

# ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE LOS EPISODIOS DE SEQUÍA EN ESPAÑA PENINSULAR (1961-2014)

Celia SALINAS-SOLE<sup>1</sup>, Dhais PEÑA-ANGULO<sup>1</sup>, José Carlos GONZALEZ HIDALGO<sup>1</sup>, Sergio VICENTE-SERRANO<sup>2</sup>, Miquel TOMAS-BURGUERA<sup>3</sup>, Santiago BEGUERIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, España.*

<sup>2</sup>*Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Zaragoza, España.*

<sup>3</sup>*Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC), Zaragoza, España.*

[cs@unizar.es](mailto:cs@unizar.es), [dhaispa@gmail.com](mailto:dhaispa@gmail.com), [jcgh@unizar.es](mailto:jcgh@unizar.es)

## RESUMEN

En el presente trabajo se han investigado los principales eventos de sequía en España peninsular en el periodo 1961-2014 y su propagación espacial. Los eventos de sequía se han identificado mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI) cuyo cálculo se ha realiza a escala semanal a partir de los datos meteorológicos diarios facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet), en el marco del proyecto DESEMON, tras convertir los datos a una malla de alta resolución espacial (1 km<sup>2</sup>) una vez realizado un exhaustivo control de calidad. Los resultados muestran que, durante la primera mitad del período de estudio, el SPI detecta un mayor porcentaje de área afectada por sequía que EL SPEI; mientras que a partir de la década de 1990 ocurre a la inversa. Las diferencias entre las áreas detectadas por ambos índices sugieren que el efecto de la demanda atmosférica de humedad podría haber aumentado en los últimos años, sobre todo a partir de 1990. El estudio espacial de la evolución en el tiempo de los eventos de sequía que afectan a más del 25% de la España peninsular muestra la existencia de varios gradientes espaciales de propagación del fenómeno. Los dos patrones más frecuentes presentan sentido este-oeste y oeste-este, pero también se ha detectado el patrón norte -sur; no se han detectado eventos de sequía generalizados con un patrón de propagación radial desde el centro peninsular hacia la costa.

**Palabras clave:** Sequia, SPI, SPEI, España, propagación espacial

## ABSTRACT

The main focus of this research is to investigate the major drought events in Spanish mainland for the period 1961-2014, with the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). Moreover, the spatial propagation of drought conditions is also analysed from the temporal analysis of drought indices. The index was calculated on a weekly scale based on the daily meteorological data provided by the Spanish Meteorological Archives (AEMet), within the framework of the DESEMON project. The original data was converted into a high spatial resolution grid (1 km<sup>2</sup>) following exhaustive quality control. The results

show that, during the first half of the study period, the SPI detects, in Spanish mainland, a greater percentage of area affected by drought than SPEI; while from the 1990s SPEI detected a higher percentage of drought area. These results suggest that the effect of atmospheric demand for humidity could have increased in recent years, especially since 1990. Spatially, the propagation of drought events that affect more than 25% of Spanish mainland, indicates the existence of several spatial gradients of drought propagation. Mainly, east-west or west-east, but also north-south; without having detected radial patterns, which would be characterized by a shift from the centre towards the coast.

**Key words:** Drought, SPI, SPEI, Spain, Spatial propagation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las sequías son un rasgo característico del clima mediterráneo, que afectan a la España peninsular de manera negativa, tanto a los sistemas naturales como en el ámbito socioeconómico (Stahl et al. 2015, 2016; Van Loon et al. 2016). Dentro del sistema natural afecta ámbitos tan variados como la agricultura, los bosques o la frecuencia de los incendios forestales, aunque actualmente los impactos más importantes están relacionados con la dimensión hidrológica que puede causar una gran pérdida en la agricultura de regadío, una reducción en la producción de energía hidroeléctrica o causar problemas a la industria y al suministro de agua (Jerez et al. 2013; Lorenzo-Lacruz et al. 2010, 2013).

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).

En este trabajo se analiza, desde el punto de vista temporal y espacial, los principales episodios de sequías ocurridos en la España peninsular, a partir de los dos índices de sequías más recomendados (WMO, 2012): el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI).

## 2. MÉTODOS

El análisis de sequías en el territorio peninsular español se ha efectuado por medio de los índices SPI y SPEI calculados sobre una malla de resolución espacial de 1km<sup>2</sup> y una resolución temporal semanal durante el periodo 1961-2014. La escala temporal elegida para realizar el análisis es de 12 meses. El desarrollo de esta malla de alta resolución espacial y temporal, para la obtención de ambos índices de sequía, forma parte del proyecto DESEMON.

La malla ha sido generada a partir de la información original digitalizada en los archivos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet), que incluyen datos de precipitación, temperatura del aire, humedad relativa, horas de sol y velocidad del viento, datos necesarios para calcular la demanda atmosférica potencial o AED (Allen et al. 1998). Los detalles del procesamiento de los datos, la creación de la malla y el cálculo de los índices de sequía están recogidos en Vicente-Serrano et al. (2017) y la información puede verse representada en <http://monitordesequia.csic.es>.

La diferencia entre los índices de sequías aplicados en este estudio, SPI y SPEI, es que el segundo tiene en cuenta la demanda evaporativa de la atmósfera, por lo que la comparación de ambos índices podría aportar información acerca de la importancia que tiene la evapotranspiración en la severidad de las sequías.

Los episodios de sequía fueron identificados por cumplirse los siguientes criterios:

- Superación del umbral de -1,28 en ambos índices, correspondiente al periodo de retorno de 10 años;
- Mantener la condición anterior al menos 3 semanas;
- El área afectada por el umbral del índice de sequía -1,28 superó el 25% del total del territorio peninsular español.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Detección de episodios y comparación de índices

Durante el periodo analizado (1961-2014) se han identificado 15 episodios de sequía generalizada en el territorio peninsular (Tabla 1), de acuerdo a los criterios establecidos en el apartado anterior.

Evento	Propagación	Periodo SPEI	Duración (semanas)	Periodo SPI	Duración (semanas)
1	W/E	1965-Jun-3 1965-Sep-4	14	1965-Jul-2 1965-Sep-3	10
2	E/W	1970-Dec-4 1971-Apr-2	15	1971-Jan-1 1971-Apr-1	13
3	W/E	1981-Feb-3 1981-March-4	6	1981-Feb-3 1981-Dec-3	8+8+6+10
4	W/E	1981-Nov-1 1981-Dec-3	7		
5	E/W	1983-Oct-3 1983-Dec-3	4 + 3	1983-Sep-4 1983-Dec-2	11
6	E/W	1986-May-3 1986-Sep-2	16	1986-Jan-3 1986-Sep-1	15
7	N/S	1989-Jun-3 1989-Nov-3	21	1989-Jun-2 1989-Nov-2	13+7
8	W/E	1992-Feb-1 1992-Jun-2	18	1992-Feb-1 1992-Jun-2	18
9	E/W	1994-Jan-3 1995-Dec-4	74	1994-Jan-1 1995-Dec-3	75
10	E/W	1999-Feb-1 1999-Feb-4	4	1999-Jan-4 1999-Oct-2	6+3+21
11	E/W	1999-Apr-2 1999-Oct-2	2+21		
12	E/W	2002-Feb-4 2002-May-3	6+5	2002-Feb-4 2002-May-4	13
13	W/E	2005-March-4 2006-Jun-1	53+3	2005-Apr-2 2006-May-2	45

14	W/E	2009-Oct-2 2009-Dec-3	10		
15	N/S/NW/SE	2012-Feb-3 2012-Dec-4	32+4+2	2012-March-2 2012-Sep-3	4+1+1+16

Tabla 1: Principales eventos de sequía severa en la España peninsular (1961-2014).

En general se pueden observar diferencias entre los dos índices en cuanto a la semana de inicio y de fin de la sequía, así como su duración, e incluso hay tres episodios que no cumplen con los requisitos para el SPI. Además, es posible observar diferencias en la evolución de las áreas afectadas según ambos índices, SPEI (Fig. 1a) y SPI (Fig. 1b) por encima y debajo del umbral de  $-1,28$ .

En la escala de estudio (12 meses) se identifican varios periodos de sequía con más de un 25% del territorio afectado (véase Tabla 1) pero también se observa diferencia en el comportamiento entre ambos índices especialmente a partir de 1990, que es cuando el índice SPEI detecta progresivamente episodios de sequía más largos y más severos que el SPI, lo que se sugiere que el aumento de episodios de sequía en la península puede estar condicionado por el papel de la evapotranspiración. En la Fig 1, se puede observar, que el porcentaje de área afectada por sequía severa es superior en el SPEI (Fig. 1a) que en el SPI (Fig. 1b).

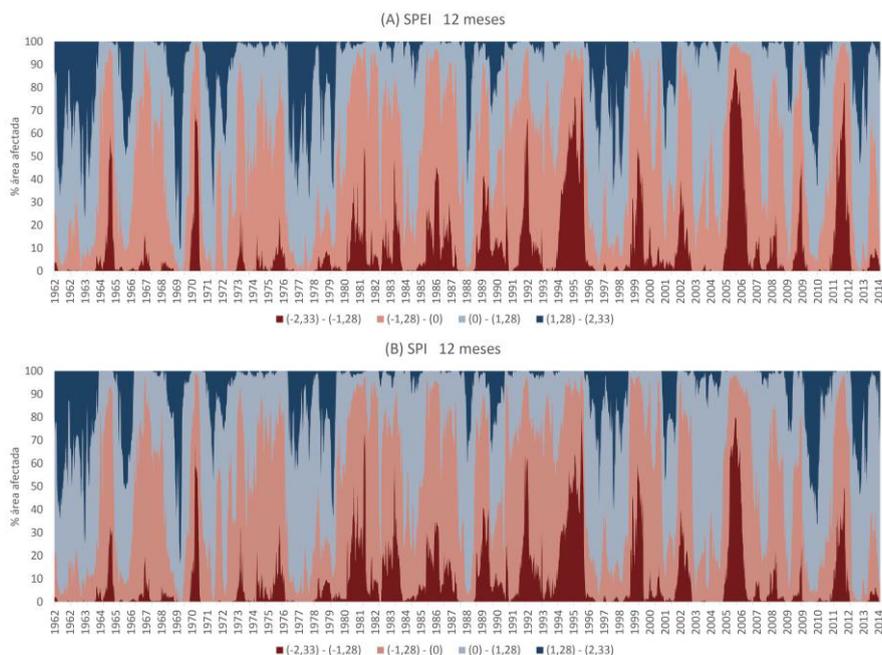


Fig. 1: Porcentaje de área en la España peninsular afectada por sequía severa según el umbral  $-1,28$  del índice SPEI(A) y SPI (B). Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Gradientes espaciales de propagación

La evolución espacial de los episodios generalizados de sequía se ha estudiado mediante la secuencia cartográfica de las semanas en los episodios señalados en la Tabla 1, de los que mostraremos tres ejemplos. En el primer ejemplo (Fig. 2), con gradiente Norte-Sur, la sequía comienza al norte de España, y posteriormente se va desplazando hasta alcanzar, prácticamente todo el territorio, menos el sureste peninsular. En el segundo ejemplo (Fig. 3), con gradiente, Oeste-Este, comienza en la margen oeste de la España peninsular y termina cubriendo todo el territorio. El último ejemplo (Fig. 4), con gradiente Este-Oeste, la sequía comienza en el mediterráneo español, y avanza hasta Portugal, abarcando todo el territorio, menos el noroeste español.

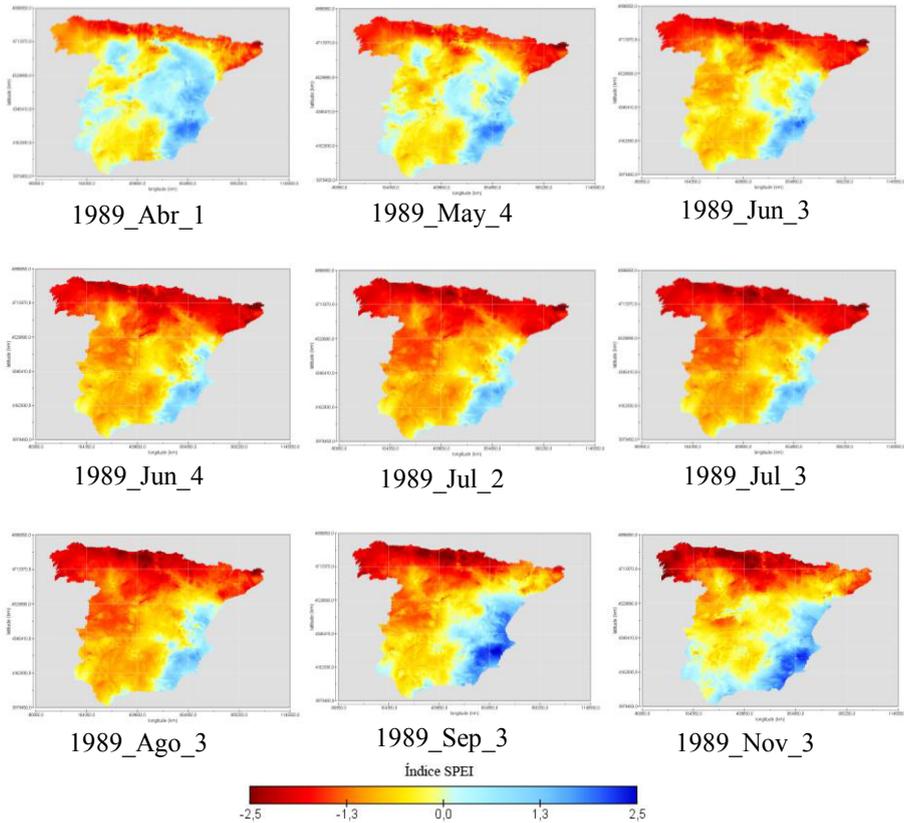
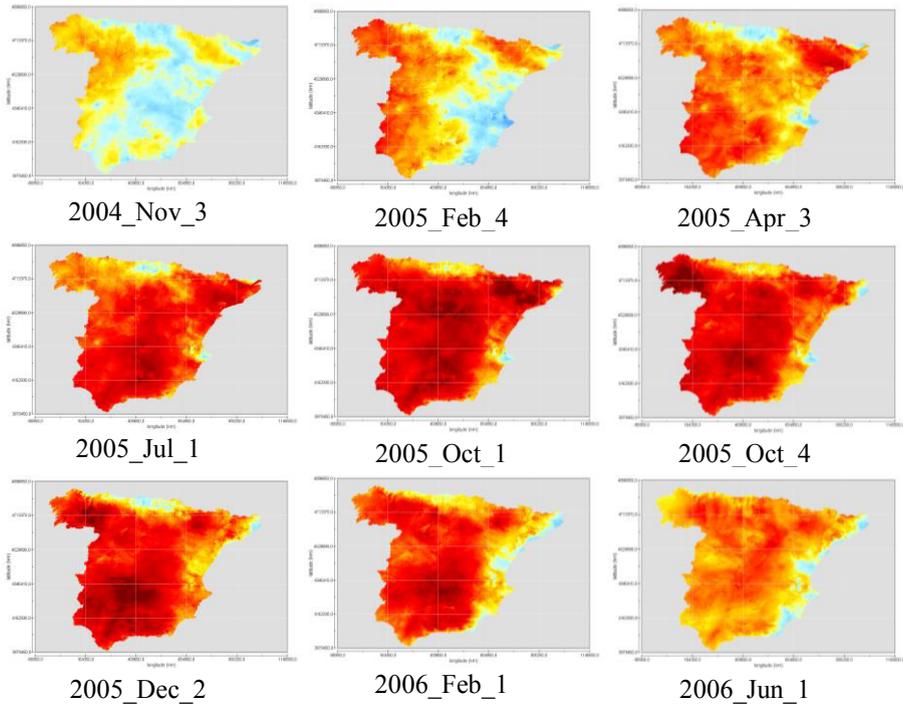
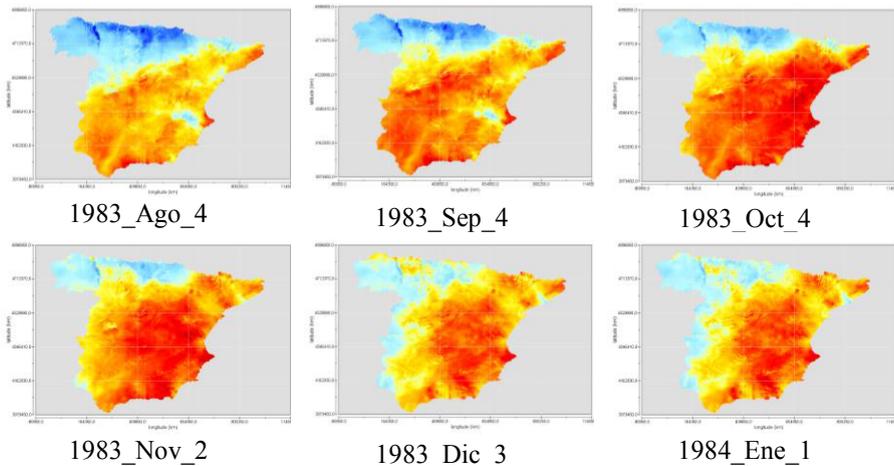


Fig. 2: Gradiente N-S, Episodio 7, desde la semana 3-Junio-1989 hasta la semana 3-Noviembre-1989. Fuente: Elaboración propia.



*Fig. 3: Gradiente W-E, Episodio 13, desde la semana 4-Marzo-2005 hasta la semana 1-Junio-2006. Fuente: Elaboración propia.*



*Fig. 4: Gradiente E-W, Episodio 5, desde la semana 3-October-1983 hasta la semana 3-Diciembre-1983. Fuente: Elaboración propia.*

#### 4. DISCUSIÓN

La diferente naturaleza de los indicadores de sequía empleados en el presente estudio sugiere, que ante el aumento de temperaturas registrado en el periodo y área de estudio, el suministro de agua a la atmósfera, no ha sido el suficiente para hacer frente a la demanda atmosférica potencial (Vicente-Serrano et al. 2014). Este patrón ha sido observado en otras partes del mundo como China (Yu et al, 2014), Europa (Potop et al, 2014) o Bolivia (Vicente-Serrano et al, 2015) y pone de manifiesto la dificultad de la detección del fenómeno en caso de no contar con información que permita estimar la demanda atmosférica de agua. Del mismo modo, los resultados sugieren que la sequía no solo dependería de la evolución de las precipitaciones (que en el área analizada no presenta tendencia significativa), sino de la combinación del balance entre aportes y pérdidas a la atmósfera.

De particular relevancia parece ser la detección de patrones espaciales de propagación. En el territorio peninsular español encontramos tres gradientes diferentes que podrían estar relacionados con varios factores que controlan las sequías. Algunos autores han sugerido que la evolución de las temperaturas y la precipitación está vinculada a factores globales y locales (González-Hidalgo et al. 2011, 2017) entre los cuales se encuentran los diferentes mecanismos de circulación atmosférica según el hemisferio, o factores de carácter más local como los cambios de uso del suelo. Pero de lo que parece no haber duda es que los principales eventos de sequía en la Península Ibérica siguen la dirección costa-interior, algo que puede estar relacionado con cambios de las principales fuentes de humedad de las masas de agua del atlántico o del mediterráneo (Gimeno et al. 2010), y una vez declarado el evento de sequía, su propagación posterior está condicionada por el relieve. Así en el caso de la propagación oeste-este las montañas actúan como una frontera que separa el territorio centro-oeste, bajo condiciones de sequía, de la zona costera mediterránea que puede incluso estar en condiciones húmedas. Esta situación se asemeja a la distribución espacial de los efectos de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) sobre temperatura y precipitaciones, sobre todo en invierno, y alude a la ausencia de transferencias de vapor de agua atlánticas. Por otro lado en la propagación espacial este-oeste ocurre exactamente lo mismo que en el caso anterior pero en dirección opuesta, y quizá sugiera una relación con la la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) aún por estudiar.

Para concluir, los análisis de alta resolución espacial y temporal de ambos índices de sequía, en la España peninsular, indican la extrema complejidad del fenómeno, la necesidad de más investigación y la cautela al extrapolar de las conclusiones generales.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España, Proyecto DESEMON (CGL2014-52135-C3-3-R), el proyecto CLICES (CGL2017-83866-C3-1-R). Gobierno Regional de Aragón DGA-FSE (Grupo de Investigación Consolidado “Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales”). Celia Salinas-Solé es becaria de doctorado del Programa FPI del Ministerio de Ciencia e Innovación. Miquel Tomas-Burguera es becario de doctorado del Programa FPU

2013 del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Datos climáticos originales cedidos por AEMet.

## REFERENCIAS

- Allen, R.G; Pereira, L.S; Raes, D; Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements, FAO irrigation and drainage paper, 56, Roma.
- Gimeno, L; Nieto, R; Trigo, R.M; Vicente-Serrano, S.M; López-Moreno, J.I. (2010). Where does the Iberian Peninsula moisture come from? An answer based on a Lagrangian approach. *Journal of Hydrometeorology*, 11 (2), 421–436. Doi:10.1175/2009JHM1182.1
- Gonzalez-Hidalgo, J.C; Brunetti, M; de Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (Monthly precipitation trends December 1945–November 2005). *International Journal of Climatology*, 31 (5), 715–731. Doi: 10.1002/joc.2115.
- Gonzalez-Hidalgo, J.C; Peña-Angulo, D; Salinas-Solé, C; Brunetti, M. (2017). A moving windows visual approach to analyze spatial variation of temperature trends in Spanish mainland 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 34 (4), 1678-1691. Doi:10.1002/joc.5288.
- Jerez, S; Trigo, R.M; Vicente-Serrano, S.M; Pozo-Vazquez, D; Lorente-Plazas, R; Lorenzo-Lacruz, J; Santos-Alamillos, F; Montavez, J.P. (2013). The impact of the North Atlantic Oscillation on renewable energy resources in Southwestern Europe. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52 (10), 2204–2225.
- Lorenzo-Lacruz, J; Vicente-Serrano, S.M; Lopez-Moreno, J.I; Begueria, S; Garcia-Ruiz, J.M; Cuadrat, J.M. (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain). *Journal of Hydrology*, 386 (1-4), 13–26
- Lorenzo-Lacruz, J; Vicente, S; Gonzalez-Hidalgo, J.C; Lopez-Moreno, J.I; Cortesi, N. (2013). Hydrological drought response to meteorological drought in the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 58 (2) 117–131.
- Potop, V; Boroneanț, C; Možný, M; Štěpánek, P; Skalák, P. (2014). Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology* 115 (3-4), 563-581.
- Stahl, K; Kohn, I; De Stefano, L. et al. (2015). An impact perspective on pan-European drought sensitivity. In: *Drought: Research and Science-Policy Interfacing - Proceedings of the International Conference on Drought: Research and Science-Policy Interfacing*. ISBN 9781138027794. 329 - 334.
- Stahl, K; Kohn, I; Blauhut, V. et al. (2016). Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 801–819. Doi: 10.5194/nhess-16-801-2016.
- Van Loon, AF; Gleeson, T; Clark, J. et al. (2016). Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience*, 9 (2), 89–91. DOI: 10.1038/ngeo2646.

- Van der Schrier, G; Briffa, K.R; Jones, P.D; Osborn, T.J. (2006). Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*, 19 (2), 2818–2834. Doi: 10.1175/JCLI3734.1.
- Vicente-Serrano, S.M; Azorin-Molina, C; Sanchez-Lorenzo, A. et al. (2014). Sensitivity of reference evapotranspiration to changes in meteorological parameters in Spain (1961–2011). *Water Resources Research*, 50 (11), 8458–8480. Doi: 10.1002/2014WR015427.
- Vicente-Serrano, S.M; Chura, O; López-Moreno, J.I; Azorín-Molina, C; Sánchez-Lorenzo, A; Aguilar, E; Morán-Tejeda, E; Trujillo, F; Martínez, R; Nieto, J.J. (2015). Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955-2012. *International Journal of Climatology*, 35 (10), 3024-3040. Doi: 10.1002/joc.4190.
- Vicente-Serrano, S.M; Tomas-Burguera, M; Beguería, S. et al. (2017). A high resolution dataset of drought indices for Spain. *Data*, 2 (3), 22. Doi: 10.3390/data2030022.
- World Meteorological Organization. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide* (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva.
- Yu, M; Li, Q; Hayes, M.J; Svoboda, M.D; Heim, R.R. (2014). Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951-2010?. *International Journal of Climatology* 34 (3), 545-558. Doi: 10.1002/joc.3701.