

## EVALUACIÓN DE SEQUÍAS ESTACIONALES PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA MEDIANTE LOS ÍNDICES SPEI Y SPAEI

Patricio YESTE DONAIRE, Matilde GARCÍA-VALDECASAS OJEDA, Emilio ROMERO JIMÉNEZ, Sonia Raquel GÁMIZ-FORTIS, Yolanda CASTRO-DÍEZ, María Jesús ESTEBAN-PARRA

*Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada.*

**pyeste@ugr.es**

### RESUMEN

El índice estandarizado de precipitación evapotranspiración (SPEI) y el índice estandarizado de evapotranspiración real (SPA EI) son dos índices que permiten la caracterización de la variabilidad espaciotemporal en una región dada en base a valores de evapotranspiración potencial (PET) y evapotranspiración real ( $ET_r$ ), respectivamente. Para obtener las variables necesarias para calcular índices de sequía, el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) fue primero aplicado sobre el dominio espacial de la Península Ibérica (PI). WRF fue conducido por las salidas corregidas en sesgo del modelo climático global MPI-ESM-LR para el periodo 1980-2014. Posteriormente, el modelo Variable Infiltration Capacity (VIC) se forzó con las salidas de WRF. El SPEI y el SPA EI fueron entonces calculados a partir de la PET y la  $ET_r$  previamente simuladas. Los resultados de este trabajo demuestran que las mayores similitudes y las mayores diferencias entre el SPEI y el SPA EI se producen en las estaciones de invierno y verano, respectivamente, como consecuencia de los ciclos anuales de ETP y  $ET_r$ . En otoño y en primavera la situación es intermedia y depende de la región de estudio analizada.

**Palabras clave:** Sequías, SPEI, SPA EI, ETP,  $ET_r$ , WRF, VIC, Península Ibérica.

### ABSTRACT

The standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) and the Standardized Actual Evapotranspiration Index (SPA EI) are two drought indices that allow the characterization of the drought spatio-temporal variability in a given region, on the basis of the potential evapotranspiration (PET) and the actual evapotranspiration (AET), respectively. In order to obtain the necessary variables for computing these drought indices, the Weather Research and Forecasting (WRF) model was first applied over spatial domain of the Iberian Peninsula (IP) domain. The WRF model was driven by the bias-corrected MPI-ESM-LR global climate model for the period 1980-2014. Subsequently, the Variable Infiltration Capacity (VIC) model was forced with the WRF outputs. The SPEI and SPA EI were then calculated from the PET and AET time series previously simulated. The results of this work show that the greatest similarities and the greatest differences between the SPEI and the SPA EI occur in winter and summer, respectively, due to the annual cycles of PET and AET. In spring and autumn the situation is intermediate and depends on the study region analyzed.

**Key Words:** Droughts, SPEI, SPAEI, PET, AET, WRF, VIC, Iberian Peninsula

## 1. INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración es un fenómeno físico consistente en la transformación del agua líquida almacenada en una determinada masa de agua o en un suelo con vegetación en vapor de agua (Maidment., 1993). Se trata de la conjunción de dos procesos: la evaporación del agua y la transpiración realizada por la vegetación. Existen dos medidas de la evapotranspiración que son de interés en clima e hidrología (Beven, 2012): la evapotranspiración potencial (ETP) y la evapotranspiración real ( $ET_r$ ). Mientras que la primera consiste en una demanda atmosférica teórica de vapor de agua, la segunda es la evapotranspiración que efectivamente tiene lugar como consecuencia de la disponibilidad de agua susceptible de evapotranspirar. La Fig. 1 muestra un ciclo anual típico de ambas variables junto con el ciclo anual correspondiente a la precipitación (P). Los meses de invierno se caracterizan por presentar valores de ETP reducidos, y en los que la  $ET_r$  se ajusta al nivel teórico marcado por la ETP, dado que la disponibilidad de agua es suficiente como consecuencia de la precipitación. La situación en verano es un tanto diferente, pues los elevados valores de ETP y la baja disponibilidad de agua van a hacer que la  $ET_r$  se ajuste más a los valores típicos de precipitación en esta estación. En cuanto a los meses de otoño y primavera, la situación es intermedia con respecto al invierno y al verano.

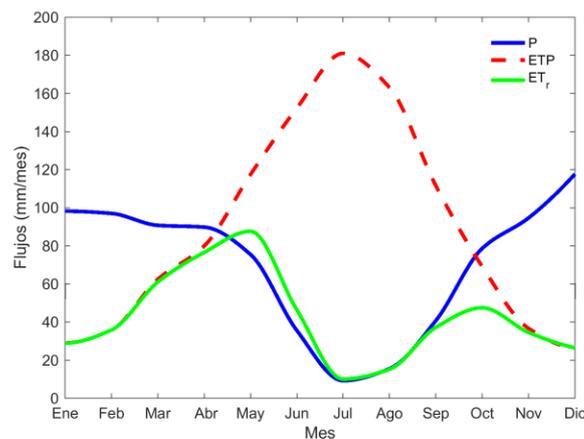


Fig 1: Ciclos anuales de ETP,  $ET_r$  y P.

Por su parte, la sequía se entiende como la ausencia de precipitación en un periodo prolongado de tiempo. En la ocurrencia de este tipo de fenómeno extremo entran en juego diferentes variables, haciendo que las sequías sean complejas en su naturaleza y por tanto difíciles de definir (McKee et al, 1993). En los últimos años muchos estudios han hecho uso de los llamados índices de sequía para caracterizar la variabilidad espaciotemporal de la sequía, sin embargo, ninguno de estos índices caracteriza este tipo de fenómeno mejor que los demás en general. El índice

estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI, Vicente-Serrano et al., 2010) ha sido muy utilizado en la detección y análisis de eventos de sequía. El índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración real (SPAEl, Homdee et al., 2016) es idéntico al anterior pero se basa en la  $ET_r$  para su cálculo.

En este estudio se han aplicado el SPEI y el SPAEl a las salidas del modelo hidrológico Variable Infiltration Capacity (VIC) para el dominio espacial de la Península Ibérica (PI). El objetivo del trabajo ha consistido en evaluar a través de ambos índices si los ciclos anuales de ETP y  $ET_r$  (Fig. 1) quedan reflejados cuando estos son calculados estacionalmente.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Índices de sequía

El SPEI y el SPAEl poseen el mismo procedimiento de cálculo y se basan en el ajuste a una función de distribución de un balance de agua. Por un lado, el SPEI usa un “balance simple de agua” ( $B_p$ ) que no es más que la diferencia entre la precipitación y la PET. Por otro lado, el SPAEl aplica un balance de agua,  $B_r$ , que es la diferencia entre precipitación y  $ET_r$ .

Ambos índices de sequía se calcularon a partir de los valores mensuales de precipitación, PET y  $ET_r$  obtenidos de la simulación del modelo hidrológico VIC, explicado en el apartado siguiente. Con el objetivo de analizar la habilidad de ambos índices para detectar eventos de sequía, tanto anual como estacional, los índices se calcularon usando dos escalas de tiempo, las escalas de 3 y 12 meses. Para dicho cálculo se usó el paquete R SPEI desarrollado por Beguería y Vicente-Serrano (2013), utilizándose la distribución log-logística para el ajuste de los distintos balances de agua ( $B_p$  y  $B_r$ ), que es la función de distribución recomendada por los autores de ambos índices. Además, mediante el uso de una misma función de distribución para el cálculo de ambos índices aseguramos que las diferencias entre los índices no se deban al método de ajuste utilizado.

### 2.2. Modelización hidrológica

El modelo VIC (Liang et al., 1994, 1996) es un modelo hidrológico semi-distribuido que calcula tanto el balance de agua como el balance de energía para a nivel de celda de rejilla. La evapotranspiración potencial es calculada mediante la formulación de Penman-Monteih (Allen et al., 1998). Por su parte, la  $ET_r$  es descompuesta internamente en tres componentes: (1) evaporación desde la cubierta vegetal; (2) transpiración, y (3) evaporación desde el suelo desnudo.

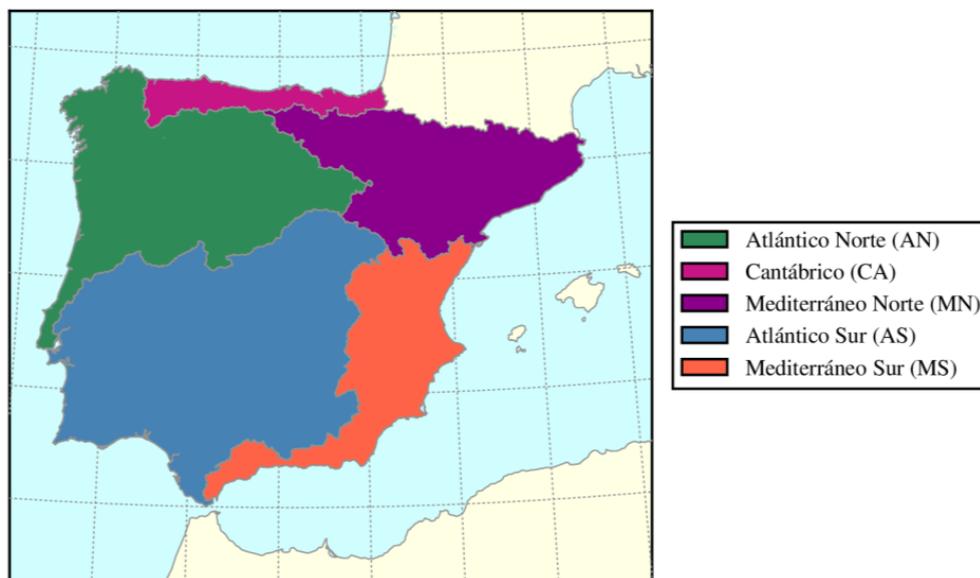
Los forzamientos meteorológicos para la modelación hidrológica han sido obtenidos de simulaciones de alta resolución ( $0.088^\circ$ ) llevadas a cabo con el modelo Weather and Research Forecasting (WRF, Skamarok et al., 2008) conducidas por el modelo climático global MPI-ESM-LR, el cual fue previamente corregido de sesgos sistemáticos (García-Valdecasas Ojeda, 2018), para el período 1980-2014.

### 2.3. Evaluación estadística

La evaluación se ha basado en el análisis de la evolución temporal de los índices en cada una de las 5 regiones consideradas en este estudio, siendo estas el resultado de

agregar las diferentes cuencas de la PI; la vertiente Atlántica Norte, la Cantábrica, Mediterránea Norte, Atlántica Sur y Mediterránea Sur (Fig. 2). Así, la evolución temporal de cada índice se calculó como el promedio espacial de todos los puntos de *grid* contenidos en cada una de dichas cuencas.

El estudio se ha realizado considerando valores estacionales, entendiéndose como tales a los valores de los índices calculados a 3 meses para febrero, mayo, agosto y noviembre para invierno (DJF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON), respectivamente. Adicionalmente, la evaluación a escala anual se examinó a partir de los valores de los índices a 12 meses de escala de tiempo para noviembre de cada año. Además, con el propósito de cuantificar el grado de similitud entre ambos índices se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las series temporales del SPEI y el SPAEI para cada una de las cuencas, siendo evaluada su significación según el t-test evaluado al nivel de confianza del 95%.



*Fig- 2: Regiones de la PI utilizadas en este análisis: Atlántico Norte (AN), Cantábrico (CA), Mediterráneo Norte (MN), Atlántico Sur (AS) y Mediterráneo Sur (MS).*

### 3. RESULTADOS

La Fig. 3 y la Fig. 4 muestran los resultados de los índices de sequía estacionales para invierno y verano, y para otoño y primavera, respectivamente. Como se puede apreciar, los valores obtenidos para la estación de invierno son muy similares en las cinco agregaciones espaciales llevadas a cabo. Esta similitud responde al comportamiento de los ciclos anuales de la ETP y la  $ET_r$ , pues en invierno la  $ET_r$  no está limitada por la disponibilidad de agua (las precipitaciones son abundantes), y por tanto sus valores van a coincidir con el límite teórico fijado por la ETP.

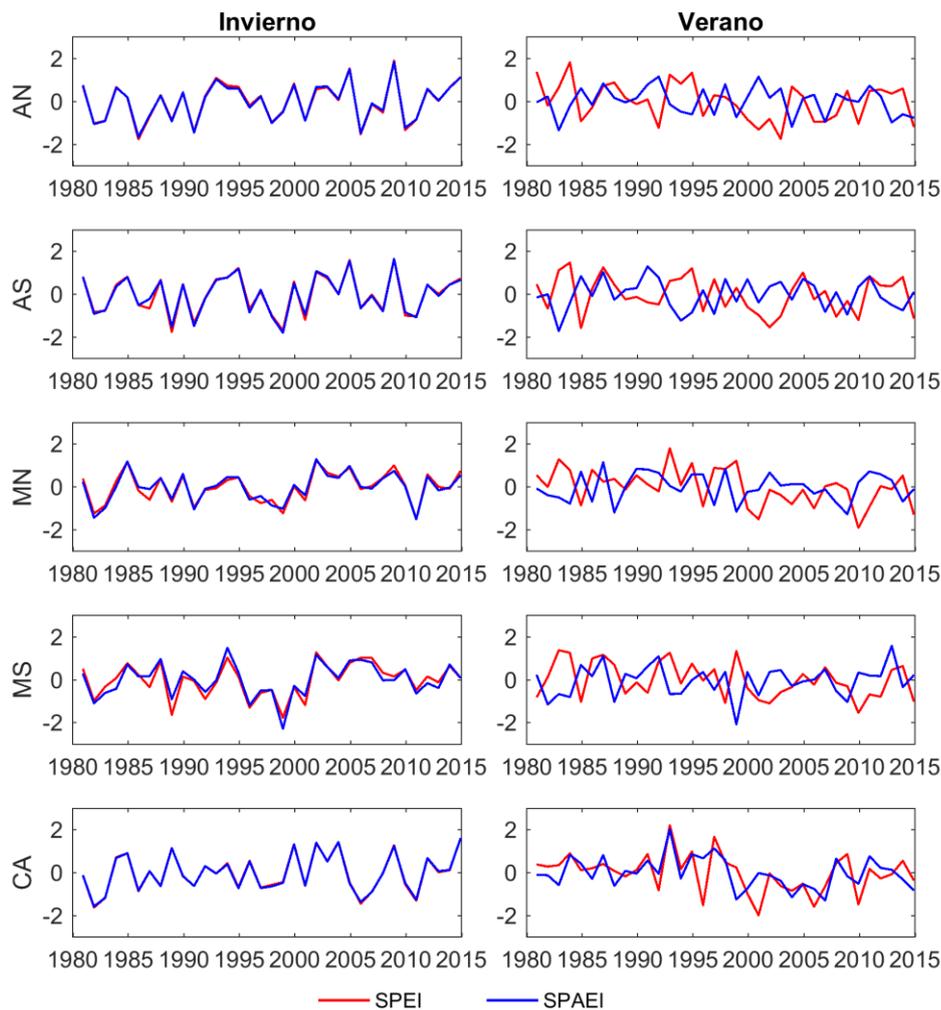


Fig. 3: Valores del SPEI y del SPA EI para invierno y verano promediados en las cinco regiones de estudio.

Los resultados de ambos índices para verano, sin embargo, muestran un comportamiento diferente generalizado en las 5 regiones de estudio. Era de esperar que esto ocurriera teniendo en cuenta que en verano la ETP presenta valores máximos muy por encima de la disponibilidad de agua. Esta última viene marcada por las escasas precipitaciones propias de esta estación, de manera que los valores de  $ET_r$  van a ajustarse a los de precipitación en los meses de verano.

En otoño y en primavera (Fig. 4) los resultados se encuentran en una situación intermedia y dependen de la región de estudio analizada. Cabe destacar el caso de la región CA, pues en otoño y en primavera, al igual que ocurría en invierno, los valores del SPEI y del SPA EI son prácticamente idénticos. En el resto de regiones comienzan a aparecer ciertas diferencias entre los índices como consecuencia de nuevo de los ciclos anuales de ETP y  $ET_r$ .

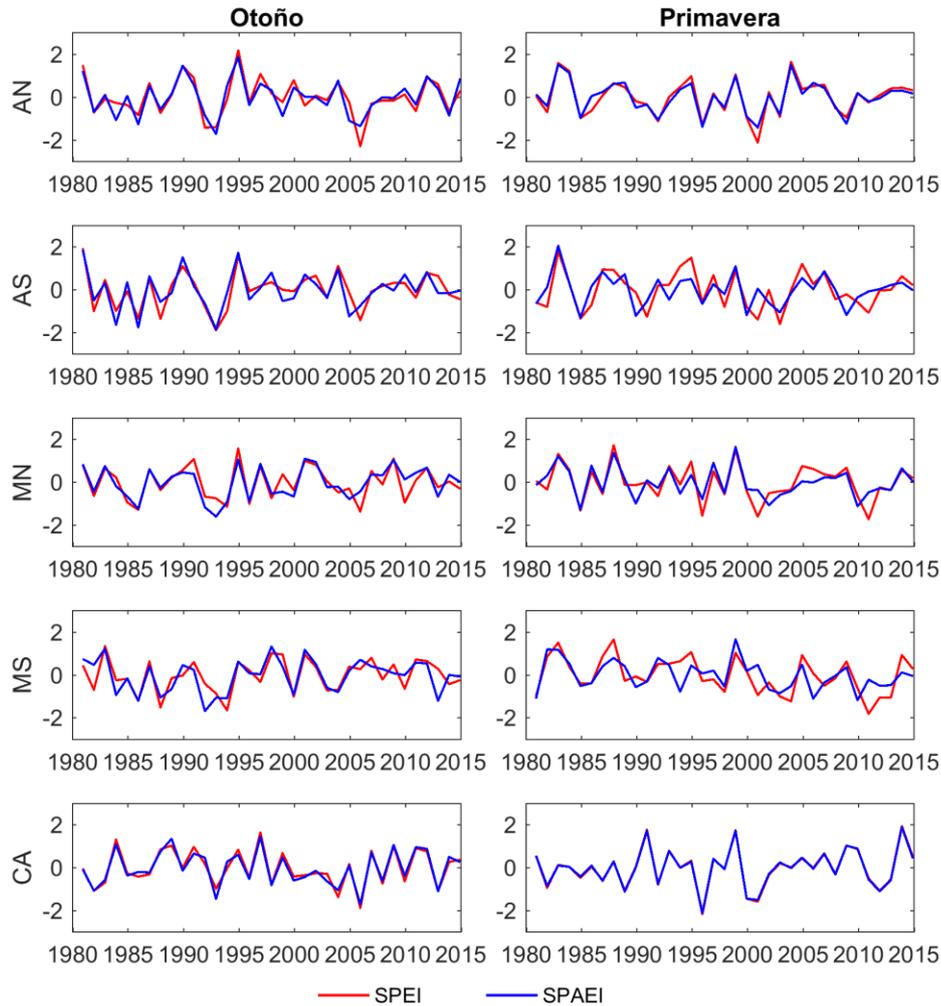


Fig. 4: Valores del SPEI y del SPAEI para otoño y primavera promediados en las cinco regiones de estudio.

La Tabla 1 muestra los coeficientes de correlación entre ambos índices, indicándose que, en general, la mayor similitud entre índices se da en invierno así como las diferencias más marcadas ocurren en verano, presentando incluso correlaciones significativas negativas para las regiones AN, AS y MS. La región CA es la que muestra una evolución entre ambos índices más similar para todas las estaciones del año, con valores de correlación positivos en todo caso ( $r$  entre 0.580 y 0.999), sugiriendo que los ciclos anuales de PET y  $ET_r$  son más similares. En contraposición, la cuenca MS presenta los valores de  $r$  más bajos excepto en verano ( $r$  entre -0.228 y 0.937), indicando una mayor diferencia entre la evolución de ambos índices a lo largo del periodo de estudio y en consecuencia entre PET y  $ET_r$  para esta región.

	AN	CA	MN	AS	MS
DJF	0.998	0.999	0.970	0.992	0.937
MAM	0.964	0.999	0.821	0.724	0.667
JJA	-0.338	0.580	-0.226	-0.425	-0.288
SON	0.893	0.970	0.842	0.869	0.770

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) entre la evolución temporal del SPEI y el SPAEI para las diferentes regiones analizadas (AN, CA, MN, AS y MS).

En rojo se indica las correlaciones no significativas según el  $t$ -test al 95% de confianza.

#### 4. CONCLUSIONES

Los ciclos anuales de ETP y  $ET_r$  presentan comportamientos muy marcados en los que las  $ET_r$  se ajusta al límite teórico marcado por la ETP en los meses más fríos, particularmente en invierno, mientras que en verano se ajusta a la disponibilidad de agua dada por las escasas precipitaciones propias de estos meses. Los valores de ETP y  $ET_r$  calculados con el modelo VIC han sido empleados para calcular el SPEI y el SPAEI con objeto de investigar si el comportamiento de los ciclos de ETP y  $ET_r$  también se ven reflejados en ellos, pudiendo extraer las siguientes conclusiones:

[1] El SPEI y el SPAEI muestran en las estaciones de invierno y verano los valores más parecidos y más diferentes, respectivamente. En los meses de invierno la similitud entre ambos índices viene dada por la similitud de las curvas de ETP y  $ET_r$ , alcanzándose los valores del coeficiente de correlación de Pearson más elevados en todas las regiones de estudio. En verano, las diferencias vienen dadas de nuevo por el comportamiento de la ETP y de la  $ET_r$ , alejándose esta última de la curva de ETP para ajustarse a los valores de precipitación. En verano los valores del coeficiente  $r$  son los más bajos, e incluso negativos para todas las regiones a excepción del Cantábrico.

[2] En las estaciones de otoño y primavera los índices comienzan a diferenciarse ligeramente, aunque la situación no llega al extremo de lo que ocurre en verano. El mayor parecido se tiene en el Cantábrico, posiblemente por tratarse de una de las regiones más húmedas en la Península Ibérica. Los valores del coeficiente  $r$  son por lo general elevados.

Por tanto puede concluirse que la forma de evaluar la sequía a través de índices depende de la características hidroclimáticas de la región de estudio. Para regiones semi-áridas como algunas regiones de la PI el uso de varios índices de sequía, particularmente para el verano, puede ser complementario y dar una información más detallada sobre el balance hídrico que puede ser útil de cara a la planificación y gestión de los recursos hídricos.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por los proyectos P11-RNM-7941 (Junta de Andalucía), CGL2013-48539-R y CGL2017-89836-R (MINECO-Spain, FEDER).

#### REFERENCIAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., 1998. Crop evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>
- Beguería, S., and Vicente-Serrano, S. M. (2013). SPEI: Calculation of Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index, R package version 1.6. <http://cran.r-project.org/package=SPEI>
- Beven, K. (2012). Rainfall-Runoff Modelling: The Primer, Second Edition. John Wiley & Sons.
- García-Valdecasas Ojeda, M. (2018). Climate-change projections in the Iberian Peninsula: a study on the hydrological impacts. PhD Thesis. Universidad de Granada.
- Hombdee, T., Pongput, K., Kanae, S. (2016). A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50, 211-219. doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2016.02.002>
- Liang, X., Lettenmaier, D.P., Wood, E.F., Burges, S.J. (1994). A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 99 (D7), pp. 14,415-14,428.
- Liang, X., Wood, E.F., Lettenmaier, D.P. (1996). Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: Evaluation and modification. *Global and Planetary Change*, 13 (1-4), pp. 195-206. doi: [https://dx.doi.org/10.1016/0921-8181\(95\)00046-1](https://dx.doi.org/10.1016/0921-8181(95)00046-1)
- Maidment, D. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorology Society, 179–184.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., ... Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical report. NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR. doi:<http://dx.doi.org/10.5065/D68S4MVH>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., and López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Climate*, 27(3):1696-1718. doi: <https://dx.doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>