

LAS RACHAS SECAS EN EL SECTOR CENTRAL DE LA CUENCA DEL DUERO

Miguel Ángel Luengo Ugidos
Antonio Ceballos Barbancho
José Martínez Fernández
Carlos Yuste Yuste

Departamento de Geografía, Facultad de Geografía e Historia
Universidad de Salamanca

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la caracterización climática del sector más árido de la cuenca del Duero, prestando una especial atención a los intervalos sin precipitación (rachas secas), y la estimación de la probabilidad y frecuencia de estos períodos mediante técnicas estadísticas de aplicación sencilla. La precipitación media es inferior a los 400 mm y el número anual de días secos es elevado. Considerando día seco aquél con una precipitación ≤ 0.1 mm, la media es de 291, y la longitud media de las rachas secas 9.6 días. Elevando el umbral a 10 mm, el número de días secos al año asciende a 356 y la longitud media de las rachas a 40.1 días. Estos datos, junto al análisis de la duración, intensidad y probabilidad de las rachas secas máximas anuales, confirman que la zona estudiada está más próxima a la realidad de los observatorios mediterráneos que a la de los atlánticos, a pesar de su ubicación en la mitad septentrional de la Península Ibérica. Finalmente, tanto las cadenas de Markov de primer orden, como la distribución de frecuencias de Gumbel, se han mostrado como técnicas adecuadas para la estimación de la probabilidad y frecuencia de las rachas secas, respectivamente.

Palabras clave: rachas secas, semiárido, cadenas de Markov, distribución de Gumbel, cuenca del Duero.

ABSTRACT

The aim of this work is to characterize the climate of the most arid area in the Duero basin. It has been paid attention to periods without precipitation (dry spells) and the estima-

Agradecimientos: Los autores quieren expresar su agradecimiento a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AMB98-0626) y a la Junta de Castilla y León (Proyecto SA55/00A) por la financiación que ha hecho posible este trabajo, y al profesor Javier Martín Vide por sus valiosas sugerencias.

Fecha de recepción: 28 de septiembre de 2001. **Fecha de admisión:** 15 de noviembre de 2001.

tion of probability and frequency of these periods using statistical methods of easy application. Average annual precipitation is below 400 mm and the annual number of dry days is high. Using a rainfall threshold of 0.1 mm in the definition of a dry day, the mean of dry days is 291 and the mean length of dry spells is 9.6 days. If the threshold is increased to 10 mm, the annual number of dry days is 356 and the mean length of dry spells is 40.1. Although the study area is located in the northern part of Iberian Peninsula, the analysis of the previous data and the length, intensity and probability of the maximum annual dry spells, confirm that its climatic characteristics are more similar to data from Mediterranean observatories than those from Atlantic area. Finally, as much the first-order Markov chain as the Gumbel distribution of extremes are suitable to estimate the probability and frequency of dry spells respectively.

Key words: dry spells, semiarid, Markov chains, Gumbel distribution, Duero basin.

1. Introducción

Los estudios sobre las rachas secas y húmedas han proliferado en España desde la pasada década de los 80, centrándose especialmente en la mitad oriental de la Península (DOMÍNGUEZ, 1973; BURGUEÑO, 1981; MARTÍN VIDE, 1981; RASO, 1982; GÓMEZ *et al.*, 2000). Las rachas secas suponen uno de los hechos climáticos definidores del ámbito mediterráneo, teniendo lógicamente una mayor incidencia en las zonas donde menos llueve. La repercusión de las mismas es notable en el funcionamiento de muchos ecosistemas al afectar directamente a la disponibilidad de un recurso tan básico como es el agua.

La agricultura en la mayor parte del sector central de la cuenca del Duero, tanto de secano (cereal y viñedo) como de regadío (principalmente maíz y remolacha), constituye la principal actividad económica con una estrecha dependencia de los recursos hídricos disponibles atendiendo a su volumen y estacionalidad. Aunque es cierto, como señala MOLINERO (2001), que las mejoras técnicas y agronómicas experimentadas recientemente en algunas regiones, como Castilla y León, han minimizado los daños causados por las sequías a lo largo del tiempo, no debe obviarse el desarrollo de investigaciones que profundicen en la caracterización del comportamiento de la lluvia en aquellas zonas con precipitaciones anuales bajas.

El área de trabajo seleccionada, de 1.300 km² aproximadamente, forma parte del sector semiárido más occidental de la Península Ibérica, el cual, con una precipitación anual media inferior a los 400 mm, constituye un enclave excepcional en el contexto climático del noroeste de la misma (**figura 1**). Se trata de las llanuras y campiñas situadas en la confluencia de las provincias de Zamora, Salamanca, Valladolid y Ávila, donde según GARCÍA FERNÁNDEZ (1986), a diferencia de los otros sectores áridos de la Península, la aridez no es desconocida pero tampoco representa la «mácula de su clima».

En relación con el resto de las áreas de la Península Ibérica en las que se registran unas precipitaciones inferiores a los 400 mm (algunas zonas de Castilla-La Mancha, depresión del Ebro y Sureste Peninsular), el sector central de la cuenca del Duero se distingue por:

- a) unas temperaturas más bajas, tanto anuales como estivales, que permiten relacionar el concepto de sequía más con la falta de lluvia que con el rigor térmico;
- b) una menor irregularidad de las precipitaciones, tanto intranual como interanual; y
- c) unas intensidades horarias también más bajas.

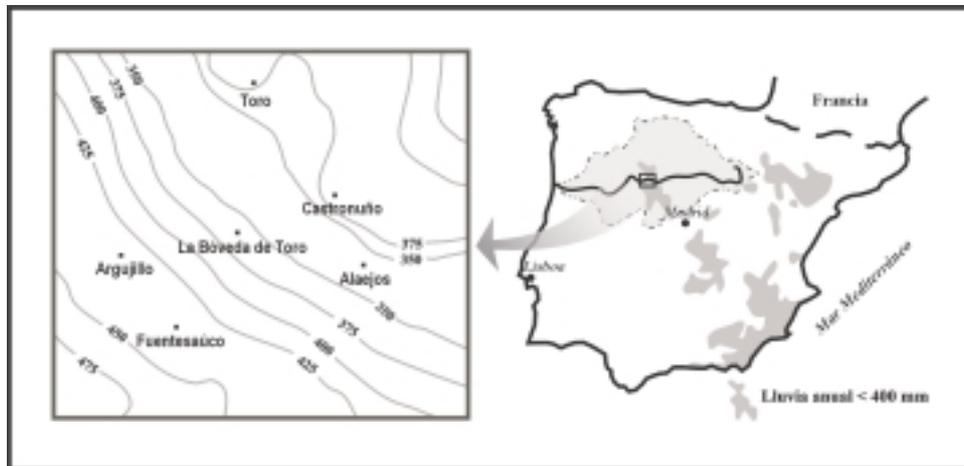


FIGURA 1. Localización de la zona de estudio y pluviometría anual.

El interés del presente trabajo está justificado por varios motivos. Por un lado, los diversos escenarios aportados por los modelos que tratan de predecir las consecuencias futuras del cambio climático, señalan que las zonas con menores precipitaciones son más sensibles y vulnerables a los efectos de dicho cambio que los lugares con mayor pluviometría (IPCC, 1997). En este sentido, los datos del modelo elaborado por AYALA-CARCEDO e IGLESIAS (2000), para estimar el impacto del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular, referidos al conjunto de la cuenca del Duero, son los siguientes: disminución de las precipitaciones en un 8%, aumento de las temperaturas de 2,5 °C, reducción de los recursos hídricos estimada en un 22% (3.337 Hm³/año). Debido a que la cuenca del Duero tiene una notable dimensión, que abarca zonas con precipitaciones superiores a los 1.000 mm en sus rebordes montañosos, cabe pensar que en el sector central de la misma, en razón de su semiaridez, las precipitaciones experimenten una reducción mayor a la media con un probable aumento de la irregularidad de las mismas. En consecuencia, el conocimiento de la probabilidad de las rachas secas, tanto interanual como intranual, es de gran interés para la planificación de diversas actividades en un determinado territorio, especialmente aquéllas de índole agropecuaria.

Los objetivos generales de este estudio son, en primer lugar, la caracterización climática de la zona seleccionada prestando una especial atención a la duración de las rachas secas y, en segundo lugar, la estimación de la probabilidad y frecuencia de rachas secas mediante técnicas estadísticas de aplicación sencilla.

2. Planteamiento metodológico

En un contexto genérico se suele utilizar indistintamente los términos *sequía* y *racha seca*, atribuyéndoles a ambos un significado similar (PÉREZ CUEVA, 1988). El concepto de sequía responde a una situación prolongada en el tiempo de falta de precipitaciones, debido principalmente a una persistencia de situaciones sinópticas infrecuentes. La sequía en muchos casos puede verse intensificada por la confluencia de elementos tanto naturales

(temperaturas y evapotranspiración elevadas), como antrópicos, es decir, la ausencia de infraestructuras que permitan una gestión racional de los recursos hídricos, la deforestación y la degradación del suelo que inhibe la infiltración y la retención del agua en el mismo.

Por su parte, se entiende por racha seca una situación más o menos habitual en determinados tipos de clima, como el mediterráneo, y que además les diferencia de otros. La definición de racha seca puede variar según el planteamiento metodológico de cada estudio. De forma general, se trata de un período caracterizado por la consecución de un determinado número de días sin precipitación apreciable (≤ 0.1 mm). Desde la perspectiva de un estudio con una aplicación concreta, se puede matizar más la definición de racha seca considerando además otros factores como las temperaturas, la disponibilidad hídrica de los suelos, el consumo de agua por parte de ciertos cultivos o masas forestales, etc. De este modo, por ejemplo, podría definirse racha seca como aquel período de tiempo en el que el valor de humedad del suelo se encuentra por debajo de un determinado umbral (el punto de marchitamiento) a partir del cual el ecosistema empieza a sufrir un estrés hídrico importante y visible, lo cual determina que la vegetación active al máximo los mecanismos que le son propios para adaptarse a esta circunstancia.

Este planteamiento del problema invita, por tanto, a considerar la delimitación de los períodos de rachas secas atendiendo a otros umbrales de precipitación en la definición de un día seco. Experimentos de simulación de lluvia realizados por los autores en la zona, indican que el frente de humedad sobrepasa el límite de los primeros 5 cm del suelo a partir de 10 mm de lluvia. Con precipitaciones inferiores, el agua permanece en la superficie del suelo o en su cubierta vegetal, desde donde fácilmente retorna a la atmósfera por evapotranspiración. Con este carácter aplicado, será interesante también la caracterización de las rachas secas considerando día seco aquel con una precipitación menor a 10 mm, ya que son estas precipitaciones las que realmente inciden sobre el balance de agua en el perfil del suelo.

Para la realización del presente estudio fueron seleccionados seis observatorios pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología, atendiendo a la representatividad espacial de los mismos y a la disponibilidad de una serie de datos amplia e ininterrumpida (**tabla 1**). Los períodos de observación oscilaron entre los 59 años (21.550 días) y los 34 años (12.419), estando por encima del período mínimo considerado por la Organización Meteorológica Mundial para caracterizar climáticamente una estación afectada por un régimen mediterráneo ($n = 30$ años).

Tabla 1
DATOS DE LOCALIZACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS

Observatorios	Provincia	Período	Años	Días	Latitud	Longitud	Altitud	Indicativo del I.N.M.
		observación						
<i>Alaejos</i>	<i>Valladolid</i>	<i>1942-2000</i>	59	21.550	41°18'30" N	5°12'57" W	754 m.	530
<i>Argujillo</i>	<i>Zamora</i>	<i>1967-2000</i>	34	12.419	41°18'40" N	5°35'17" W	769 m.	561
<i>Castronuño</i>	<i>Valladolid</i>	<i>1960-2000</i>	41	14.976	41°23'10" N	5°15'52" W	705 m.	531
<i>Fuentesauco</i>	<i>Zamora</i>	<i>1967-2000</i>	34	12.419	41°13'55" N	5°29'52" W	802 m.	555
<i>La Bóveda de Toro</i>	<i>Zamora</i>	<i>1967-2000</i>	34	12.419	41°20'35" N	5°24'37" W	696 m.	557
<i>Toro-Iberduero</i>	<i>Zamora</i>	<i>1961-1997</i>	37	13.514	41°31'15" N	5°23'47" W	735 m.	560 B

Atendiendo a los objetivos del presente estudio, el modelo estocástico de las cadenas de MARKOV permite al investigador responder a las siguientes preguntas: a) ¿Cuál es la probabilidad de que un día de un determinado mes del año sea seco? b) ¿Cuál es la probabilidad de que una determinada racha seca, de n días de duración, ocurra en un período de tiempo determinado? (ELÍAS CASTILLO y CASTELVÍ, 1996). Este modelo ha sido aplicado en España por varios autores (DOMÍNGUEZ, 1973; BURGUEÑO, 1981; MARTÍN VIDE, 1981; RASO, 1982; GÓMEZ *et al.*, 2000) en el caso del estudio de las rachas húmedas en diversas localidades, con predominio de las situadas en el litoral mediterráneo. Sin embargo, su aplicación ha sido menos utilizada en el caso de las rachas secas debido al menor ajuste entre el modelo y la realidad (MARTÍN VIDE *et al.*, 1989; MARTÍN VIDE y GÓMEZ, 1999).

El modelo de MARKOV se basa en el concepto de probabilidad condicionada o de transición, ya que la probabilidad de un día seco dependerá de las condiciones del día precedente, que bien puede ser seco (S) o húmedo (H). En el caso de una cadena de Markov de primer orden, la probabilidad de que una racha seca (P_n) dure n días ($SS...n....SH$) viene dada por la siguiente fórmula:

$$P_n = p_{00}^{n-1} \cdot p_{01} = p_{00}^{n-1} \cdot (1 - p_{00})$$

donde p_{00} es la probabilidad de un día seco después de un día seco y p_{01} la probabilidad de un día lluvioso después de un día seco.

Mediante el método de GUMBEL (1958) se estimó, a partir de las rachas máximas anuales, la duración de las mismas para diversos períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), comprobándose el ajuste de los mismos comparando el resultado de la función de distribución con los datos reales correspondientes a los períodos de observación de cada estación meteorológica. La distribución de frecuencias de GUMBEL ha sido utilizada asiduamente en el campo de la hidrología para la estimación de caudales máximos (SHAW, 1983), así como en el de la climatología en el caso de las cantidades máximas diarias de precipitación (ELÍAS CASTILLO y RUIZ BELTRÁN, 1979) y en otras variables extremas (LANA y BURGUEÑO, 1996, 1998).

Para la aplicación de dicho método se ha utilizado la siguiente expresión matemática:

$$X_j = mx + K_j S_x$$

donde X_j es el número probable de días de una racha seca para un determinado período de retorno (T_i); mx es el número medio de días de las rachas secas máximas anuales durante el período de observación; K_j es el llamado factor de frecuencia correspondiente a la variable de Gumbel Y_i ; y S_x es la desviación estándar de la serie de rachas secas máximas anuales.

Para el cálculo de la variable de Gumbel Y_i se ha aplicado la siguiente ecuación:

$$Y_i = -\ln [-\ln (T_i/T_i-1)]$$

Conocido el valor de Y_i podemos calcular K_j mediante la siguiente fórmula:

$$K_j = (Y_i - m_y) S_y$$

siendo m_y y S_y la media y la desviación estándar respectivamente de la variable reducida (y).

Finalmente, el cálculo de la variable reducida se obtiene a partir de:

$$y = -\ln [-\ln (n+1/m)]$$

siendo n el número de observaciones de la muestra y m el número de orden de cada observación una vez ordenadas de menor a mayor.

3. Caracterización climática

Los rasgos básicos que permiten caracterizar al clima de este área, y que, evidentemente, los comparten en mayor o menor grado las áreas circundantes, son dos: inviernos más o menos rigurosos, tanto por el frío como por su larga duración, y veranos secos, propios del clima mediterráneo, los cuales, aunque cortos y suaves, pueden presentar elevadas temperaturas durante una o dos semanas como promedio. La conjunción de estas dos características, a la que se une una altitud media superior a los 700 m, favorecen la constatación de una tercera: la continentalidad.

A esta caracterización genérica del clima se ha llegado principalmente a partir del tratamiento estadístico de los datos de Castroñuno, que es el único observatorio termopluviométrico de la zona, y que, además, posee una serie de registros lo suficientemente larga y completa (período 1967-1999).

Así, en un análisis más detallado de las variables térmicas que proporciona Castroñuno, los parámetros más significativos son los siguientes: una temperatura media anual de 12'1 °C; Enero es el mes más frío (4 °C) y Julio se muestra como el más cálido (21'7 °C); tres meses al año (de Dic. a Feb.) registran una temperatura media inferior a los 6 °C; el número anual medio de «días de helada» (temperatura mínima diaria ≤ 0 °C) asciende a 60'5; y, el equivalente a los «días de verano» (temperatura máxima diaria ≥ 25 °C) es de 92. Por último, los registros térmicos extremos de toda la serie, -15'3 °C como mínima absoluta (4-1-1971) y 39'6 °C como la máxima (23-7-1969), revelan un rango de la oscilación de 54'9 °C, lo cual ratifica ese carácter continental antes mencionado sin tener que recurrir a «índices de continentalidad», como el de GORCZYNSKI que también lo evidencian, $K = 25'5$ (FONT TULLOT, 2000).

Respecto a la interpretación de las precipitaciones a escala anual, la media de las seis estaciones estudiadas es de 385'2 mm, oscilando entre los 324'1 mm de Alaejos y los 432'2 de Fuentesauco (**tabla 2**), lo que refleja claramente la existencia de un gradiente pluviométrico longitudinal, con una diferencia entre el más occidental (Argujillo) y el más oriental (Alaejos) de 105 mm en 30 km, siendo, por lo demás, similares el resto de los datos de localización (altitud y latitud). El valor máximo de la zona corresponde a Fuentesauco, ya que compensa el factor longitudinal con el altitudinal. En ninguno de los seis observatorios, la cantidad de precipitación anual máxima sobrepasa los 700 mm (Fuentesauco, 698'5 mm en 1979). El valor mínimo de todas las series estudiadas lo registró en 1964 Castronuño, con 138'4 mm. La oscilación pluviométrica interanual

Tabla 2
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL Y ANUAL (mm)

Observatorios	Invierno			Primavera			Verano			Otoño			Año Media
	E.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	
<i>Alaejos</i>	29'8	24'9	24'8	31'0	40'0	24'7	13'3	6'9	24'7	32'1	36'9	34'9	324'1
<i>Argujillo</i>	45'1	39'1	25'8	41'3	49'3	34'4	19'3	13'0	25'7	40'1	47'5	48'5	429'1
<i>Castronuño</i>	37'4	32'7	24'6	36'4	49'3	30'7	15'5	9'1	27'2	40'7	45'3	41'8	390'8
<i>Fuentesauco</i>	45'1	35'9	26'1	44'8	50'8	31'3	14'9	12'3	27'9	44'8	48'7	49'7	432'2
<i>La Bóveda de Toro</i>	34'8	27'9	19'3	38'9	43'0	29'1	16'4	11'5	23'9	36'4	39'5	39'2	359'8
<i>Toro-Iberduero</i>	40'7	33'2	22'6	35'5	40'3	33'7	15'1	8'3	26'0	37'7	43'6	38'3	374'9

(diferencia entre los valores máximos y mínimos de cada una de las series) varía considerablemente dependiendo del observatorio: 473 mm en Castronuño, como representante de la máxima oscilación, y 310 mm en La Bóveda de Toro, como ejemplo de la menor.

La escasez de precipitaciones obedece, fundamentalmente, al emplazamiento central y deprimido que tiene la zona de estudio en el contexto topográfico de la cuenca del Duero. Las situaciones sinópticas que originan la mayoría de las precipitaciones están asociadas a perturbaciones atlánticas causadas por las ondulaciones del Frente Polar, las cuales, desde finales de septiembre hasta bien entrada la primavera, introducen la inestabilidad atmosférica que fracciona los períodos de calma relacionados con los anticiclones, tanto el de procedencia tropical (A. de las Azores), como los que desde el interior del Continente suelen afectar en pleno invierno. Dichas perturbaciones, que en los bordes de la cuenca del Duero descargan precipitaciones abundantes, han de ser muy profundas para provocar aquí lluvias de alguna consideración. El «efecto abrigo», por lo tanto, es lo determinante para justificar la escasez de precipitaciones. De otra parte, y por lo que a las precipitaciones estivales se refiere, debemos resaltar que, aunque no es infrecuente la formación de tormentas de calor, buena parte de ellas apenas descargan la suficiente cantidad de agua como para interrumpir la sequía fisiológica de cultivos y vegetación natural.

El carácter mediterráneo de la zona se advierte claramente en que el verano registra, como media, el mínimo de las precipitaciones anuales (un 13'5%). Esto contrasta con una distribución más o menos uniforme en el resto de las estaciones, aunque el máximo se registre en otoño, con un 32'4%. Así mismo, aplicando a la **tabla 2** el umbral de los 30 mm mensuales, como el que tradicionalmente se ha adoptado para identificar los meses secos en la Península desde el punto de vista de unas mínimas exigencias para la agricultura convencional, se observa que, además de considerar secos los veranos de los seis observatorios, la media para el mes de marzo también lo encuadra en esa categoría y, en caso de Alaejos, todos los meses del invierno también son secos.

La *precipitación máxima en 24 horas* en el total de las series analizadas es muy variable. Por un lado, los máximos registrados oscilan entre los 111 mm de Castronuño (mayo de 1963) y los 50'6 mm de Fuentesauco (noviembre de 1984). Por otro, la distribución estacional de estos máximos (y, por consiguiente, las situaciones sinópticas causantes de los mismos) también es variable, ya que en Alaejos se produjo en verano, en Argujillo en invierno, en Castronuño en primavera y, en los observatorios restantes (Fuentesauco, La Bóveda de Toro y Toro-Iberduero), en otoño. Estos datos diferencian la zona estudiada de otras semiáridas (< 400 mm) donde las intensidades máximas en 24 horas son mucho mayores y su concentración estacional es más clara, como es el caso del cuadrante suroriental de la Península Ibérica (ELÍAS CASTILLO y RUIZ BELTRÁN, 1979).

Finalmente, hay que hacer referencia a dos de los aspectos que son habituales en cualquier estudio de Climatología Analítica: la «sequía» según el criterio clásico de GAUSSEN, y la evapotranspiración potencial, según THORNTHWAITTE. Respecto al primero, Castronuño presenta un período seco (temperatura mayor al doble de la precipitación) de cuatro meses, desde junio hasta septiembre. Por su parte, la evapotranspiración potencial anual, calculada para este mismo observatorio, alcanza los 698 mm, existiendo un período medio de déficit de agua que va desde finales de junio hasta la primera decena de octubre.

4. Análisis de las rachas secas

4.1. Número de días secos y longitud media de las rachas secas

El número anual de *días secos* (precipitación $\leq 0'1$ mm) es elevado, con una media de 291 y unos valores medios máximos y mínimos de 298 (Toro-Iberduero) y 274 (Fuentesaúco) respectivamente (**tabla 3**). El porcentaje medio de días secos es del 79'7%, matizando el gradiente latitudinal que de forma general puede aplicarse al territorio español peninsular, con unos valores inferiores al 55% en la costa cantábrica y superiores al 80% en la costa mediterránea. De este modo, a pesar de su ubicación en la mitad septentrional de la península Ibérica, la zona estudiada estaría más próxima a la realidad de los observatorios mediterráneos que a la de los atlánticos.

Del conjunto de la serie analizada, el año con más días secos fue 1964 en Castronuño, con un total de 332 días, y el año con menos días secos fue 1979 en Fuentesaúco, con un total de 242. La distribución estacional media de los días secos es muy uniforme en el conjunto de las observatorios, siendo las diferencias entre estaciones siempre inferiores al 5%.

Si se considera la cantidad de 10 mm como umbral para definir un día como seco, atendiendo a su eficiencia edáfica, puede destacarse que el 97'1% de los días del año los son, mostrando un reparto estacional muy equilibrado, siendo las diferencias entre observatorios inferiores al 1%. Con este umbral, el año con más días secos fue también 1964, en Castronuño, en donde ningún día del año llovió más de 10 mm, y el año con menos días secos fue 1989 en Argujillo, con un total de 340.

Tabla 3
DISTRIBUCIÓN DE DÍAS SECOS ($P \leq 0'1$ mm) AL AÑO Y POR ESTACIONES

Observatorios	Año con MENOS días secos		Año con MÁS días secos		Porcentaje medio de días secos por estaciones				Media y % de días secos al año
	Año	días secos	Año	días secos	Inv.	Pri.	Ver.	Oto.	
<i>Alaejos</i>	1993	254	1953	326	23'7	23'9	28'5	23'9	296 (81'1%)
<i>Argujillo</i>	1969	262	1992	316	23'7	23'6	28'5	24'2	290 (79'6%)
<i>Castronuño</i>	1977	267	1964	332	23'4	24'1	28'6	23'8	293 (80'2%)
<i>Fuentesaúco</i>	1979	242	1967	302	23'3	23'5	29'7	23'5	274 (75'1%)
<i>La Bóveda de Toro</i>	2000	275	1982	321	24'1	23'4	28'1	24'3	295 (80'1%)
<i>Toro-Iberduero</i>	1967	261	1964	329	23'5	24'0	28'2	24'3	298 (81'6%)
Media					23'6	23'8	28'6	24'0	

El análisis de la longitud media de las rachas secas con un umbral de 0'1 mm (**tabla 4**) confirma la importancia de este fenómeno en la zona de estudio, con una media de 9'6 días para el conjunto de observatorios y sobrepasándose el umbral de los 10 días en la serie de datos más larga (Alaejos). Este valor contrasta notablemente con los menos de 4 días del litoral vasco-cantábrico y se asemeja al escenario característico de la región andaluza en el sur peninsular más Murcia y Alicante, con valores por encima de los 9 días (MARTÍN VIDE y GÓMEZ, 1999).

Tabla 4
NÚMERO DE RACHAS SECAS (DÍAS SECOS: $P \leq 0'1$ mm) DE DURACIÓN MAYOR O IGUAL A 2, 7, 15, 30, 60 Y 90 DÍAS Y EL TOTAL DE DÍAS QUE ABARCAN

Observatorios (años de observación)	Rachas secas \geq 2 días		Rachas secas \geq 7 días		Rachas secas \geq 15 días		Rachas secas \geq 30 días		Rachas secas \geq 60 días		Rachas secas \geq 90 días	
	Nº	Total días (duración media)	Nº	Total días	Nº	Total días	Nº	Total días	Nº	Total días	Nº	Total días
<i>Alaejos</i> (Nº/59 años)	1.643 27'8	16.984 (10'3)	691 11'7	13.411	316 5'4	9.372	83 1'4	4.322	23 0'4	1.844	7 0'12	724
<i>Argujillo</i> (Nº/34 años)	1.001 29'4	9.567 (9'6)	410 12'1	7.355	171 5'0	4.783	51 1'5	2.194	5 0'15	403	2 0'06	203
<i>Castroñaño</i> (Nº/41 años)	1.192 29'1	11.635 (9'8)	486 11'9	9.047	199 4'9	5.928	64 1'6	3.005	11 0'27	900	2 0'05	217
<i>Fuentesauco</i> (Nº/34 años)	1.004 29'5	8.977 (8'9)	400 11'7	6.744	155 4'5	4.167	46 1'4	1.868	2 0'06	138	0 0	0
<i>La Bóveda de Toro</i> (Nº/34 años)	1.027 30'2	9.746 (9'5)	415 12'2	7.441	172 5'1	4.826	47 1'4	2.143	7 0'21	539	3 0'09	281
<i>Toro-Iberduero</i> (Nº/37 años)	1.125 30'4	10.711 (9'5)	429 11'6	8.144	185 5'0	5.482	65 1'8	2.903	10 0'27	735	1 0'03	97
Media (Nº/años)	29'4		11'9		5'0		1'5		0'23		0'06	

La duración media de las rachas secas con un umbral de 10 mm tiene un marcado interés por varios motivos. Por un lado, son las que realmente manifiestan el efecto de la ausencia de lluvias significativas sobre el territorio y, las que además, tienen una especial incidencia sobre el balance de agua del perfil edáfico. Por otro lado, resaltan más las diferencias entre las zonas de la península con déficit hídrico y aquellas en donde en el momento presente el agua no es un recurso escaso. Como se muestra en la **tabla 6**, la duración media en la zona es de 40'1 días, con un valor mínimo de 34'5 en el observatorio más occidental (Argujillo) y un valor máximo de 49'5 días en el más oriental (Alaejos).

Esta situación responde, a escala local, al mismo proceso que se puede detectar a escala regional, en el caso de la Península Ibérica, para explicar las diferencias observadas entre la mitad occidental (donde la frecuencia de las situaciones del oeste y suroeste en el período frío del año se traduce en precipitaciones más o menos copiosas y persistentes) y oriental (donde la influencia atlántica es muy débil y puntual), especialmente en el tercio meridional.

Tabla 5
Nº DE DÍAS DE LA RACHA MÁS LARGA

Año	Alaejos		Argujillo		Castronuño		Fuentesauco		La Bóveda		Toro-Ib.	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1942	70	239										
1943	40	99										
1944	115	314										
1945	115	172										
1946	53	179										
1947	30	104										
1948	58	130										
1949	60	126										
1950	111	166										
1951	37	135										
1952	31	89										
1953	64	251										
1954	85	155										
1955	41	97										
1956	69	224										
1957	84	329										
1958	43	130										
1959	27	99										
1960	52	96			53	116						
1961	66	142			33	111					40	142
1962	96	141			85	96					70	93
1963	50	102			54	212					58	111
1964	40	120			82	386					58	93
1965	74	210			108	457					97	184
1966	49	117			109	117					63	116
1967	27	119	46	171	57	149	46	111	92	177	46	103
1968	58	156	48	183	49	156	49	241	50	240	49	176
1969	60	71	32	68	58	121	32	70	33	86	32	88
1970	47	340	32	232	44	232	33	222	28	232	41	200
1971	62	437	33	250	61	251	33	188	38	251	34	275
1972	20	197	33	175	20	73	57	75	23	73	22	97
1973	61	170	41	109	51	115	36	118	36	112	61	89
1974	99	131	42	139	31	86	44	116	48	93	36	123
1975	37	94	37	176	36	210	37	85	37	155	37	182
1976	46	118	44	74	43	142	27	122	43	122	43	142
1977	29	131	27	91	20	130	28	89	34	135	26	105
1978	63	123	45	123	63	123	40	157	63	134	45	140
1979	49	101	53	121	48	118	59	101	59	78	49	125
1980	44	156	31	155	36	156	36	155	60	155	32	183
1981	70	178	70	136	49	133	63	90	70	178	67	106
1982	32	146	32	56	41	104	33	146	47	146	47	118
1983	36	101	61	103	33	157	32	102	61	103	64	150
1984	43	146	36	66	36	126	36	121	36	146	36	151
1985	91	171	105	162	83	163	45	162	91	129	83	155
1986	80	173	69	125	80	125	47	112	64	112	80	203
1987	35	81	26	84	48	151	34	95	32	84	31	125
1988	97	114	98	100	82	100	56	100	98	100	43	100
1989	86	101	37	83	37	98	36	116	37	139	70	173
1990	29	158	29	86	26	103	29	134	25	71	26	138
1991	50	191	44	142	42	260	44	214	46	143	48	150
1992	31	169	44	107	39	267	42	221	40	124	40	83
1993	46	159	49	107	38	157	56	138	47	163	45	139
1994	57	143	47	136	39	103	40	75	41	122	39	77
1995	61	74	40	140	41	120	40	140	40	91	42	77
1996	18	93	25	148	36	78	28	97	46	148	36	79
1997	64	99	55	88	67	88	75	88	43	88	53	90
1998	33	120	41	151	40	117	42	120	31	120		
1999	24	234	33	209	32	182	23	234	32	111		
2000	48	112	38	161	48	84	49	112	48	84		
Media	56	154	45	131	51	153	41	131	48	131	49	132
Máxima	115	437	105	250	109	457	75	241	98	251	97	275

(A: días secos $p \leq 0'1 \text{ mm}$; B: días secos $p \leq 10 \text{ mm}$)

INVIerno

PRIMAVERA

VERANO

OTOÑO

Estación principal de la racha en función del día central de cada racha seca

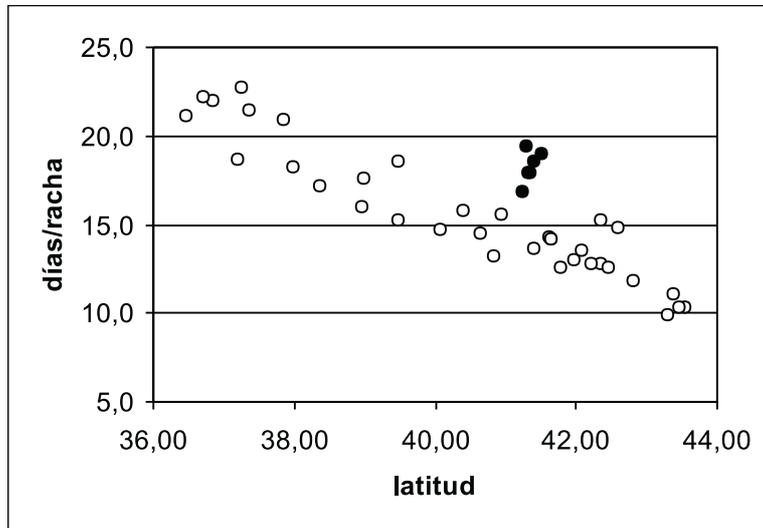
Tabla 6
 NÚMERO DE RACHAS SECAS (DÍAS SECOS: $P \leq 10$ mm) DE DURACIÓN MAYOR O IGUAL A 2, 7, 15, 30, 60 Y 90 DÍAS Y EL TOTAL DE DÍAS QUE ABARCAN

Observatorios (años de observación)	Rachas secas \geq 2 días		Rachas secas \geq 7 días		Rachas secas \geq 15 días		Rachas secas \geq 30 días		Rachas secas \geq 60 días		Rachas secas \geq 90 días	
	Nº	Total días (duración media)	Nº	Total días	Nº	Total días	Nº	Total días	Nº	Total días	Nº	Total días
<i>Alaejos</i> (Nº/59 años)	425 72	21.045 (49'5)	342 58	20.699	281 48	20.030	205 35	18.296	130 22	15.043	81 14	11.418
<i>Argujillo</i> (Nº/34 años)	347 102	11.961 (34'5)	267 79	11.669	207 60	11.015	126 37	9.194	57 17	6.163	29 09	4.083
<i>Castroñaño</i> (Nº/41 años)	367 90	14.498 (39'5)	280 68	14.161	225 55	13.558	156 38	12.040	74 18	8.587	43 1	6.326
<i>Fuentesaúco</i> (Nº/34 años)	336 99	11.976 (35'6)	250 74	11.637	198 58	11.057	123 36	9.413	64 19	6.832	34 1	4.601
<i>La Bóveda de Toro</i> (Nº/34 años)	292 862	12.059 (41'3)	237 70	11.825	194 57	11.329	132 39	9.905	72 21	7.299	31 09	4.267
<i>Toro-Iberduero</i> (Nº/37 años)	325 88	13.113 (40'3)	242 65	12.768	204 55	12.341	143 39	10.930	75 20	8.020	38 1	5.187
Media (Nº/años)	9'0		6'9		5'6		3'7		1'9		1'0	

4.2. Análisis de las rachas máximas anuales

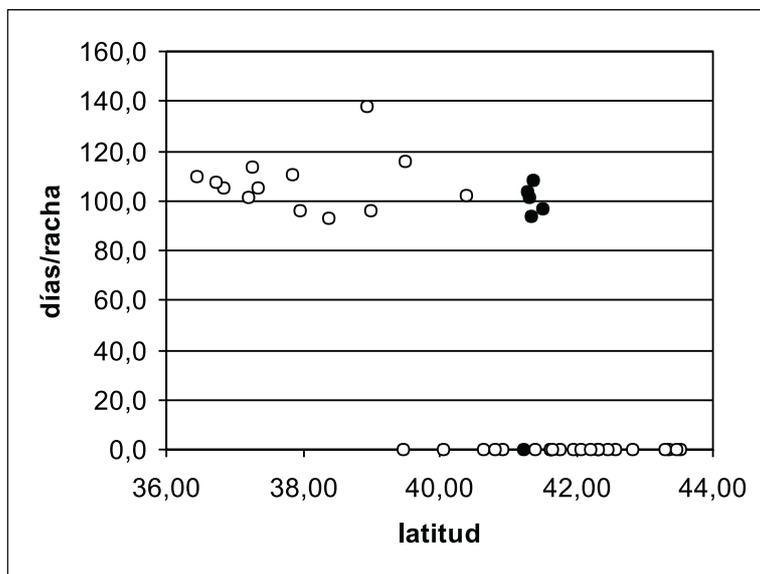
La media de la racha máxima anual, considerando el umbral de los 0'1 mm, nunca es inferior a los 40 días, oscilando entre los 56 días de Argujillo y los 41 días de Alaejos (**tabla 5**). En cinco de los seis observatorios analizados el valor máximo de la racha máxima anual sobrepasó el umbral de los tres meses mostrando los siguientes valores: Alaejos registró un máximo de 115 días consecutivos sin lluvia en dos años consecutivos (1944 y 1945), Argujillo 105 días en 1985, Castroñaño 109 días en 1966, Fuentesaúco 75 días en 1997, La Bóveda de Toro 98 días en 1988 y Toro-Iberduero 97 días en 1965. En la regionalización de la España peninsular, basada en las rachas secas, realizada por MARTÍN-VIDE y GÓMEZ (1999), únicamente en las estaciones situadas en el sur y sureste se rebasaría el umbral de los tres meses de duración para una racha máxima (Albacete, Alicante, Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Málaga, Murcia, Sevilla), con las excepciones de Cáceres, Ciudad Real y Madrid, las tres en la mitad meridional.

De forma general, en el 67'1% de las rachas secas el día central de las mismas se localiza en la estación estival. Al respecto es muy significativa la irregularidad estacional observada durante la década de los 90, ya que, con la excepción de Fuentesaúco, la mayoría de las rachas secas máximas anuales han tenido su punto central durante el período invernal. En cuanto al valor mínimo de la racha máxima anual, la variabilidad entre las estaciones es pequeña, oscilando entre los 18 días de Alaejos en 1996 y los 25 días de Argujillo también en 1996.



Elaboración propia a partir de los datos publicados por MARTÍN VIDE y GÓMEZ (1999). Puntos blancos = observatorios provinciales utilizados como referencia en el estudio de MARTÍN VIDE y GÓMEZ (1999); puntos negros = observatorios del sector central de la cuenca del Duero utilizados para la elaboración del presente trabajo.

FIGURA 2. Relación entre el número de días de las rachas secas con una duración igual o superior a 7 días y la latitud.



Elaboración propia a partir de los datos publicados por MARTÍN VIDE y GÓMEZ (1999).

FIGURA 3. Relación entre el número de días de las rachas secas con una duración igual o superior a 90 días y la latitud.

En la **tabla 4** se muestra el número de rachas secas de longitud mayor o igual a 7, 15, 30, 60 y 90 días de duración, el total de días que éstas abarcan, así como la duración media de rachas secas con una longitud mínima atendiendo a los umbrales anteriores. Considerando la longitud media de las rachas secas con una duración mínima de n días, se puede comparar la intensidad de las mismas en relación con otras zonas del territorio español e intentar ubicar la zona en un contexto regional. Para ello se han tenido en cuenta como referencia los datos publicados por MARTÍN VIDE y GÓMEZ (1999) correspondientes a una serie de 35 observatorios representativos del territorio español peninsular.

En los seis observatorios analizados, la duración media de las rachas de longitud mayor o igual a 7 días es de 18'3 días. Con valores superiores a 18 días están Almería, Cáceres, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Málaga, Murcia y Sevilla. La duración media de las rachas de longitud mayor o igual a 15 días es de 28'7 días. Con valores superiores a 28 días están Almería, Cáceres, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Málaga y Sevilla. La duración media de las rachas de longitud mayor o igual a 30 días es de 45'5 días. Con valores superiores a 45 días están Alicante, Almería, Cáceres, Cádiz, Ciudad Real, Córdoba, Granada, Huelva, Madrid, Málaga, Murcia y Sevilla. La duración media de las rachas de longitud mayor o igual a 60 días es de 77 días. Con valores superiores a 77 días están Albacete, Almería, Cáceres, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Málaga y Sevilla. La duración media de las rachas de longitud mayor o igual a 90 días es de 100'8 días (exceptuando Fuentesauco). Con valores superiores a 100 días están Albacete, Almería, Cáceres, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Madrid, Málaga y Sevilla. Este análisis demuestra que conforme aumenta el umbral de duración de la racha más clara resulta las diferencias entre las partes del territorio peninsular con precipitaciones contrastadas.

Así mismo, este análisis comparativo revela que la zona estudiada presenta un comportamiento similar al conjunto de los observatorios de la mitad meridional del territorio español peninsular, rompiendo el gradiente latitudinal característico según muestran las **figuras 2 y 3**.

El número medio anual de rachas secas con una duración media de 7 días es de 11'9 para el conjunto del área estudiada. Considerando un período de al menos 15 días, el valor medio es de 5 rachas por año y si se eleva el umbral a un mes de duración la cifra equivale a 1'5.

En el análisis de la estructura diaria de las rachas secas, el mayor interés debe centrarse en la consideración de aquéllas de mayor duración, ya que son las que realmente establecen diferencias regionales claras en un determinado territorio, permiten discriminar un espacio concreto respecto a su entorno inmediato y son las que mayor impacto tienen sobre los recursos hídricos. En este sentido, considerando las rachas secas con una duración mayor o igual a 90 días, se observa que en Alaejos la probabilidad anual de registrar una racha de estas características es de 0'12, mientras que en La Bóveda de Toro es de 0'09. Estos valores son muy altos en relación con el conjunto de la península Ibérica y sólo se ven superados por algunos observatorios de la mitad meridional de la misma —Almería, Cáceres, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Málaga y Sevilla— (MARTÍN VIDE y GÓMEZ, 1999).

A pesar de la escasez de datos publicados sobre diversas estaciones meteorológicas en el territorio español peninsular, con los que comparar nuestros resultados, se ha procedido a un análisis idéntico al anterior pero considerando día seco aquel con una precipitación igual o inferior a 10 mm (**tabla 6**). Con este umbral, la duración media de las rachas de longitud mayor o igual a 7 días es de 50'7 días, con una probabilidad de 6'9 rachas al año. Conside-

rando las rachas secas de 15 o más días, la duración media es de 59'9 días y la probabilidad anual es de 5'6 rachas. El análisis de los períodos de mayor duración, con una longitud mínima de dos y tres meses, el número de días medio por racha es de 109'2 y 139'7 respectivamente, con una probabilidad de 1'9 y 1 rachas al año según los casos. Estos datos vuelven una vez más a confirmar la intensidad y frecuencia de las rachas secas en la zona estudiada y a su consideración como elemento configurador de este tipo de climas.

4.3. Estimación de la probabilidad y frecuencia de las rachas secas

La aplicación de las cadenas de MARKOV de primer orden permite la estimación de la probabilidad media de que exista un día seco en un determinado mes del año. La escasa diferencia apreciable entre los valores observados y los valores obtenidos mediante el modelo de Markov demuestra el grado de bondad de la estimación (**tabla 7**). La diferencia máxima observada ha sido de 0'0048 (observatorio de Fuentesauco en el mes de junio), no sobrepasando en más del 50% de los casos analizados las 0'001. La distribución de la probabilidad de días secos a lo largo de los diferentes meses del año manifiesta una clara concentración de los mismos en la estación estival, acorde con la oscilación latitudinal de las altas presiones subtropicales.

Del mismo modo, se puede estimar la duración media esperada en días de una racha seca en cada mes del año (**tabla 8**). Este análisis manifiesta la estacionalidad de este proceso, con una duración, para el conjunto de la zona, mínima de 5'6 días en enero y máxima de 18'8 en agosto. La persistencia de las mismas es menor en los observatorios con una mayor pluviometría, como es el caso de Fuentesauco y Argujillo, debido a su posición occidental.

Mediante la aplicación del método de GUMBEL han sido estimadas las rachas máximas para un determinado período de retorno y se comprobó el grado de ajuste de los valores máximos correspondientes a cada estación durante *n* años de observación con la distribución teórica del modelo (**tabla 9**). A partir de los resultados obtenidos se observa que, por

Tabla 7
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN DÍA SECO SEGÚN EL MÉTODO DE LAS CADENAS DE MARKOV DE PRIMER ORDEN (A: Estimada; B: Observada)

	Alaejos		Argujillo		Castronuño		Fuentesauco		La Bóveda		Toro	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Ene.	0'7651	0'7649	0'7363	0'7353	0'7539	0'7530	0'6735	0'6717	0'7663	0'7657	0'7531	0'7541
Feb.	0'7693	0'7696	0'7503	0'7503	0'7348	0'7343	0'7096	0'7076	0'7585	0'7596	0'7613	0'7589
Mar.	0'7973	0'7966	0'8046	0'8046	0'7923	0'7923	0'7448	0'7448	0'8424	0'8406	0'8171	0'8160
Abr.	0'7525	0'7531	0'7184	0'7196	0'7480	0'7480	0'6715	0'6735	0'7271	0'7294	0'7638	0'7658
May.	0'7429	0'7419	0'7118	0'7097	0'7424	0'7451	0'6616	0'6622	0'7224	0'7220	0'7620	0'7620
Jun.	0'8463	0'8452	0'8334	0'8324	0'8428	0'8407	0'7960	0'7912	0'8316	0'8304	0'8281	0'8261
Jul.	0'9293	0'9284	0'9163	0'9156	0'9326	0'9315	0'9007	0'8994	0'9225	0'9213	0'9307	0'9303
Ago.	0'9521	0'9524	0'9094	0'9099	0'9307	0'9315	0'9059	0'9070	0'9182	0'9194	0'9422	0'9425
Sep.	0'8669	0'8684	0'8673	0'8676	0'8668	0'8691	0'8459	0'8471	0'8667	0'8667	0'8636	0'8658
Oct.	0'7917	0'7917	0'7929	0'7941	0'7729	0'7726	0'7350	0'7343	0'7858	0'7875	0'7982	0'7977
Nov.	0'7702	0'7718	0'7543	0'7549	0'7488	0'7488	0'6825	0'6833	0'7824	0'7824	0'7733	0'7730
Dic.	0'7498	0'7496	0'7392	0'7410	0'7522	0'7537	0'6791	0'6831	0'7673	0'7685	0'7911	0'7916

Tabla 8
 DURACIÓN MEDIA ESPERADA (EN DÍAS), POR MESES, DE UNA RACHA SECA
 (SEGÚN EL MÉTODO DE LAS CADENAS DE MARKOV DE PRIMER ORDEN)

	<i>Alaejos</i>	<i>Argujillo</i>	<i>Castronuño</i>	<i>Fuentesaúco</i>	<i>La Bóveda</i>	<i>Toro-Ib.</i>
<i>Ene.</i>	6'1	5'7	5'6	5'0	5'8	5'3
<i>Feb.</i>	6'8	7'0	6'3	6'7	6'4	6'9
<i>Mar.</i>	7'9	7'3	7'4	6'4	8'7	7'7
<i>Abr.</i>	6'2	5'8	5'9	5'2	5'4	6'1
<i>May.</i>	6'1	5'4	6'1	5'0	5'1	6'2
<i>Jun.</i>	8'9	8'1	8'2	7'9	8'3	7'9
<i>Jul.</i>	19'0	16'3	18'7	14'5	15'8	17'2
<i>Ago.</i>	26'8	13'9	19'5	14'8	16'0	21'6
<i>Sep.</i>	10'3	9'8	11'1	9'0	10'8	9'9
<i>Oct.</i>	7'5	6'9	6'1	6'2	6'7	6'4
<i>Nov.</i>	6'8	6'5	6'2	5'7	7'0	6'1
<i>Dic.</i>	5'8	6'2	6'0	5'3	6'1	6'1

término medio, el intervalo de recurrencia de una racha seca de al menos dos meses de duración es de tan sólo 5 años, mientras que para registrar una racha de 90 días de duración harían falta al menos 25 años en la mayoría de los casos. La determinación de la cantidad máxima probable de días (X_j) de una racha seca para un determinado período de retorno (T_i) permite relacionar las rachas de mayor duración con aquéllas estaciones situadas en el extremo oriental de la zona considerada (Alaejos y Castronuño) y, por tanto, con una menor cantidad anual de precipitaciones, en contraste con las situadas en el sector más occidental y con mayor pluviometría (Fuentesaúco y Argujillo).

5. Conclusiones

La distribución espacial de la precipitación media anual en los seis observatorios analizados manifiesta la importancia del factor longitudinal en el contraste entre aquéllos situados en la mitad occidental de la zona de estudio, respecto a los de la mitad oriental. Considerando el umbral de 0'1 mm, por término medio el 79'7% de los días del año son secos, con una distribución temporal homogénea, siendo la cantidad de días con precipitaciones superiores a los 10 mm muy pequeña (10'3).

La duración media de las rachas observadas, considerando como día seco aquél con una precipitación menor o igual a 0'1 mm, está muy próxima a los 10 días, mostrando, además, una marcada estacionalidad en su intensidad. El valor medio de las rachas máximas anuales nunca es inferior a los 40 días, habiéndose registrado a lo largo de la serie al menos una racha máxima superior a los tres meses de duración. Estos valores máximos se concentran, lógicamente, en los meses más secos del año, aunque se ha detectado cierta anomalía en este hecho a partir de 1990.

El análisis de la duración media de las rachas, en relación con un período de tiempo mínimo de n días de longitud, demuestra que conforme el umbral de duración de la racha es mayor, más clara resulta la semejanza de la zona estudiada con las estaciones meteorológicas situadas en la mitad sur del territorio español peninsular, rompiéndose el gradiente plu-

Tabla 9
ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN (EN DÍAS) DE LA RACHA SECA MÁS LARGA EN DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO DE T_i AÑOS (según el método de «Distribución de Frecuencias de GUMBEL»)

T_i	Y_i	Alaejos		Argujillo		Castronuño		Fuentesaúco		La Bóveda de Toro		Toro Iberduero	
		K_j	X_j	K_j	X_j	K_j	X_j	K_j	X_j	K_j	X_j	K_j	X_j
2	0'3665	-0'1566	52	-0'1515	42	-0'1535	47	-0'1515	40	-0'1515	45	-0'1524	47
5	1'4999	0'8011	75	0'8406	60	0'8255	68	0'8406	51	0'8406	63	0'8335	64
10	2'2504	1'4352	91	1'4974	72	1'4736	82	1'4974	59	1'4974	75	1'4863	76
15	2'6738	1'7929	99	1'8680	79	1'8393	90	1'8680	63	1'8680	82	1'8546	82
20	2'9702	2'0434	105	2'1274	83	2'0953	95	2'1274	66	2'1274	87	2'1125	87
25	3'1985	2'2364	110	2'3273	87	2'2926	100	2'3273	68	2'3273	91	2'3111	90
30	3'3843	2'3933	114	2'4899	90	2'4530	103	2'4899	70	2'4899	94	2'4727	93
40	3'6762	2'6400	120	2'7454	95	2'7052	108	2'7454	73	2'7454	98	2'7266	98
50	3'9019	2'8307	124	2'9430	98	2'9001	113	2'9430	75	2'9430	102	2'9230	101
60	4'0860	2'9862	128	3'1040	101	3'0590	116	3'1040	77	3'1040	105	3'0830	104
70	4'2413	3'1175	131	3'2400	104	3'1932	119	3'2400	79	3'2400	108	3'2182	106
80	4'3757	3'2310	134	3'3577	106	3'3093	121	3'3577	80	3'3577	110	3'3351	109
90	4'4942	3'3312	136	3'4614	108	3'4117	123	3'4614	81	3'4614	112	3'4382	110
100	4'6001	3'4207	139	3'5541	109	3'5032	125	3'5541	83	3'5541	113	3'5303	112
		$n =$	59		34		41		34		34		37
		$mx =$	55'8		44'8		50'7		41'4		47'6		49'4
		$Sx =$	24'2		18'1		21'3		11'6		18'5		17'7
		$my =$	0'5518		0'5396		0'5442		0'5396		0'5396		0'5417
		$Sy =$	1'1835		1'1425		1'1578		1'1425		1'1425		1'1496
$n =$ Número de años del período de observación													
$mx =$ Media de las RACHAS SECAS máximas anuales (en días) durante todo el período de observación													
$Sx =$ Desviación estándar o ERROR TÍPICO del la serie de rachas secas máximas anuales													
$T_i =$ Períodos de retorno													
$my =$ Media de la Variable reducida													
$Sy =$ Desviación estándar de la Variable reducida													
$Y_i =$ Variable de Gumbel $Y_i = -\ln [\ln (T_i/T_i-1)]$													
$K_j =$ Factor de frecuencia K_j correspondiente a la Variable de Gumbel Y_i $K_j = (Y_i-my) Sy$													
$X_j =$ Cantidad máxima probable de días de una RACHA SECA en un plazo (T_i) $X_j = mx+K_j Sx$													

viométrico latitudinal característico de la Península Ibérica. La probabilidad de registrar una racha seca de larga duración (90 días o más) es de 0'06, con un período de recurrencia mínimo de 25 años para la mayoría de los observatorios, siendo inferior a 10 años en el caso de Alaejos.

La escasa cantidad de días de lluvia al año con una precipitación igual o superior a 10 mm y la larga duración de las rachas considerando este umbral, agravan el problema de la disponibilidad hídrica en la zona debido al escaso impacto causado por las lluvias de menor cuantía en la zona. Si consideramos el umbral de los 10 mm en la definición de día seco, la duración media de las rachas asciende a más de 40 días, intensificándose esta situación en los observatorios orientales.

El incremento de la duración de las rachas secas puede condicionar en el futuro la disponibilidad de recursos hídricos que garanticen el mantenimiento y la viabilidad de las prácticas agrícolas actuales.

Bibliografía

- AYALA-CARCEDO, F. J. e IGLESIAS, A. (2000): Impactos del posible cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España peninsular. *El Campo de las Ciencias y las Artes*, 137, 201-222.
- BURGUEÑO, A. (1981): Diversos aspectos climáticos de la lluvia en Barcelona. *Notes de Geografia Física*, 5, 3-16.
- DOMÍNGUEZ, J. I. (1973): *Las cadenas de Markov, su aplicación al clima de Málaga*. Departamento de Estadística. Universidad de Málaga.
- ELÍAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRÁN, L. (1979): *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid. 545 pp.
- ELÍAS CASTILLO, F. y CASTELVÍ, F. (1996): *Agrometeorología*. MAPA y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 517 pp.
- FONT TULLOT, I. (2000): *Climatología de España y Portugal*. Ed. Universidad de Salamanca. 422 pp.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J. (1986): *El clima en Castilla y León*. Ed. Ámbito, Valladolid. 370 pp.
- GÓMEZ, L., MARTÍN VIDE, J. y WANNER, H. (2000): Regionalización de la España peninsular basada en la longitud de las secuencias lluviosas (1951-1990). *Riegos y Drenajes XXI*, 38-45.
- GUMBEL, E. J. (1958): *Statistics of extremes*. Columbia University Press, New York. 375 pp.
- IPCC (1997): *The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Summary for the policymakers*. 16 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, 1365-1378.
- 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. (1981): Cantidades diarias y análisis markoviano de las precipitaciones en el litoral mediterráneo sur de la Península Ibérica. *Paralelo 37*, 5, 97-114.
- 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, 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, 537-555.
- MOLINERO, F. (2001): Consecuencias agrarias de las sequías en Castilla y León. In GIL OLCINA, A. y MORALES GIL, A. (Eds.): *Causas y consecuencias de las sequías en España*. Caja de Ahorros del Mediterráneo e Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante. 261-276.
- ORTIGOSA IZQUIERDO, L. M. (1987): Las sequías climáticas en el extremo noroccidental de la depresión del Ebro (La Rioja). *Estudios Geográficos*, 189, 639-658.
- PÉREZ CUEVA, A. (1988): Notas sobre el concepto, los métodos de estudio y las génesis de las sequías. *Cuadernos de Geografía*, 44, 139-144.
- RASO, J. M. (1982): Probabilidades de transición y distribución estacionaria de los días con y sin precipitación en Palma de Mallorca según el modelo de las cadenas de Markov para dos estados. *Tarraco*, 3, 195-209.
- SHAW, E. M. (1983): *Hydrology in Practice*. Van Nostrand Reinhold (International), Great Britain. pp. 569.