

ANÁLISIS PRELIMINAR DE DIFERENTES ÍNDICES DE SEQUÍA EN EL MARCO DE LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA. EL CASO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA COSTA DEL SOL OCCIDENTAL

**Javier MARTÍN ARIAS *, Manuel ARGAMASILLA RUIZ *,
Bartolomé ANDREO NAVARRO *, Pedro MARTÍNEZ SANTOS ****

(*) Departamento de Geología y Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA), 29071, Málaga. j.martin@uma.es, margaruiz@uma.es, andreo@uma.es

(**) Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.
C/ José Antonio Novais, 2. 28040, Madrid. pemartin@ucm.es

RESUMEN

La gestión del agua en zonas turístico-costeras de clima mediterráneo se presenta como un gran reto del siglo XXI. Se trata de áreas densamente pobladas y con grandes fluctuaciones estacionales en el número de habitantes y, por tanto, en la demanda de agua. La existencia en el subsistema de explotación I-3 (Costa del Sol Occidental) de recursos de agua de distinta procedencia (superficiales, subterráneos, etc.) convierte a este sistema de explotación en un ejemplo para el cálculo de diferentes índices de sequía a partir de distintos tipos de variables (climáticas, hidrogeológicas e hidrológicas). Se han utilizado dos índices, el índice estandarizado de precipitación (SPI) y el índice de estado (Ie). Los resultados obtenidos han variado en función del índice y de la variable analizada. Se ha observado un comportamiento menos oscilante, y por lo tanto más útil a la hora de identificar sequías a medio y largo plazo, en el caso del índice SPI para todas las variables, y del índice Ie aplicado a las series de piezometría y volumen almacenado en el embalse de La Concepción.

Palabras clave: *índices, gestión, sequía, abastecimiento*

INTRODUCCIÓN

En sistemas de abastecimiento de elevada complejidad, como el de la Costa del Sol Occidental, las demandas suelen cubrirse a partir de diferentes fuentes de suministro (superficiales, subterráneas, desalinizadas, etc.). En dicho contexto, la aplicación eficaz de un sistema de indicadores o índices debe ser capaz de proporcionar información global sobre la ocurrencia de sequías y su impacto en la gestión del agua, para lo cual se requieren variables de distinta índole (climática, hidrológica, hidrogeológica, etc.). La definición de sequías a partir de una única variable (precipitación, escorrentía superficial, etc.) puede no ser suficiente en la toma de decisiones frente a eventos de escasez de recursos hídricos (Hao y

En la franja costera afloran materiales de naturaleza detrítica que se apoyan, discordantes, sobre un sustrato de peridotitas o gneises y mármoles del Complejo Alpujárride, y pizarras y grauvacas del Maláguide que afloran más al norte (Figura 1). Dichos macizos constituyen la cabecera de muchos ríos de régimen irregular, entre los que cabe citar, de oeste a este, los siguientes: Manilva, Padrón, Guadalmanza, Guadalmina, Guadaiza, Verde, Real y Fuengirola.

En el área de estudio existen tres tipos de masas de agua subterránea: detríticas (afloramientos pliocuaternarios de Fuengirola), carbonáticas (Sierra Mijas, Sierra Blanca y Sierra de las Nieves-Prieta) y mixtas (Marbella-Estepona y Guadiaro-Genal-Hozgarganta). Por lo que respecta a los acuíferos detríticos costeros, están constituidos por arenas y gravas de las formaciones aluviales cuaternarias y por conglomerados, limos y arcillas pliocenas. Los afloramientos carbonáticos están formados por mármoles dolomíticos y calizos que se sitúan sobre un conjunto metapelítico inferior, de edad Paleozoico, constituido por gneises y esquistos. Los materiales de mayor permeabilidad son las arenas, gravas de edad Cuaternario y los mármoles Triás medio-superior.

En relación con el sistema de abastecimiento, la principal fuente de suministro proviene de los recursos regulados en el embalse de La Concepción (Figura 1), distribuidos en alta por la empresa pública ACOSOL. En la actualidad, dicho suministro de agua se complementa con los caudales aportados por la planta desalinizadora de Marbella, los sondeos de abastecimiento ubicados en el acuífero aluvial del río Fuengirola y la conducción de trasvase desde la ETAP de Arenillas (provincia de Cádiz). La mayoría de los municipios disponen de recursos propios de origen subterráneo, suministrados en baja por las distintas empresas concesionarias. La masa de agua subterránea Guadiaro-Genal-Hozgarganta no forma parte del subsistema I-3, aunque sus recursos se han utilizado, en periodos de escasez, para complementar el abastecimiento de los municipios de la Costa del Sol Occidental.

METODOLOGÍA

Se ha recopilado información climática, hidrológica e hidrogeológica en el ámbito del subsistema de explotación I-3 (Costa del Sol Occidental). Las variables utilizadas han sido la precipitación registrada en la estaciones meteorológicas de Marbella (código 0123) y Torremolinos-Pueblo (0299), la serie de aportaciones del río Verde al embalse de La Concepción, los volúmenes embalsados por la presa de La Concepción, y los niveles piezométricos medidos en los puntos de control piezométrico denominados Guadalmanza Pz-2 (P.060.040-002S), Guadiaro Pz-4 (P.060.047-001B), Fuengirola Pz-1 (P.060.039-001B), Tabico (P.060.038-024S) y Arroyo don Pedro (P.060.038-004S), pertenecientes a las masas de agua subterránea de Marbella-Estepona, Guadiaro-Genal-Hozgarganta, Río Fuengirola y Sierra Mijas (los dos últimos), respectivamente. Los criterios utilizados en la selección de los puntos de control se han basado en la calidad y longitud de sus series de datos.

A partir de cada una de las variables se han calculado índices de sequía basados en el índice estandarizado de precipitación o SPI (McKee *et al.*, 1993), y se han comparado con los resultados obtenidos del índice de estado, ampliamente utilizado en planificación hidrológica (CHJ, 2005). Se ha aplicado el índice SPI promediado a escala anual (12 meses), al tratarse de la escala temporal más utilizada en el análisis de sequías a medio y largo plazo (Guttman, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se presenta la evolución mensual de las variables utilizadas en el análisis de los índices de sequía. Se observa una relación directa entre la precipitación y el resto de variables, con máximos piezométricos, de caudal y de volumen embalsado, en los meses de mayor pluviometría. A finales de los años hidrológicos 1998/99 y 2004/05 se registraron cotas piezométricas negativas en los puntos de control situados en los acuíferos detríticos (Figura 2A). Por lo que respecta a la evolución de las cotas piezométricas en el acuífero carbonático de Sierra Mijas (piezómetros Tabico y Arroyo don Pedro), se detecta claramente un desfase entre la señal pluviométrica y piezométrica en ambos puntos (Figura 2B), debido al funcionamiento hidrogeológico de dicho acuífero, caracterizado por una elevada inercia y efecto memoria en respuesta a las precipitaciones (Andreo, 2007). Dada la similitud existente entre las evoluciones de los piezómetros de Arroyo don Pedro y Tabico, los índices de sequía se han calculado sólo para el primero de ellos.

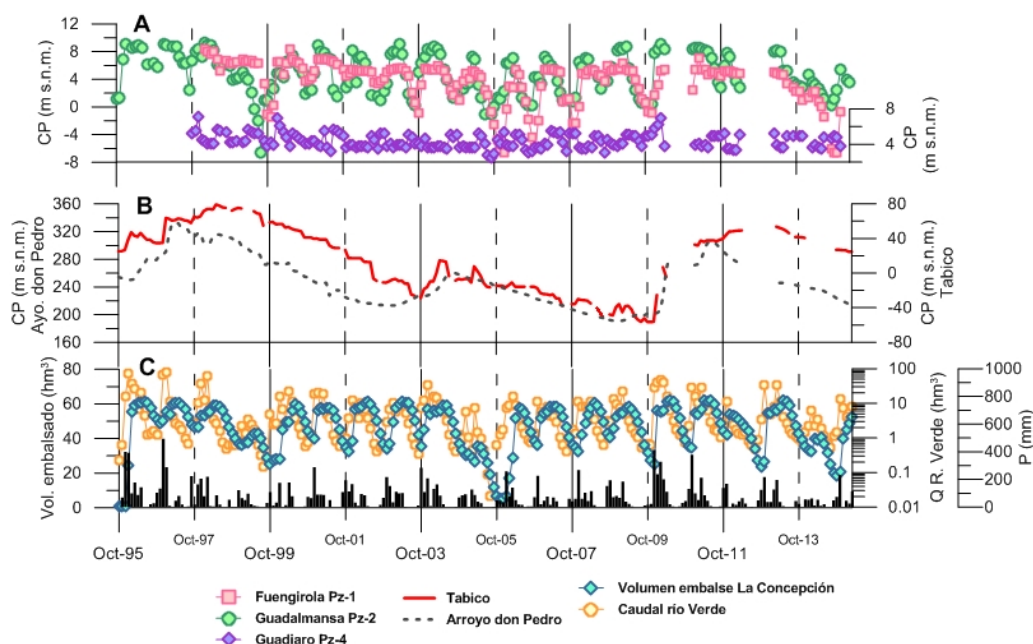


Figura 2. Evolución mensual de las variables utilizadas en el análisis de sequías. CP = cota piezométrica, Q = caudal. La serie de precipitación corresponde a la estación de Marbella.

La evolución de los volúmenes embalsados en el embalse de La Concepción está condicionada por la capacidad total de almacenamiento, en torno a 60 hm^3 , y por las aportaciones del río Verde, con un desfase de apenas un mes entre los máximos de caudal y volumen almacenado (Figura 2C).

La evolución de los índices estandarizados de sequía en las estaciones pluviométricas de Marbella y Torremolinos (Figura 3A) es prácticamente idéntica, con valores cercanos a situaciones de emergencia en los años secos 1998/99, 2004/05 y 2013/14. Dichos años también se han detectado en las series de piezometría de los acuíferos aluviales (Figura 3B), de caudal y de volumen embalsado (Figura 3C). Por lo que respecta a las aguas subterráneas, el índice SPI del piezómetro denominado Guadalmanza Pz-2 (Figura 3B) muestra una tendencia muy similar a la de los índices relativos a las series de precipitación, lo cual es indicativo de la escasa capacidad de regulación que tiene el acuífero.

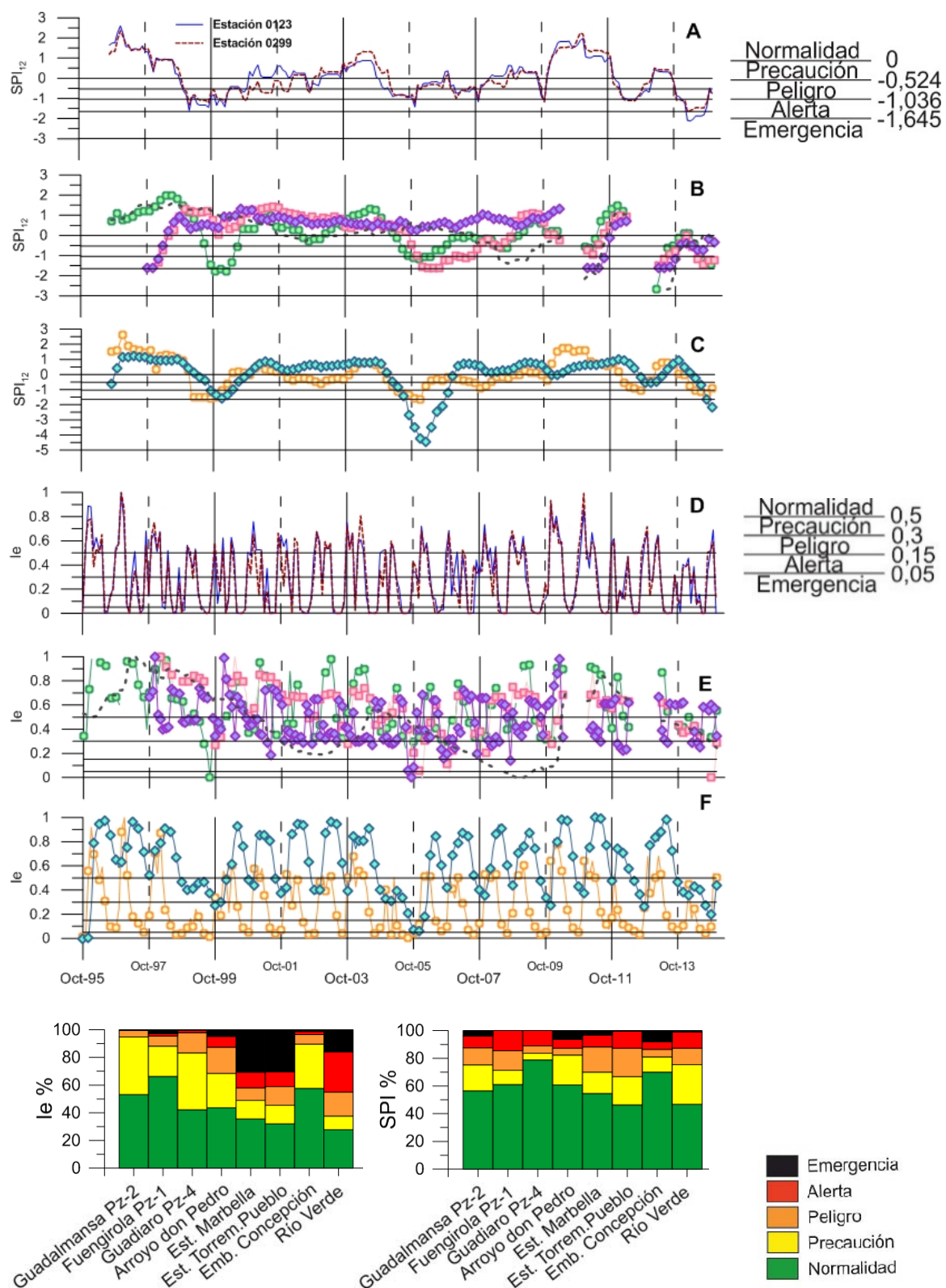


Figura 3. Evolución de los índices estandarizados de sequía (SPI₁₂) y de los índices de estado (I_e) estimados a partir de series de precipitación (A, D), piezometría (B, E), hidrometría y volúmenes embalsados (C, F). Nota: los símbolos de las figuras 3B, C, D y F coinciden con los observados en la Figura 2. Los umbrales de sequía corresponden con los propuestos por Andreu *et al.* (2015).

Por otro lado, la mayor superficie de afloramiento de los acuíferos aluviales de los ríos Guadiaro y Fuengirola (Figura 1) podría estar relacionada con una respuesta de la piezometría algo más inercial frente a los eventos de lluvia. Los valores del índice SPI en el piezómetro denominado Guadiaro Pz-4 se encuentran en la mayoría de los meses en fase de normalidad ($SPI > 0$). Dichos valores son coherentes con el balance hídrico excedentario descrito por Morales (2007) en el acuífero aluvial del río Guadiaro. La situación en el acuífero aluvial del río Fuengirola es más compleja debido a la existencia de bombeos para abastecimiento en las proximidades del punto de control piezométrico, que parecen influir en los valores del índice SPI a partir del año 2004/05. La evolución del índice SPI calculado a partir de la serie de piezometría del sondeo Arroyo don Pedro muestra un comportamiento diferente en relación con el resto de piezómetros y variables analizadas. Dicho piezómetro presenta valores del índice en fase de normalidad hasta octubre de 2007 (Figura 3B), aunque con una tendencia claramente descendente motivada por los bombeos intensivos que tienen lugar en los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Mijas (Andreo, 2007).

El valor más negativo de los índices estandarizados de sequía (-4.5) corresponde a la serie de volúmenes embalsados por la presa de La Concepción (Figura 3C). Ninguno de los índices estandarizados mostraba una situación de sequía tan severa como la indicada por el embalse a comienzos del año 2006, aunque los valores del índice SPI de los puntos de control piezométrico denominados Guadalmanza Pz-2 y Fuengirola Pz-1 se encontraban en fase de alerta en ese mismo periodo (Figura 3B). Por lo que respecta al análisis comparativo entre el índice SPI y el índice I_e , este último presenta respuestas más rápidas que las obtenidas por el índice SPI, con cambios menos graduales entre las diferentes fases de sequía, especialmente en el caso de las series de precipitación y escorrentía superficial (Figuras 3D, F). Se observa un mayor porcentaje de meses clasificados como normales a partir del índice SPI (valor medio de 59.4%), con respecto al obtenido mediante el índice de estado (45%). Los índices de estado de las series piezométricas y de volumen almacenado por la presa (Figuras 3E, F) presentan evoluciones más escalonadas, con un porcentaje de meses en fases de normalidad y precaución claramente superior al resto de periodos de sequía.

CONCLUSIONES

La aplicación del índice estandarizado de precipitación (SPI) y del índice de estado (I_e) a distintos tipos de variables (precipitación, cotas piezométricas, escorrentía superficial y volumen embalsado) ha proporcionado información de gran interés en relación con la ocurrencia de sequías en el subsistema de explotación I-3 (Costa del Sol Occidental). El grado de severidad de los diferentes periodos secos identificados ha variado en función del índice y de la variable analizada. Los índices estandarizados de sequía (SPI) calculados para todas las variables presentan una evolución más gradual y un mayor porcentaje de meses en fase de normalidad que los resultados obtenidos a partir del índice de estado (I_e). Por lo general, las variables con un comportamiento más inercial, y por lo tanto más útiles en el análisis de sequías a medio y largo plazo, han sido la piezometría y el volumen almacenado en el embalse de La Concepción. A este respecto, no sería recomendable el uso de variables con respuestas muy rápidas o excesivamente lentas debido a la falta de credibilidad de las diferentes fases de sequías estimadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREO, B. (2007). *Sierra de Mijas (M.A.S. 060.038)*. Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga. Diputación de Málaga - IGME. Tomo II, 173-178.
- ANDREU, J.; HARO, D.; SOLERA, A.; PAREDES, J.; ASSIMACOPOULOS, D.; WOLTERS, W. et al. (2015). *Drought indicators: monitoring, forecasting and early warning at the case study scale*. DROUGHT-R-SPI Technical Report no. 33, Valencia, Spain.
- CHJ (2005). *Plan Especial de Actuación en Situación de Alerta y Eventual Sequía*. Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CMA (2009). *Temperatura media anual en Andalucía: periodo 1961 – 1990*. REDIAM. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- CMA (2011). *Precipitación media anual en Andalucía: periodo 1961 – 1990*. REDIAM. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- GUTTMAN, N.B. (1999). *Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm*. Journal of the American Water Resources Association 35(2): 311–322.
- HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A. (2013). *Multivariate standardized drought index: a parametric multi-index model*. Adv. Wat. Res. 57, 12–18.
- HISDAL, H.; TALLAKSEN, L.M.; PETERS, E.; STAHL, K.; ZAIDMAN, M. (2001). *Drought event definition. In Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe*. Final Report to the European Union ENV-CT97-0553, Demuth S, Stahl K (eds). Institute of Hydrology, University of Freiburg; 17–26.
- MCKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CL, 17–22 January, 179–183.
- MORALES, R. (2007). *Guadiaro-Genal-Hozgarganta (M.A.S. 060.047)*. Atlas Hidrogeológico de la Provincia de Málaga. Diputación de Málaga - IGME. Tomo II, 149-154.