

## **CARACTERÍSTICAS DE LA SEQUÍA EN EL PIRINEO CENTRAL DESDE 1940 A TRAVÉS DEL ÍNDICE SPEI**

Javier SIGRO RODRÍGUEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Centro en Cambio Climático, Dept de Geografía, URV.*

[javier.sigro@urv.cat](mailto:javier.sigro@urv.cat)

### **RESUMEN**

Este artículo aborda la evolución de la magnitud y duración de los eventos de sequía en el Pirineo Central español a partir de 8 décadas de registros termo-pluviométricos utilizados para calcular el índice SPEI. Dicho índice se ha calculado para las escalas de agregación de 3, 6, y 12 meses, con objeto de analizar sus valores para diferentes tipos de sequía.

El análisis de las series del índice SPEI indica una tendencia al incremento en el número de eventos de sequía, que llegan a doblarse para el SPEI12 en los últimos 40 años respecto los anteriores, además de observarse en general un incremento también en la duración media de los episodios, exceptuando aquellos muy severos. La magnitud de las sequias muestra pocos cambios durante el periodo analizado, aunque en conjunto la severidad en todas las escalas del índice analizadas muestra un decidido incremento. Los episodios más intensos se localizan en 1949, 2005 y 2012, con afectación al 100 % del territorio y porcentajes de más del 50 % de las series superando el umbral de extremadamente secos.

Las tendencias de los índices son en general significativas y de signo negativo en las tres escalas, con mayores tendencias en el SPEI12, indicando un agravamiento de las condiciones de déficit hídrico que se traduce en un descenso de hasta -0,2 del valor del índice por década en el sector oriental. Estas tendencias muestran un patrón espacial en el que el valor de las mismas se incrementa de oeste a este.

**Palabras clave:** cambio climático, índice de sequia, Pirineo, tendencia climática

### **ABSTRACT**

This article deals with the evolution of the magnitude and duration of drought events in the Spanish Central Pyrenees from 8 decades of thermo-pluviometric records used to calculate the SPEI index. Said index has been calculated for the aggregation scales of 3, 6, and 12 months, in order to analyze its values for different types of drought.

The analysis of the series of the SPEI index indicates a trend towards an increase in the number of drought events, which have doubled for the SPEI12 in the last 40 years compared to the previous ones, in addition to generally observing an increase also in the average duration of drought events, except for extremely dry ones. The magnitude of the droughts shows few changes during the analyzed period, although as a whole the severity in all the index scales analyzed shows a decided increase. The most intense episodes are located in 1949, 2005 and 2012, affecting 100% of the territory and percentages of more than 50% of the series exceeding the extremely dry threshold. The trends of the indices are generally significant and have a negative sign for the three scales, with greater trends in the SPEI12, indicating a worsening of the water

deficit conditions that translates into a decrease of up to -0.2 of the value of the index per decade in the eastern sector. These trends show a spatial pattern in which their value increases from west to east.

**Key words:** climate change, drought index, Pyrenees, climatic trend

## 1. INTRODUCCIÓN

En climas con una cierta aridez como el mediterráneo, donde la contribución de las áreas de montaña a la generación de escorrentía es notablemente superior a la proporción de superficie que ocupan, como sucede en la cuenca del río Ebro (López & Justribó, 2010), el impacto de las sequías en estas áreas de montaña repercute de forma notable sobre el conjunto del territorio. La península Ibérica en general se caracteriza por tener precipitaciones escasas y variables con recurrentes episodios de sequía, que pueden verse agravados en el futuro por una disminución de la precipitación y el aumento de las temperaturas (Hoerling et al., 2012; Vicente-Serrano et al., 2014). Las sequías son un fenómeno complejo, difícil de cuantificar, por lo que se han desarrollado herramientas sintéticas que permiten su estudio, como son los índices de sequía (van der Schrier et al., 2006).

Este artículo aborda la evolución temporal y la distribución espacial de la magnitud, duración y severidad de los eventos de sequía en el Pirineo Central español a partir del índice SPEI calculado a partir de datos climáticos de alta calidad.

## 2. MÉTODOS

En este trabajo se ha utilizado el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, del inglés Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) para analizar la magnitud y duración de los eventos de sequía en el Pirineo Central español a diferentes escalas. Los valores del índice SPEI se han calculado para las escalas de agregación de 3, 6 y 12 meses, utilizadas usualmente para caracterizar sequías de carácter agrícola e hidrológico (Domínguez-Castro et al., 2019). Para obtener los valores del índice, se ha utilizado el paquete SPEI desarrollado en R: <http://sac.csic.es/spei> (Beguería et al., 2014; Vicente-Serrano et al., 2010).

Este índice se calcula a partir de distribuciones de probabilidad de la diferencia entre la precipitación acumulada y la evapotranspiración potencial para la escala mensual que se defina.

Para calcular el índice SPEI es necesario disponer de series de datos de la precipitación acumulada y de los promedios de la temperatura mensuales. Se han utilizado series de la temperatura media diaria, la temperatura máxima diaria, la temperatura mínima diaria y de la precipitación diaria acumulada correspondientes a 15 observatorios meteorológicos controladas de calidad y de homogeneidad testada y ajustada procedentes de décadas de registros termopluviométricos integrados en la base de datos de alta calidad *Central Pyrenees data set* (Pérez-Zanón et al., 2017) correspondientes al periodo 1940-2018 (Tabla 1).

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Periodo</b>	<b>Altitud (m.)</b>	<b>Fuente original</b>
9198	Canfranc / los Arañones	1940 –2018	1160	AEMET
9201	Castiello de Jaca	1940 –2018	885	AEMET
9202	Jaca	1940 –2018	800	AEMET
9208	Aragues del Puerto	1940 –2018	1040	AEMET
9212	Anso Refugio de Lianza	1940 –2018	1340	AEMET
9446	Sallent de Gallego	1940 –2018	1285	AEMET
9838	Benasque	1940 –2018	1150	AEMET
9689	Cabdella	1910 –1997	1273	AEMET/ SMC
9704	Gavet de la Conca	1940 –2013	382	AEMET
9619	La Seu d’Urgell	1940 –2018	849	AEMET/ SMC
9635	Organya	1940 –2018	566	AEMET/ SMC
9991	Vielha	1940 –2018	1002	AEMET/ SMC
9638	Oliana	1940 –2018	490	AEMET/ SMC
9649	Baldomar (Ponts)	1940 –2018	366	AEMET/ SMC
9700	Tremp	1930 –2018	473	AEMET/ SMC
9131	Solsona	1930 –2018	691	AEMET/ SMC
9696	La Pobra de Segur	1930 –2018	508	AEMET/ SMC

*Tabla 1: Series termopluiométricas utilizadas para calcular el índice SPEI.*

*Fuente: elaboración propia.*

Existen múltiples criterios para identificar y caracterizar los eventos de sequía, en este caso hemos optado por seguir el enfoque clásico (Dracup et al., 1980) para calcular la duración, la magnitud y la severidad de los eventos de sequía. La duración se ha definido como el número de meses en que el valor del índice se mantiene por debajo de un valor umbral; la magnitud, como el promedio del valor del índice durante el evento; y la severidad como el producto de la magnitud por la duración.

La cuantificación del cambio observado en la evolución del índice SPEI se ha calculado mediante una adaptación del estimador de tendencia (Sen, 1968), basado en un test no paramétrico de Mann-Kendall para detectar la tendencia y el estimador no paramétrico de Sen para calcular la magnitud de la tendencia.

### 3. RESULTADOS

Con objeto de identificar y caracterizar los eventos de sequía, se ha fijado un umbral de valor del índice SPEI igual a -1 para reconocer el inicio de un evento seco, de -1.5 para un evento muy seco y un umbral superior a -2 para identificar el inicio de un evento extremadamente seco (Coll et al., 2017; Mckee et al., 1993).

#### 3.1. Características de los eventos secos

La Tabla 2 recoge el número promedio de eventos de sequía detectados correspondientes a eventos secos y extremadamente secos durante el conjunto del periodo (1940-2018) y para dos subperiodos diferenciados (1940-1979 y 1980-2018). En ambos tipos de eventos se detecta un mayor número en el índice menos agregado, disminuyendo cuanto más agregado es el índice, dada su menor variabilidad. Los eventos secos correspondientes al subperiodo 1940-1979 representan un 33 % (40 %) de los eventos en el SPEI12 (SPEI3), que tienden concentrarse en el subperiodo más reciente, 1980-2018, que agrupa el 67% (60%) de los casos. Si nos centramos en los eventos extremadamente secos, el 26 % se corresponde al subperiodo más antiguo y el 74 % a los últimos 40 años, concordante para los 3 escalas.

	<-1			<-2		
	SPEI 3	SPEI 6	SPEI 12	SPEI 3	SPEI 6	SPEI 12
1940-2018	72.5	49.5	32.8	8.7	8.1	4.1
1940-1979	29.3	17.5	10.9	2.3	2.1	1.1
1980-2018	43.1	31.9	21.9	6.4	6.0	3.1

*Tabla 2: Numero promedio de eventos secos (<-1) y extremadamente secos (<-2) para el periodo analizado y subperiodos en las 3 escalas analizadas del índice SPEI*

Si observamos la duración promedio de los eventos (Tabla 3) los valores promedio para todo el periodo muestran rachas promedio de 2.3, 3.4 y 5.3 meses para el SPEI3, el SPEI6 y el SPEI12 respectivamente para los eventos secos, y rachas de 1.3, 1.6 y 3.7 meses en el caso de los eventos extremadamente secos. Existen también diferencias de signo en la tendencia entre los eventos secos y los eventos extremadamente secos, En el caso de los eventos secos, Los últimos 40 años presentan un incremento en la duración de los eventos, de hasta 1.2 meses de incremento para el SPEI12, mientras que los eventos extremadamente secos muestran una disminución en su duración, de -0.2 meses en el SPEI3 a -1.6 meses en el caso del SPEI12.

	<-1			<-2		
	SPEI 3	SPEI 6	SPEI 12	SPEI 3	SPEI 6	SPEI 12
1940-2018	2.3	3.4	5.3	1.3	1.6	3.7
1940-1979	2.1	3.2	4.6	1.5	1.9	4.8
1980-2018	2.5	3.6	5.8	1.3	1.4	3.2

Tabla 3: Duración promedio de eventos secos (<-1) y extremadamente secos (<-2) para el periodo analizado y subperiodos en las 3 escalas analizadas del índice SPEI

La magnitud promedio se sitúa en -1.3 para los eventos secos en todas las escalas del índice y se mantiene constante a lo largo del periodo. Similar comportamiento se detecta en los eventos extremadamente secos, con una magnitud promedio en torno a -2.4.

Otro parámetro de los eventos de sequía en el Pirineo central que ha visto incrementado su valor es la severidad. La mayor duración de los eventos secos se refleja en un incremento en la severidad en los últimos 40 años. La severidad promedio detectada SPEI3 pasa de -3.0 en el subperiodo 1940-1979 a -3.7 en 1980-2018 (Tabla 4). De forma similar, la severidad en el SPEI6 aumenta de -4.7 a -5.3 mientras que el mayor incremento se observa en el SPEI12, que pasa de una severidad de -7.4 a -8.4.

	SPEI 3	SPEI 6	SPEI 12
1940-2018	-3.4	-5.0	-7.6
1940-1979	-3.0	-4.7	-7.4
1980-2018	-3.7	-5.3	-8.4

Tabla 4: Severidad de los eventos de sequía en el Pirineo central

### 3.2. Identificación y evolución de los eventos secos

Con objeto de identificar aquellos episodios de sequía más intensos con afectación a todo el territorio analizado, se ha calculado para cada mes el porcentaje de estaciones que muestran un valor del índice por encima de los umbrales seco, muy seco o extremadamente seco. Los resultados se muestran en la Figura 1 para el índice SPEI12, que recoge estos porcentajes en forma de columnas apiladas.

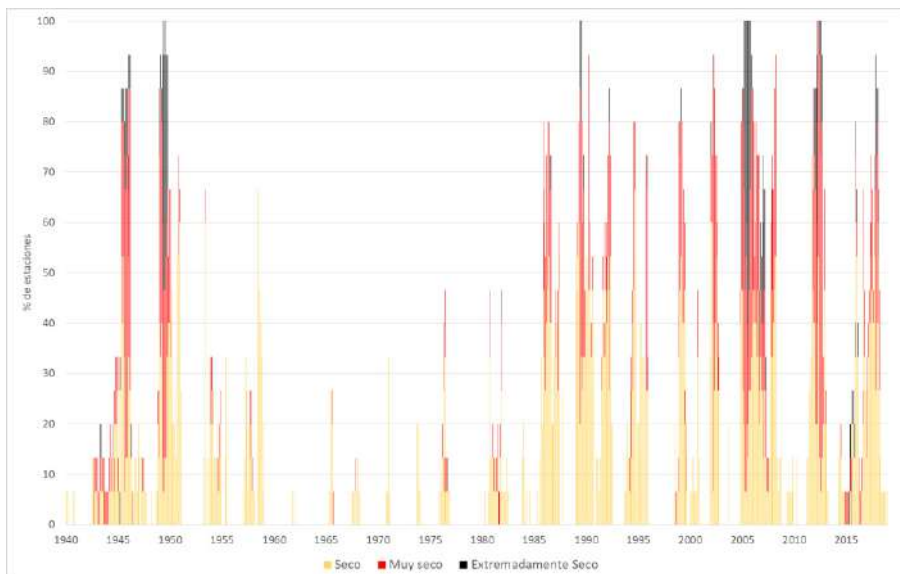


Fig. 1: Porcentaje de series del índice SPEI 12 que superan los umbrales de evento de sequía para cada mes del periodo 1940-2018

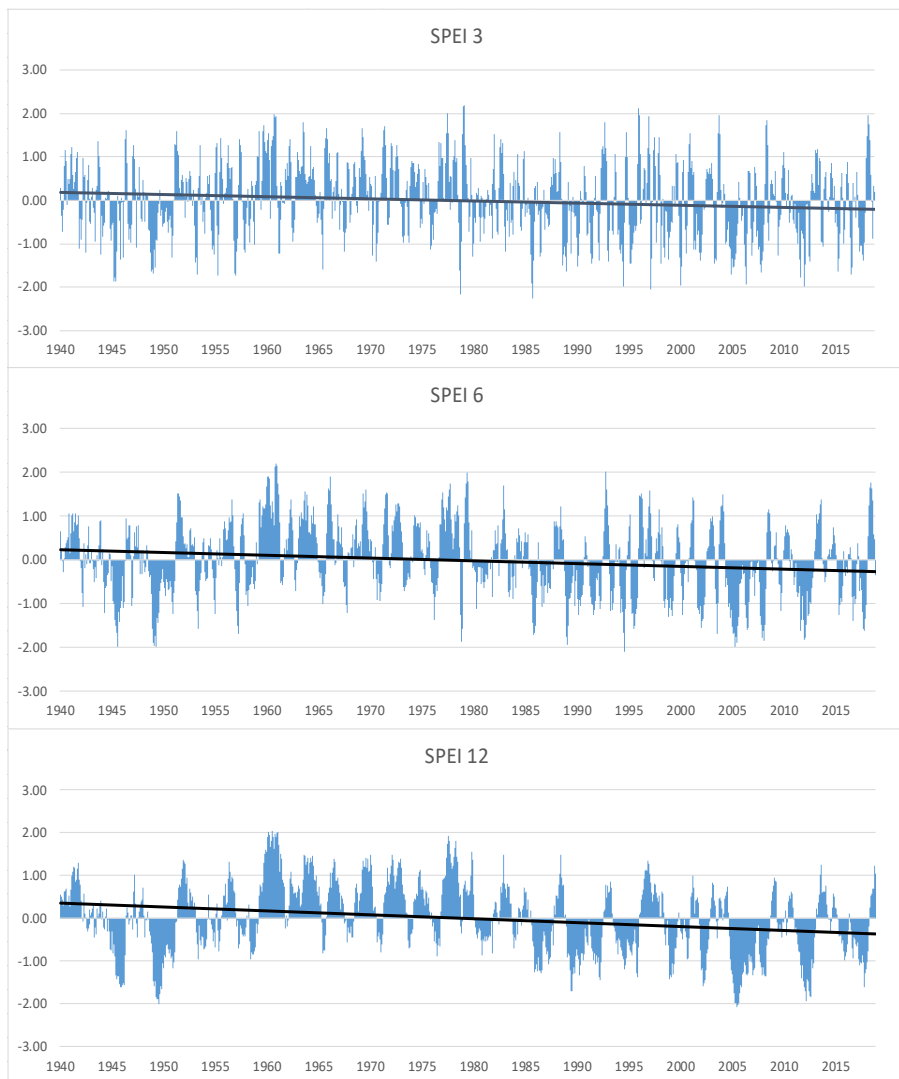
Los episodios más intensos se localizan en 2005, 1949 y 2012, con afectación al 100 % del territorio y porcentajes de más del 50 % de las series superando el umbral de extremadamente secos. El resto de episodios generalizados de sequía se circunscriben a la década de los 40 y de 1986 hasta el presente, con recurrentes episodios de mayor o menor magnitud que afectan al 80-90% del territorio, como en 1989, 1992 o 2017.

### 3.6.a. Tendencias

La mayor concentración de eventos secos en los últimos 30 años del periodo de estudio se observa claramente en la evolución de las series promedio de los 3 índices (Figura 2). En ellas se puede identificar el predominio de valores negativos en la primera década del periodo, la abundancia de valores positivos entre 1950 e inicios de la década de los 80 y la progresiva disminución de estos y el incremento de valores negativos cada vez más elevados y persistentes durante el periodo 1985-2018. Esta evolución se traduce en la presencia de tendencias significativas de signo negativo en los tres índices, de -0.05 por década para el SPEI3, -0.07 por década el SPEI6 y -0.1 por década para el SPEI12.

### 3.6.b. Tendencias. Distribución espacial

La evolución de las señales de los índices del SPEI en el conjunto del Pirineo Central puede presentar variaciones espaciales diferenciadas. Para determinar si las tendencias detectadas en el apartado anterior son representativas del conjunto del territorio, se han representado las tendencias decenales del índice a lo largo del periodo 1940-2018 para cada uno de los observatorios utilizados en el análisis. Los resultados se muestran en la Figura 3.



*Fig. 2: Valores promedio del índice SPEI3, SPEI6 y SPEI12 para el periodo 1940-2018 y líneas de tendencia*

La práctica totalidad del territorio registra tendencias negativas en los tres índices. Las tendencias son más moderadas para las series del SPEI3 y se incrementan progresivamente en el SPEI6 y el SPEI12, doblando en este último las tendencias del primero en muchos de los observatorios. Se aprecia un patrón espacial que muestra mayores tendencias negativas en el sector oriental del territorio, con valores cercanos a -0.2 para el SPEI12, mientras que en el lado occidental el descenso es más moderado, aunque significativo en todo el territorio excepto en el observatorio más al oeste, Anso.

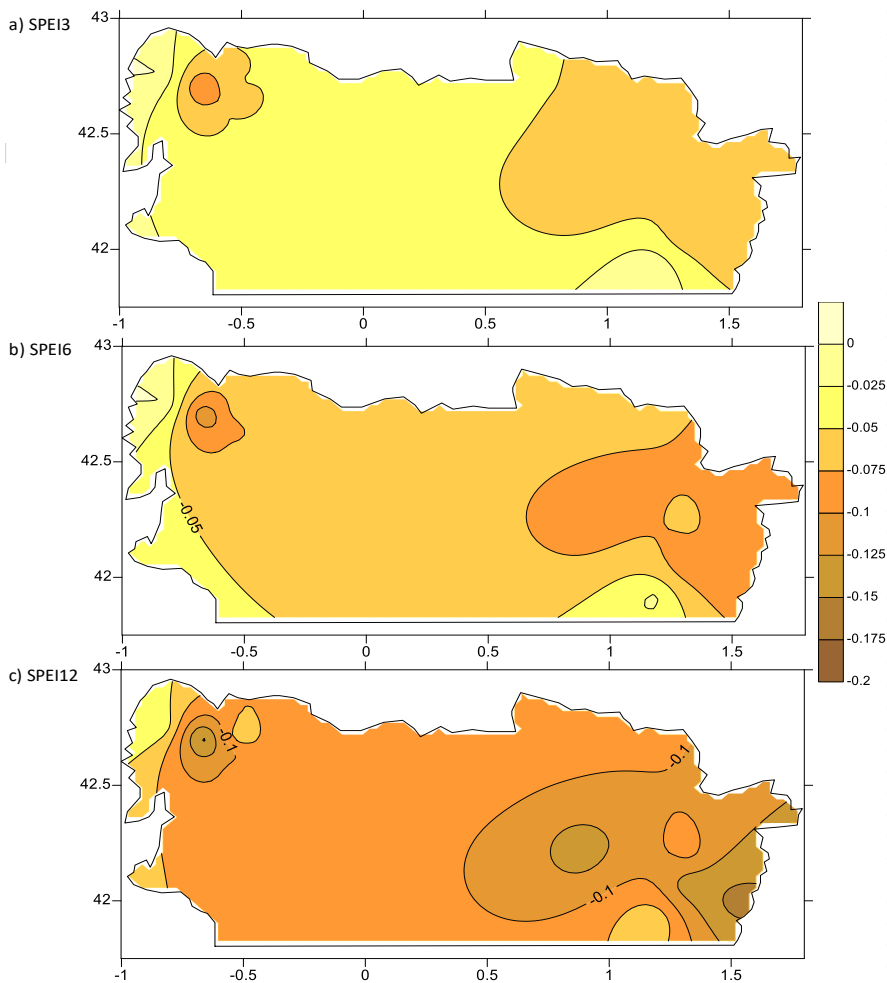


Fig. 3: Distribución espacial de las tendencias decadales de los índices a)SPEI3, b)SPEI6 y c)SPEI12 para el periodo 1940-2018

#### 4. DISCUSIÓN

El análisis de los valores del índice SPEI a partir de los datos de observatorios termopluviométricos del Pirineo Central para el periodo 1940-2018 en las escalas de 3, 6 y 12 meses ha permitido detectar 72.5 (32.8) eventos secos de promedio en las series del índice SPEI3 (SPEI12) y 9.7 (4.1) eventos extremadamente secos. La diferencia entre los índices obedece a que una sola secuencia seca en la escala de sequía hidrológica suele englobar varios episodios secos en escalas de agregación más cortas (Limonés & Pita, 2014). La frecuencia de los eventos de sequía no es contante



en el tiempo, con una frecuencia en los últimos 40 años que se dobla o se llega a triplicar en el caso de eventos extremadamente secos, respecto la primera mitad del periodo. Este hecho junto con el incremento de la duración, se traduce en un incremento en la severidad de los eventos de sequía, en línea con lo detectado a escala de la Península Ibérica y el sur de Europa (Coll et al., 2017; Vicente-Serrano et al., 2014). Esta tendencia al incremento en el número y severidad de las rachas secas se relaciona en estos territorios con un incremento en la demanda de evapotranspiración (Salinas-Sole et al., 2018) que se relaciona principalmente con el incremento de las temperaturas experimentado durante el último siglo.

Las tendencias decenales detectadas en los índices APEI en el Pirineo Central, negativas y significativas, están en consonancia con las calculadas para el noroeste peninsular, con un valor promedio de -0.10 unidades/década. Presentan una distribución espacial que está de acuerdo con el patrón de incremento de oeste a este de los valores de la tendencia de los índices identificado para el conjunto de la Península Ibérica (Coll et al., 2017; Sousa et al., 2011). También los eventos más severos se corresponden con el patrón de propagación oeste-este detectado en otros trabajos (Salinas-Sole et al., 2018).

Estos resultados confirman que la vertiente sur del Pirineo está sufriendo el mismo agravamiento en la condiciones de severidad de los episodios de sequía que el conjunto de la Península Iberica, fruto de un incremento en la frecuencia, duración y severidad de los mismos, como consecuencia del calentamiento detectado en el territorio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, proyecto LACEN-CLI (ref: 2476-S/2017) y del Ministerio de Economía, Industria y Competividad, proyecto MEROMONT (ref: CGL2017-85682-R)

## **REFERENCIAS**

- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001–3023. <https://doi.org/10.1002/JOC.3887>
- Coll, J. R., Aguilar, E., & Ashcroft, L. (2017). Drought variability and change across the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(3–4), 901–916. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1926-3>
- Domínguez-Castro, F., Vicente-Serrano, S. M., Tomás-Burguera, M., Peña-Gallardo, M., Beguiría, S., El Kenawy, A., Luna, Y., & Morata, A. (2019). High spatial resolution climatology of drought events for Spain: 1961–2014. *International Journal of Climatology*, 39(13), 5046–5062. <https://doi.org/10.1002/joc.6126>
- Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson, E. G. (1980). On the definition of droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297–302. <https://doi.org/10.1029/WR016I002P00297>
- Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T., & Pegion, P. (2012). On the increased frequency of Mediterranean drought. *J. Clim.*, 25(6), 2146–2161.

<https://doi.org/10.1175/jcli-d-11-00296.1>

Limones, N., & Pita, M. F. (2014). LA RESPUESTA DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA A LA SEQUÍA PLUVIOMÉTRICA EN LAS CUENCAS MEDITERRÁNEAS ESPAÑOLAS. In S. Fernández-Montes & F. S. Rodrigo (Eds.), *Cambio climático y cambio global* (pp. 411–424). Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A.

López, R., & Justribó, C. (2010). L'importance hydrologique de la montagne. Un cas d'étude régional: Le bassin de l'Èbre, nordest Péninsule Ibérique. *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 223–233. <https://doi.org/10.1080/02626660903546126>

Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22.

Pérez-Zanón, N., Sigró, J., & Ashcroft, L. (2017). Temperature and precipitation regional climate series over the central Pyrenees during 1910–2013. *International Journal of Climatology*, 37(4), 1922–1937. <https://doi.org/10.1002/joc.4823>

Salinas-Sole, C., Peña-Angulo, D., Gonzalez-Hidalgo, J., Vicente-Serrano, S., Tomas-Burguera, M., & Begueria, S. (2018). Análisis Espacio-Temporal De Alta Resolución De Los Episodios De Sequía En España Peninsular (1961-2014). In Juan Pedro Montávez-Gómez, J. J. Gómez-Navarro, J. M. López-Romero, L. Palacios-Peña, M. Turco, S. Jerez-Rodríguez, R. Lorente, & P. Jiménez-Guerrero (Eds.), *El Clima: Aire, Agua, Tierra y Fuego* (pp. 189–197).

Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*.

<https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>

Sousa, P. M., Trigo, R. M., Aizpurua, P., Nieto, R., Gimeno, L., & Garcia-Herrera, R. (2011). Trends and extremes of drought indices throughout the 20th century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(1), 33–51.

<https://doi.org/10.5194/NHESS-11-33-2011>

van der Schrier, G., Briffa, K. R., Jones, P. D., & Osborn, T. J. (2006). Summer Moisture Variability across Europe. *Journal of Climate*, 19(12), 2818–2834.

<https://doi.org/10.1175/JCLI3734.1>

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718.

<https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., & Espejo, F. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, 9(4), 044001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044001>