

IMPACTOS DE LA SEQUÍA: RASTREANDO SUS EFECTOS MEDIOAMBIENTALES A TRAVÉS DE GOOGLE EARTH ENGINE

Paula SERRANO ACEBEDO, Natalia LIMONES RODRÍGUEZ y Mónica AGUILAR ALBA

Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Sevilla

paulaserranoace@gmail.com, natalialr@us.es, malba@us.es

RESUMEN

La sequía constituye un riesgo hidroclimático de gran complejidad y actualidad en Andalucía por sus repercusiones y acentuación en el contexto de cambio climático, siendo sus impactos muy diversos. De ellos, este estudio aborda los impactos medioambientales, con el fin de demostrar el potencial de la teledetección para la cuantificación de impactos en variables medibles a través de imágenes satélites. Esto ha sido llevado a cabo tomando como marco de estudio el municipio de El Pedroso (Sevilla), realizando una distinción interna en coberturas de vegetación natural y seminatural.

Para determinar los impactos se han tomado diversas variables ambientales (agua superficial, agua subterránea, humedad del suelo, índices de vegetación, productividad primaria de la vegetación, polvo en el aire, etc.) disponibles en Google Earth Engine, para verificar su vinculación con los fenómenos de sequía. Así, su desarrollo temporal ha sido analizado estadísticamente para el periodo 2004-2022 en relación con las condiciones de sequía del municipio.

Con todo ello, se prueba la potencialidad de las fuentes satelitales para el estudio del grado de impacto medioambiental de las sequías, poniendo de manifiesto la elevada vinculación entre los impactos de naturaleza hidrológica y vegetal con la sequía, especialmente en momentos de mayor productividad vegetal. Esta vinculación es mayor con SPEI 3, lo que muestra la mayor influencia de los eventos de sequía de carácter estacional sobre la vegetación natural y seminatural del área de estudio.

Palabras clave: sequía, impactos-medioambientales, hidrometeorología, teledetección, Andalucía.

ABSTRACT

This study focuses on analyzing the environmental impacts of drought in the municipality of El Pedroso, located in the province of Seville, using remote sensing tools based on satellite imagery and data obtained from the Google Earth Engine platform. Drought constitutes a significant hydroclimatic risk, particularly in the context of climate change, as its repercussions on the natural environment are becoming increasingly pronounced, especially in ecosystems with natural and semi-natural vegetation.

To assess these impacts, various environmental variables have been employed, such as surface water, groundwater, soil moisture, vegetation indices, primary vegetation productivity, and atmospheric dust concentration, among others. The goal is to verify their relationship with drought phenomena. These variables have been subjected to temporal and statistical analysis over the period from 2004 to 2022, in relation to the specific drought conditions in the municipality.

These results underscore the utility of remote sensing in assessing drought impacts and enhance understanding of the complex relationship between drought and environmental variables. In this regard, a strong correlation is observed between drought-related effects, both hydrological and natural vegetation covers and drought events. This connection is higher during periods of higher vegetation productivity. The correlation is strongest with the SPEI-3 index, which highlights the greater influence of seasonal drought events on natural and semi-natural vegetation in the study area.

Key words: drought, environmental impacts, hydrometeorology, remote sensing.

1. INTRODUCCIÓN

La sequía constituye un riesgo hidrológico de gran actualidad en Andalucía por sus repercusiones y su acentuación en el contexto del cambio climático. Los últimos informes emitidos por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, basados en la modelización CMIP6 –Coupled Model Intercomparison Project 6– (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023), prevén un aumento de la variabilidad pluviométrica y de las temperaturas, así como fenómenos extremos más frecuentes en el sur de Europa, lo que supondrá un incremento de secuencias secas prolongadas en el ámbito mediterráneo (Martínez-Dalmau et al., 2023).

Así, el aumento de las sequías las configura como riesgos naturales cuya comprensión y gestión en esencial, debiendo hacerse especial énfasis en el desarrollo de estrategias de adaptación que partan de un previo análisis de los efectos de sus fenómenos en el medio físico y socioeconómico (Martínez-Dalmau et al., 2023). No obstante, el estudio de los impactos de la sequía y la atribución de estos a este fenómeno no está exento de retos, pues existe falta de consenso sobre la definición de la propia sequía, sus límites y sus diversas manifestaciones (Limonés et al., 2022).

De hecho, puede que la falta de consenso en torno a las sequías y sus manifestaciones sea precisamente debida a sus impactos de diversa naturaleza. Estos son generalmente abordados desde una perspectiva socioeconómica y agrícola, haciéndose énfasis en las pérdidas económicas directas y relegando a un segundo lugar sus efectos en el medio. Por ello, nos centramos aquí en los impactos medioambientales por el desigual tratamiento bibliográfico que se ha realizado de ellos (Crausbay et al., 2017), aunque son esenciales a nivel ecológico y ecosistémico. La teledetección constituye una herramienta idónea para el análisis de los impactos medioambientales, pues la gran diversidad de productos satelitales permite rastrear los impactos de la sequía aprovechando las amplias coberturas espaciales y altas frecuencias de medición (AghaKouchak et al., 2015). Existe gran disponibilidad de productos de índole medioambiental, como índices de vegetación (Belal et al., 2014), otros que ofrecen la

temperatura y humedad del suelo, las partículas en suspensión (Abdollahi et al., 2021) y el volumen o presencia de aguas superficiales o subterráneas (Frappart & Ramillien, 2018). En base a ellos, se plantea realizar una valoración de los impactos de la sequía sobre las coberturas naturales y seminaturales a escala municipal, analizando su vinculación con las condiciones de sequía.

2. FUENTES Y METODOLOGÍA

Este estudio pretende analizar los impactos medioambientales de la sequía en Andalucía tomando como zona de estudio la escala municipal, siendo el municipio en el que pilotar esta metodología El Pedroso, situado en la provincia de Sevilla. Los análisis sobre este municipio nos servirán para mostrar el potencial del uso de la teledetección en la identificación de impactos en variables medibles a través de imágenes satélites procedentes de Google Earth Engine (GEE). El municipio ha sido seleccionado como zona en la que pilotar esta metodología por su ubicación en la Sierra Norte de Sevilla, cuya elección radica en la variedad y extensión de coberturas de carácter natural y seminatural que presenta.

GEE constituye una plataforma web en continua actualización con gran cantidad de productos satelitales y modelizados de carácter climático y físico-ambiental, por lo que de ella han sido extraídas las variables ambientales y los índices de sequía (SPEI) para el periodo temporal 2004-2022. Se han seleccionado los rangos temporales de SPEI de 3, 6, 12, 24 y 48 meses de agregación mensual, así como las variables ambientales de mayor coherencia en el ámbito espacial elegido, atendiendo también a la disponibilidad temporal de los registros de datos y primando la homogeneidad temporal y de desagregación de los datos. Estas son el índice NDVI, la productividad primaria bruta y neta de la vegetación, variables de agua azul (reservas de agua superficial y subterránea) y de agua verde (humedad del suelo). En aquellas variables en la que la resolución espacial lo ha permitido, se ha desagregado la información a escala de usos – obtenidos de la REDIAM, 2023--, siendo identificadas 11 coberturas naturales en El Pedroso (agua, bosques de coníferas, bosques de quercíneas, bosques mixtos, matorrales boscosos, matorrales esclerófilos, olivares, pastizales naturales, prados, sistemas agroforestales y vegetación escasa).

Además, se ha manejado información hidrológica procedente del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) y del Sistema de Información de Anuarios de Aforo (SIAA) para analizar las fluctuaciones temporales de las reservas de agua superficial y subterránea con relación a los episodios de sequía. Todas las variables, desestacionalizadas mediante el cálculo de sus anomalías, han sido puestas en relación con los índices de sequía mediante el cálculo de coeficientes de correlación de Pearson y el análisis de sus fluctuaciones temporales conjuntas. Esto ha permitido identificar el grado de vinculación de cada variable con los momentos de déficit y superávit hídrico, así como los posibles retardos en la materialización de los impactos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Impactos de la sequía en la vegetación

La intensificación y aumento de la frecuencia de las sequías ha tenido un evidente efecto adverso sobre las condiciones ecológicas de la vegetación, generando un impacto ecosistémico y económico derivado de la reducción de los beneficios agrícolas, aunque este trabajo aborda en exclusiva la vertiente medioambiental de los impactos de la sequía en relación a las condiciones de la vegetación.

El NDVI se configura como un proxy idóneo para evaluar el verdor vegetal, que puede estar ligado al estado de la biomasa y la vitalidad de la cobertura vegetal en relación con las condiciones de sequía (Huang et al., 2021). Las cifras de NDVI obtenidas de GEE para las distintas coberturas vegetales muestran una tímida tendencia al alza y un marcado patrón estacional –que ha sido eliminado desestacionalizando sus registros–. Las distintas formaciones vegetales presentan un patrón interanual similar, aunque se aprecia menor variabilidad en el estrato arbóreo y arbustivo en comparación con las coberturas herbáceas (pastizales y prados), pues estas parecen tener mayor dependencia de las condiciones de precipitación y humedad, de lo que se deriva una menor capacidad de amortiguación de las condiciones hidrometeorológicas. En ello juega un rol fundamental su aparato radicular, que es de menor magnitud que el de las coberturas forestales de mayor dimensión (Zerda & Tiedemann, 2010).

La conexión de las anomalías de NDVI con las condiciones de sequía es moderada (0.46), siendo mayor para SPEI 3 al aplicar un retraso de un mes a las condiciones de sequía, lo que muestra el mayor impacto de los eventos de sequía de carácter breve y estacional. Los valores mínimos de SPEI 3 presentan gran coincidencia con los NDVI, pero a mayor superávit hídrico el NDVI de estas coberturas vegetales presenta menor vinculación con las condiciones hidrometeorológicas, pues NDVI covaría mejor con SPEI en momentos de déficit (Figura 1). Esto pone de manifiesto la vinculación del verdor y la vigorosidad de la vegetación con la sequía bajo condiciones de déficit, al suponer el agua un elemento limitante del desarrollo vegetal.

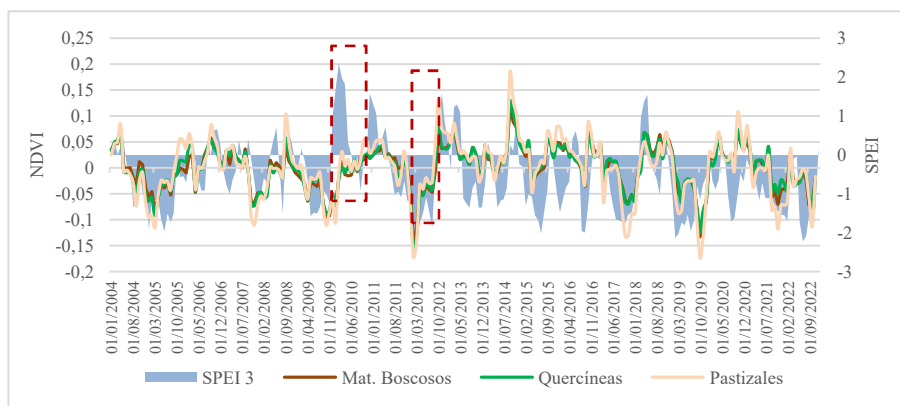


Fig. 1. Fluctuaciones conjuntas de anomalías de NDVI con SPEI 3. Fuente: Serrano Acebedo, P. (2024).

Por su parte, el análisis mensual de las condiciones de la vegetación a partir de NDVI ha evidenciado una mejor vinculación con las condiciones de sequía durante los meses de abril y mayo, momentos de mayor crecimiento vegetal. De ello puede derivarse

una mayor capacidad predictiva del impacto de la sequía sobre la vegetación en estos momentos de mayor verdor y vitalidad vegetal, coincidentes con la estación primaveral.

Estas conexiones quedan también constatadas atendiendo a los valores de productividad primaria bruta, cuyas anomalías presentan mayor vinculación con las condiciones de sequía marcadas por SPEI 3, en especial en momentos de déficit hídrico severo, así como en la estación primaveral. En ecosistemas mediterráneos la sequía se configura como el principal freno a la productividad (Rambal et al., 2014), teniendo mayor vinculación con eventos de sequía de media y baja duración (Liu et al., 2021). Los resultados obtenidos con respecto a este variable corroboran esta afirmación, pues el impacto de las sequías en la productividad vegetal es mayor en sequías estacionales marcadas por SPEI 3.

Así, las mayores correlaciones de producción primaria bruta y SPEI se ubican en abril, mayo y septiembre, fundamentalmente para las coberturas correspondientes a olivares, pastizales, matorrales boscosos y bosques de quercíneas, que alcanzan coeficientes de correlación cercanos a 0.9 en mayo. Por el contrario, en momentos de menor desarrollo vegetal –invierno y verano– estas correlaciones son ínfimas e incluso negativas, pues la producción primaria bruta es reducida por los propios ciclos fenológicos de la vegetación. Esto no implica que el elemento hidrometeorológico posea menor relevancia, sino que más allá de que se trate de un año húmedo o seco, la estación estival es característicamente seca en El Pedroso, por lo que las bajas productividades de la vegetación no casan bien. En invierno ocurre algo similar, pues las temperaturas condicionan también la productividad independientemente de la humedad/déficit general del año en cuestión.

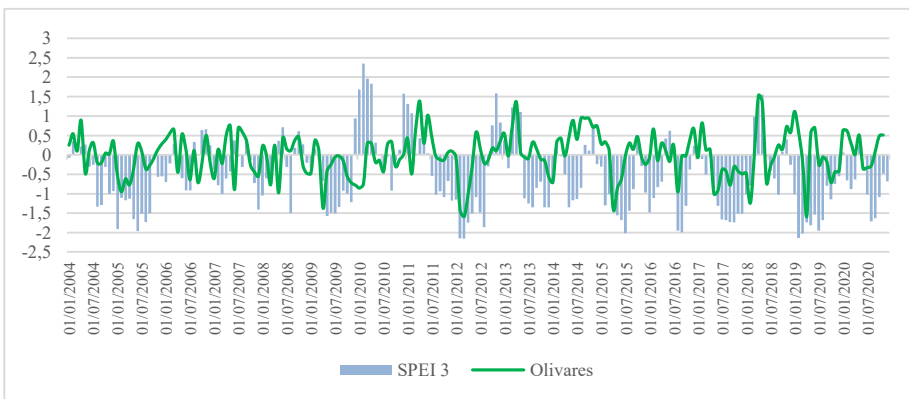


Fig. 2. Fluctuaciones conjuntas de Producción Primaria Bruta de olivares y SPEI 3.
Fuente: Serrano Acebedo, P. (2024).

3.2. Impactos de la sequía en el agua superficial

El agua superficial presente en un territorio constituye un aspecto fundamental de su ecosistema y los servicios prestados por este, así como de la severidad, que puede ocasionar determinados riesgos hidrometeorológicos. El Pedroso presenta dos embalses con gran capacidad de almacenamiento, que en este trabajo tratamos como

masas de agua permanentes pero fluctuantes con un valor ecológico evidente a pesar de suponer una fuerte regulación para el sistema de funcionamiento hidrológico. Aparte de estos, el agua superficial también se manifiesta, en menor medida, dentro de las distintas coberturas vegetales naturales presentes en el término municipal. Estas balsas y humedales son de origen natural o antrópico, dependiendo del caso, y aunque con menor relevancia y permanencia que las reservas de presas y embalses, forman parte del agua superficial disponible en el municipio, y computan como parte integrante de la disponibilidad hídrica en el ecosistema.

Se ha extraído de GEE el producto procedente de GLDAS 2.2 (Global Land Data Assimilation System 2.2), cuya desestacionalización de registros muestra una pronunciada tendencia descendente en las anomalías de disponibilidad hídrica. El patrón espaciotemporal seguido por las aguas superficiales tiene gran correspondencia con las condiciones hidrometeorológicas del entorno, pues los coeficientes de correlación entre ambas variables son elevados. Las mayores cifras son obtenidas para SPEI 6, con valores de 0.70. Aun así, pese a tener altas correlaciones (0.7), ambas series presentan mayores diferencias en sus valores mínimos, existiendo cierto desfase entre el agua superficial y las condiciones de sequía marcadas por SPEI 6. En momentos en los que SPEI 6 registra un severo déficit el agua superficial desciende de forma paralela (Figura 3), pero cuando dicho déficit es moderado, superior a -1, el agua disponible en superficie experimenta un descenso más acusado que la tendencia de SPEI. Esto parece ir asociado al uso y manejo antrópico que se realiza del agua superficial, lo que podría implicar un retardo en la toma de acciones encaminadas al ahorro hídrico y la imposición de limitaciones al consumo de agua para usos no prioritarios.

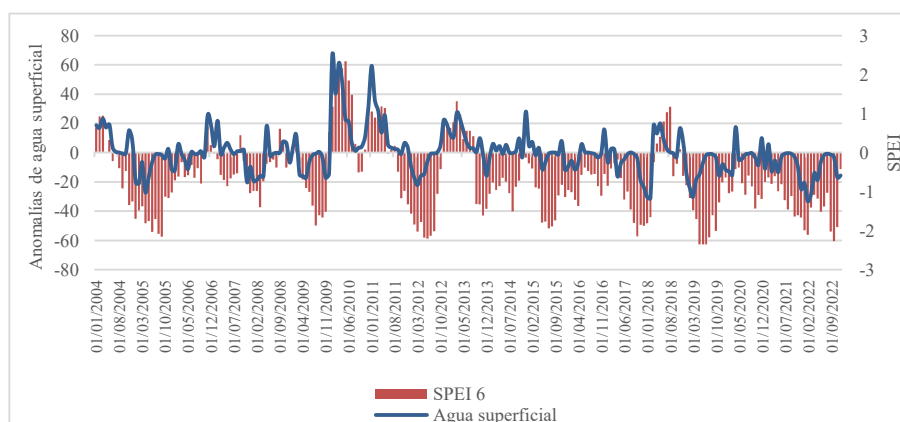


Fig. 3. Fluctuaciones conjuntas de anomalías de aguas superficiales de GLDAS junto a SPEI 6. Fuente: Serrano Acebedo, P. (2024).

Los registros de píxeles con presencia de agua provenientes del Joint Research Centre (2021) confirman la mejor relación de esta variable con los SPEI de menor agregación anual, en especial con el SPEI 6 dada la rápida materialización de los impactos. La tendencia es creciente en todas las coberturas vegetales estudiadas para El Pedroso, lo

que implica un paulatino aumento de los píxeles con presencia de agua que resulta contrario a la tendencia descendente mostrada por GLDAS 2.2. Esta discrepancia puede deberse a que más que atender a condiciones hidrometeorológicas y climáticas, podría reflejar la influencia de la acción antrópica, materializada en el aumento de balsas.

En términos generales, los píxeles de la mayoría de las coberturas vegetales de El Pedroso se localizan donde no existen cuerpos de agua, destacando en superficie principalmente la cobertura de agua y sistemas agroforestales –coberturas seminaturales—. De ellas, los pantanos –cobertura de ‘agua’– registran valores elevados pero reducida variabilidad, pues se trata de cuerpos de agua de gran dimensión y carácter permanente, aunque destacan las mayores fluctuaciones de los sistemas agroforestales. Su proximidad a los embalses informa del crecimiento y retroceso de sus límites, lo que constituye un dato de gran valor analítico e interpretativo, pues aporta información acerca de la expansión y retroceso que experimentan los embalses dentro de la dehesa a causa de la sequía (Figura 4).

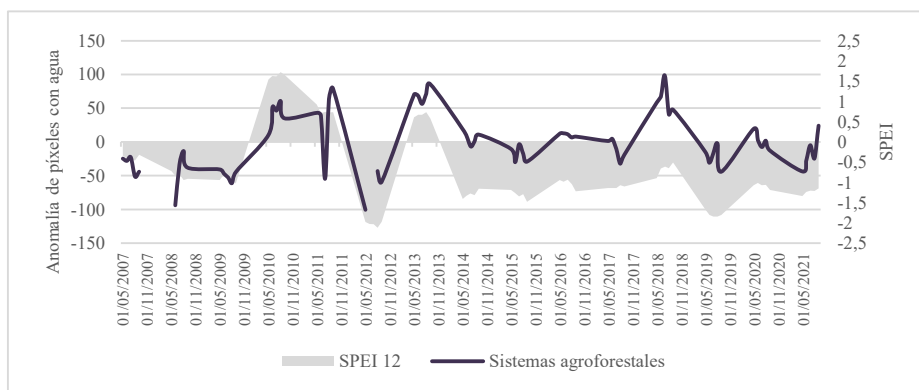


Fig. 4. Fluctuaciones de anomalías aguas superficiales (JRC) y SPEI 12. Fuente: Serrano Acebedo, P. (2024).

No obstante, las fluctuaciones en las reservas de agua de los dos embalses presentes en el municipio (Melonares y Huesna) presentan una tendencia distinta con relación a la sequía, pues el embalse de Huesna presenta mayor vinculación con las condiciones hidrometeorológicas que Melonares. Esto parece ser debido a la menor capacidad del primero, así como a su dependencia de las operaciones realizadas al embalse de El Pintado, ubicado aguas arriba del pantano de Huesna que recoge las aguas del río Rivera de Huesna. Por el contrario, las fluctuaciones temporales del Melonares casan mejor en momentos de déficits muy acusados, como en 2012 y 2018, pero sus reservas no se ven tan afectadas por periodos de sequía de menor gravedad en los que el SPEI registra cifras negativas superiores a -1. Esta mayor capacidad de amortiguación de las condiciones hidrometeorológicas parece estar ligada a su mayor capacidad de embalse y su gestión, pues sus reservas abastecen al área metropolitana de Sevilla en materia de consumo humano y riegos agrícolas, por lo que están influidas por el

intenso manejo antrópico. Esto permite identificar la mayor vulnerabilidad y susceptibilidad del embalse de Huesna ante condiciones de déficit hidrometeorológico, pues es más propenso a sufrir alteraciones e impactos en sus reservas derivadas de las condiciones de sequía

3.3. Impactos de la sequía en el agua subterránea

En El Pedroso, los volúmenes de aguas subterráneas presentan un marcado patrón estacional consistente en la coincidencia temporal de los meses de verano con las menores cifras de reservas de agua subterránea, tanto por el descenso de la precipitación como por el aumento de la evapotranspiración en las latitudes en las que se ubica la zona de estudio. Esta estacionalidad y su importancia dentro del mecanismo de propagación de la sequía en nuestras latitudes ha sido también identificado por otras investigaciones (Van Loon & Van Lanen, 2012).

Al margen de la estacionalidad intraanual, la tendencia interanual de esta variable ha mostrado ser descendente desde 2004 a 2022, con determinadas fluctuaciones ligadas a fenómenos hidroclimáticos concretos que han suscitado máximos y mínimos singulares. Estos son coincidentes con momentos de superávit y déficit hídrico, lo que pone de manifiesto la estrecha vinculación de las reservas de agua subterránea con las condiciones de sequía, que alcanzan coeficientes de correlación de Pearson mayores de 0.7 para SPEI 6 al introducir un mes de retraso en el agua subterránea. Aun así, se aprecia un retardo de las reservas subterráneas en manifestar el déficit hidrometeorológico, siendo ejemplo de ello los años 2004, 2011, 2012 y 2019, pues el agua subterránea posee cierta inercia y capacidad de suavizar el déficit hidrometeorológico.

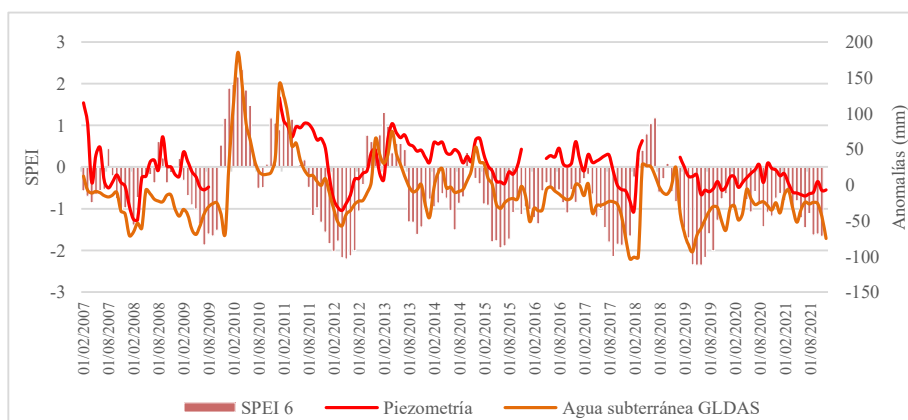


Fig. 5. Fluctuaciones conjuntas de anomalías de aguas subterráneas de GLDAS y niveles piezométricos junto a SPEI. Fuente: Serrano Acebedo, P. (2024).

A modo de complemento al registro de datos de procedencia satelital y modelos climáticos, se incluyen aquí los niveles piezométricos registrados por el piezómetro de Cazalla de la Sierra, que constituye una fuente de datos directa. Se trata de un sondeo de 100 metros de profundidad. Los niveles registrados por este piezómetro no

exceden los 8 metros de profundidad. Sus datos, medidos en términos de cotas sobre el nivel del mar, presentan un patrón interanual con gran similitud al de los niveles de aguas subterráneas extraídos de GLDAS 2.2. Ambas variables muestran una tendencia similar, aunque su conexión es menor en condiciones de sequía, donde casan peor que los máximos. Es destacable la menor variabilidad para los registros de piezometría, pues los datos de GLDAS 2.2 amortiguan las abruptas subidas y bajadas, evidenciándolas de forma más tardía.

4. CONCLUSIONES

El análisis realizado acerca de los impactos medioambientales de la sequía en Andalucía muestra el breve plazo de manifestación de estos impactos sobre las condiciones de vegetales e hidrológicas, al ser los SPEI 3 y 6 los que mayores correlaciones presentan. Esta vinculación es más elevada en términos hidrológicos, lo que ha permitido identificar la relación directa entre las condiciones de sequía y la expansión/retroceso de los embalses, así como una mayor inercia del agua subterránea con respecto al agua superficial, pues los acuíferos reflejan más tardíamente las condiciones hidrometeorológicas en superficie al presentar un efecto amortiguador de estas.

Asimismo, se ha identificado una mayor influencia de las condiciones de sequía en la vegetación en las etapas de mayor desarrollo vegetal (época primaveral), en especial para pastizales y prados, por la menor profundidad radicular de las especies herbáceas. De ello parece extraerse una mayor influencia de la sequía en la productividad vegetal cuando esta alcanza sus máximos, pues en momentos de menor desarrollo vegetal pueden existir otros factores externos que distorsionen dicha vinculación. Así, nuestro estudio demuestra una mayor capacidad de predicción de las condiciones de la vegetación en épocas de mayor desarrollo vegetal (mayo y octubre) en función de las condiciones hidrometeorológicas, lo que permitiría una mejora en el seguimiento y gestión de estos espacios de gran valor ambiental.

REFERENCIAS

- Abdollahi, S., Madadi, M., Ostad-Ali-Askari, K. (2021). Monitoring and investigating dust phenome-non on using remote sensing science, geographical information system and statistical methods. *Applied Water Science*, 11(7), 111. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01419-z>
- AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F. S., Teixeira, J., Anderson, M. C., Wardlaw, B. D., Hain, C. R. (2015). Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. *Reviews of Geophysics*, 53(2), 452-480, Doi: <https://doi.org/10.1002/2014RG000456>
- Belal, A.-A., El-Ramady, H. R., Mohamed, E. S., Saleh, A. M. (2014). Drought risk assessment using remote sensing and GIS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 35-53. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0707-2>
- Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, K. R., Bathke, D. J., Betancourt, J. L., Colt, S., Cravens, A. E., Dalton, M. S., Dunham, J. B., Hay, L. E., Hayes, M. J., McEvoy, J., McNutt, C. A., Moritz, M. A., Nislow, K. H., Raheem,

- N., Sanford, T. (2017). Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(12), 2543-2550. Doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0292.1>
- Frappart, F., Ramillien, G. (2018). Monitoring Groundwater Storage Changes Using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Satellite Mission: A Review. *Remote Sensing*, 10(6), 829. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs10060829>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.). (2023). Summary for Policymakers. En *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Re-port of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 3-32). Cambridge University Press. Doi: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.
- Joint Research Centre (2021). *Global Surface Water Explorer*. <https://global-surface-water.appspot.com/>
- Limones, N., Pita- López, M. F., Camarillo-Naranjo, J. M. (2022). A new index to assess meteorological drought: The Drought Exceedance Probability Index (DEPI). *Atmósfera*, 35(1), 67-88. Doi: <https://doi.org/10.20937/ATM.52870>
- Liu, Y., Zhou, R., Wen, Z., Khalifa, M., Cheng, Z., Ren, H., Zhang, Z., Wang, Z. (2021). Assessing the impacts of drought on net primary productivity of global land biomes in different climate zones. *Ecological Indicators*, 130, 108146. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108146>
- Martínez-Dalmau, J., Gutiérrez-Martín, C., Kahil, T., Berbel, J. (2023). Impact of alternative water policies for drought adaptation in the Guadalquivir Mediterranean River basin, southern Spain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47, 101444. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101444>
- Rambal, S., Lempereur, M., Limousin, J., Martin-StPaul, N., Ourcival, J. M., Rodríguez-Calcerrada, J. (2014). How drought severity constrains GPP and its partitioning among carbon pools in a *Quercus ilex* coppice? *Biogeosciences Discussions*, 11, 8673-8711. Doi: <https://doi.org/10.5194/bgd-11-8673-2014>
- Serrano Acebedo, P. (2024). *Huellas de la sequía: Explorando su impacto medioambiental mediante Big Data de libre acceso* [Trabajo Fin de Máster]. Universidad de Sevilla.
- Van Loon, A. F., Van Lanen, H. a. J. (2012). A process-based typology of hydrological drought. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 1915-1946. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-16-1915-2012>
- Zerda, H. R., Tiedemann, J. L. (2010). Dinámica temporal del NDVI del bosque y pastizal natural en el Chaco de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina The temporal dynamic of NDVI, of forest and grassland in the Chaco Seco of Santiago del Estero province, Argentina. *AMBIÊNCIA*, 6(1).