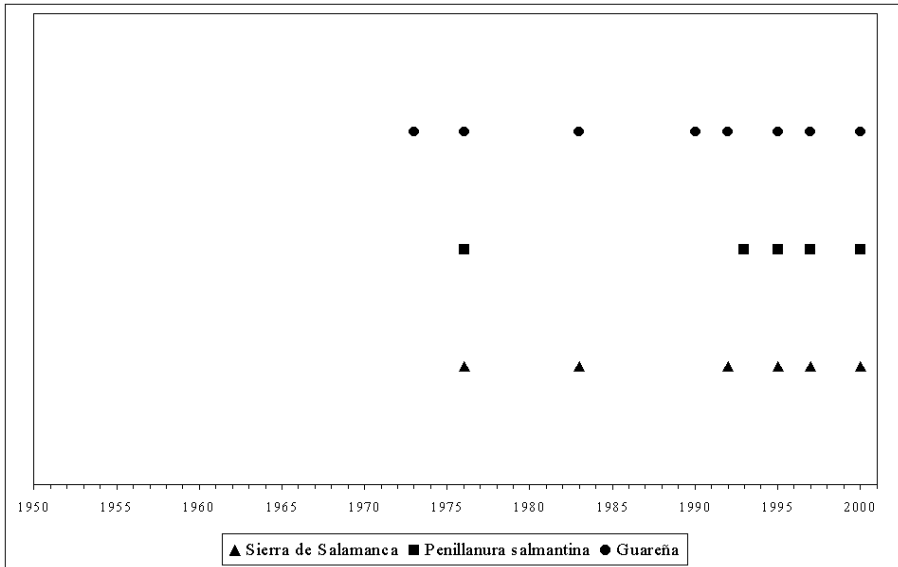


Figura 2: Ocurrencia de las rachas secas máximas anuales en el invierno.

y 17,7 en la Sierra). Considerando los 10 mm como umbral, las diferencias son sustanciales de acuerdo con el gradiente: 50,7 en la Guareña, 40,7 en la Penillanura y 28,7 en la Sierra.

Se ha calculado la duración media esperada (en días), de una racha seca considerando el umbral de 0,1 mm en la definición de día seco (tabla 6). Este análisis expresa, por un lado, una escasa diferencia de los valores medios entre las tres unidades y, por otro, la mayor incidencia del déficit pluviométrico estival precisamente en la unidad con precipitaciones más cuantiosas. En la Sierra la duración media esperada de las rachas secas en julio y agosto es superior a tres semanas.

En relación con el análisis de las rachas máximas para diferentes periodos de retorno, se han observado diferencias entre las unidades. En la figura 3 se sintetizan gráficamente los resultados de este análisis: si para el umbral de los 0,1 mm se ve una coincidencia total entre la Guareña y la

Tabla 5: Número medio de rachas secas al año con una duración mayor a 7, 15, 30 y 60 días.

Unidades	día seco $\leq 0,1$ mm				día seco ≤ 10 mm			
	≥ 7 días	≥ 15 días	≥ 30 días	≥ 60 días	≥ 7 días	≥ 15 días	≥ 30 días	≥ 60 días
Guareña	11,9	5,0	1,5	0,23	6,9	5,6	3,7	1,9
Penillanura	11,4	4,9	1,7	0,22	8,3	6,2	3,7	1,6
Sierra	11,0	4,6	1,3	0,16	10,4	6,4	3,0	1,1

Tabla 6: Duración media esperada (en días) de una racha seca (día seco $\leq 0,1$ mm).

Unidades	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
Guareña	5,6	6,7	7,6	5,8	5,7	8,2	16,9	18,8	10,2	6,6	6,4	5,9	8,7
Penillanura	6,1	5,7	7,1	5,6	5,8	8,7	19,8	20,7	9,5	6,7	6,3	6,3	9,0
Sierra	6,1	6,4	6,9	5,9	6,0	8,8	21,7	24,5	9,0	6,9	6,2	6,2	9,5

Penillanura y el mismo ritmo para la Sierra, aunque con valores más bajos; para el umbral de los 10 mm el gradiente es obvio mostrando una equidistancia casi geométrica.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo muestran la elevada duración y frecuencia de las rachas secas y su homogeneidad en diversas estaciones mediterráneas, a pesar de su heterogeneidad ombroclimática, si se considera el umbral de 0,1 mm utilizado frecuentemente en la definición de día seco. El porcentaje de días secos a lo largo del año (entre el 76 y el 80 %), la duración media de las rachas observadas próxima a los 10 días, el valor medio de las rachas máximas anuales siempre superior a los 40 días, el análisis de la duración media de las rachas en relación con un período de n días de longitud, señalan una mayor semejanza del transecto estudiado con la realidad de las estaciones meridionales de la Península que con las de las ubicadas en la mitad septentrional. De este modo, se rompe el gradiente pluviométrico latitudinal típico de la Península Ibérica y se manifiesta el marcado carácter mediterráneo de la zona a pesar de que parte de la misma pertenezca al dominio montañoso del Sistema Central.

No obstante, sí se observa un comportamiento diferencial, en consonancia con el gradiente pluviométrico, cuando se considera otro umbral en la definición de día seco (10 mm) que separe las precipitaciones con baja incidencia sobre el contenido de agua en el suelo, de aquéllas que suponen variaciones sensibles en la disponibilidad hídrica de los diversos ecosistemas. Este análisis permite considerar aspectos como la vulnerabilidad y el riesgo de déficit hídrico en zonas donde pueden quedar ocultos tras un elevado registro de precipitación, como es el caso del sector montañoso del Sistema Central objeto de análisis en este trabajo. En consecuencia, amplios sectores con caracteres climáticos mediterráneos húmedos o subhúmedos se verían seriamente afectados, en términos de disponibilidad hídrica, de confirmarse la previsión de escenarios climáticos que desembocaran en un descenso de las precipitación y, por tanto, un incremento de las rachas secas, en las próximas décadas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyecto REN2000-1157) y a la Junta de Castilla y León (Proyecto SA55/00A) por la financiación que ha hecho posible este trabajo.

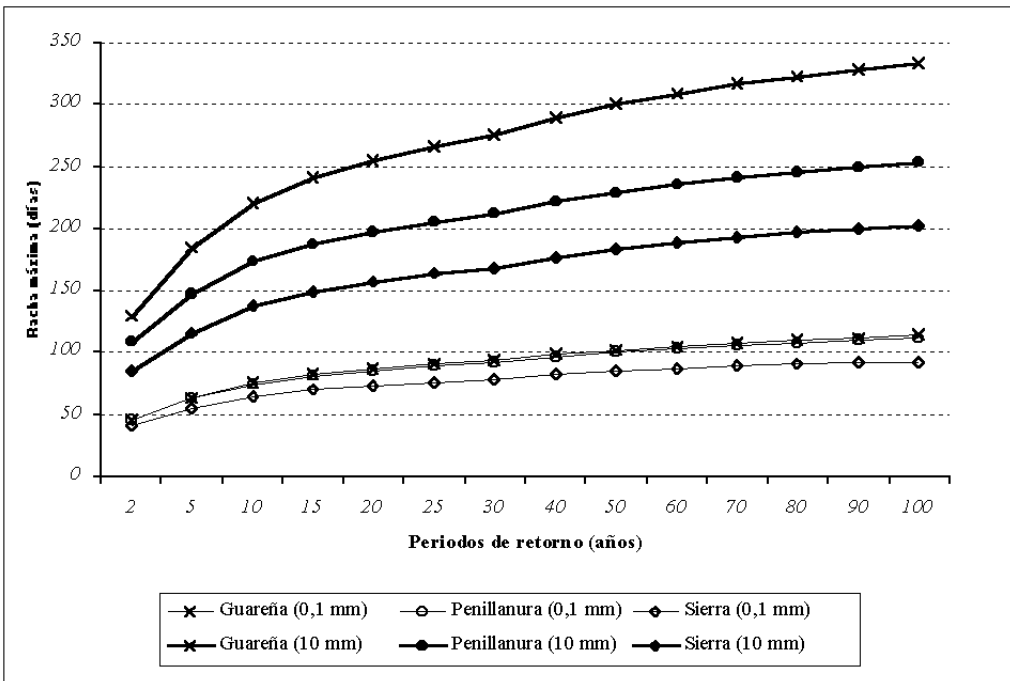


Figura 3: Estimación de la duración (en días) de la racha seca más larga para diferentes períodos de retorno.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CEBALLOS, A., MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., SANTOS, F. y ALONSO, P. (2002): Soil water behaviour of sandy soils under semiarid conditions in the Duero Basin (Spain). *Journal of Arid Environments* (en prensa).
- ELÍAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRÁN, L. (1979): *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid. 545 pp.
- GUMBEL, E.J. (1958): *Statistics of extreams*. Columbia University Press, New York. 375 pp.
- LANA, X. y BURGUEÑO, A. (1996): Extreme winter minimum temperatures in Catalonia (north-east Spain): expected values and their spatial distribution. *International Journal of Climatology*, 16, pp. 1365-1378.
- LANA, X. y BURGUEÑO, A. (1998a): Daily dry-wet behaviour in Catalonia (NE Spain) from the viewpoint of Markov chains. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 793-815.
- LANA, X. y BURGUEÑO, A. (1998b): Spatial and temporal characterization of annual extreme droughts in Catalonia (Northeast Spain). *International Journal of Climatology*, 18, pp. 93-110.
- LUENGO UGIDOS, M.A., CEBALLOS BARBANCHO, A., MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J. y YUSTE YUSTE, C. (2002): Las rachas secas en el sector central de la cuenca del Duero. *Investigaciones Geográficas*, 27, pp. 65-82.
- MARTÍN VIDE, J., BIELSA, I., GARCÉS, M. P., MÓDENES, J. A., OLIVAS, A., PÉREZ, J., RUCABADO, M., SALVADOR, M. y SÁNCHEZ, E. (1989): La bondad de la cadena de Markov de primer orden en la probabilidad de secuencias lluviosas y secas en Cataluña. *Notes de Geografia Física*, 18, pp. 51-55.
- MARTÍN VIDE, J. y GÓMEZ, L. (1999): Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of Climatology*, 19, pp. 537-555.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A.H., NIETO, S. y GARMENDIA, J. (1998): Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 299-316.
- SÁENZ, J., ZUBILLAGA, J. y RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. (2001): Interannual variability of winter precipitation in Northern Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 21, pp. 1503-1513.