

# Estudio de la recarga y la descarga del manantial de Deifontes (Granada) en el periodo 1960-2021

*Study of the recharge and the discharge of the Deifontes spring (Granada) in the 1960-2021 period*

Antonio Sánchez Membrives, José Benavente Herrera y Carmen Almécija Ruiz

Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. 18071 Granada. [sanchezantonio@correo.ugr.es](mailto:sanchezantonio@correo.ugr.es), [jbenaven@ugr.es](mailto:jbenaven@ugr.es), [almecija@ugr.es](mailto:almecija@ugr.es)

## ABSTRACT

A complete series of monthly data on the flow of the Deifontes spring - one of the most important in the province of Granada - in the period 1960-2021, has been obtained from direct measurements (gauges) and their subsequent treatment. A range of values from 0.45 to 2.92 m<sup>3</sup>/s and an annual average of 1.2 m<sup>3</sup>/s is obtained. It presents very little variability at the monthly average level (1.14-1.27 m<sup>3</sup>/s), an anomalous circumstance in an aquifer such as the one that drains the spring, made up of karstified Jurassic carbonates, whose average recharge has been estimated at 60% of the precipitation. The annual evolution of the accumulated deviation from the average of the estimated recharge and the mean flow of the spring indicates two trends before and after 1987: the first increasing and the second decreasing. The reduction (70%) in the average flow of the post-1987 spring follows a very similar evolution to the decrease in recharge (which, in turn, derives from the decrease in precipitation).

**Key-words:** Deifontes spring, aquifer recharge, flow evolution, climatic trend, Jurassic carbonates

Geogaceta, 73 (2023), 19-22  
<https://doi.org/10.55407/geogaceta95438>  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

## Introducción

El manantial de Deifontes (en adelante MD) se localiza en la población de ese nombre, en el extremo noreste de la Depresión de Granada, junto a la margen izquierda del río Cubillas, a una altitud de aproximadamente 700 m s.n.m. (Fig. 1). Es una de las surgencias principales de la provincia de Granada (Dip. Granada-IGME, 2006), que en la actualidad atiende a demandas de agua para abastecimiento urbano e industrial y para regadío.

El MD constituye prácticamente la única descarga visible del acuífero que forma el macizo montañoso de Sierra Arana (Fig. 1), formado por calizas y dolomías jurásicas karstificadas con espesor del orden de 450 m, una superficie de afloramientos permeables de 89 km<sup>2</sup> y una altitud máxima ligeramente superior a los 2000 m (IGME, 2010).

En este estudio se han recopilado los datos de caudal (Q) disponibles del MD, desde 1960 hasta 2021. Luego se ha com-

pletado la serie de datos de Q con objeto de facilitar su tratamiento estadístico y el análisis de su régimen de descarga. También se ha estimado la recarga del acuífero que alimenta el MD durante el mismo periodo de la serie de datos hidrométricos.

## Metodología

Los datos de caudal del MD proceden de aforos directos realizados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la empresa Tragsatec. Normalmente se dispone de una sola medida por mes, aunque excepcionalmente hay más de una, en cuyo caso se considera el dato de la media entre ambas. Se ha descartado un valor de Q anormalmente alto en un mes sin precipitación a finales del estiaje (septiembre de 1964). El tratamiento de los datos implica completar la serie. Faltaban 97 datos de Q mensual, sobre todo en agosto, lo que

## RESUMEN

Se ha obtenido, a partir de medidas directas (aforos) y de su tratamiento posterior, una serie completa de datos mensuales de caudal del manantial de Deifontes - uno de los más importantes de la provincia de Granada - en el periodo 1960-2021. Se obtiene un rango de valores de 0,45 a 2,92 m<sup>3</sup>/s y un promedio anual de 1,2 m<sup>3</sup>/s. Presenta muy escasa variabilidad a nivel medio mensual (1,14-1,27 m<sup>3</sup>/s), circunstancia anómala en un acuífero como el que drena el manantial, integrado por carbonatos jurásicos karstificados, cuya recarga media ha sido estimada en un 60 % de la precipitación. Las evoluciones anuales acumuladas respecto a las medias de la recarga estimada y del caudal del manantial indican dos tendencias antes y después de 1987: creciente la primera y decreciente la segunda. La reducción (un 70 %) en el caudal medio del manantial post-1987 sigue una evolución muy similar a la disminución de la recarga (que, a su vez, deriva de la disminución de las precipitaciones).

**Palabras clave:** manantial de Deifontes, recarga de acuífero, evolución de caudal, tendencias climáticas, carbonatos jurásicos

Fecha de recepción: 06/07/2022  
Fecha de revisión: 28/10/2022  
Fecha de aceptación: 02/12/2022

representa el 13 % del total.

Se han completado los valores de los meses con ausencia de dato de Q por: a) regresión lineal a partir de datos del nivel piezométrico en un sondeo cercano (código 05.30.010 del organismo de cuenca: Fig. 1C) con el que existe una alta correlación (CHG, 2020); b) valor del coeficiente de agotamiento del manantial tomado de IGME (2010); c) ajuste lineal entre los valores previo y posterior; d) valor promedio del mes correspondiente en la serie original, cuando no ha sido posible ninguno de los procedimientos anteriores.

Los datos de Q incluyen un 35 % del caudal total como descarga difusa desde el MD hacia el cauce del río Cubillas, según información disponible desde 2013 (com. pers. de J. L. Torreblanca, Tragsatec).

El contexto hidrometeorológico en el entorno del MD se ha caracterizado a partir de dos variables: temperatura (T) media mensual y precipitación (P) men-

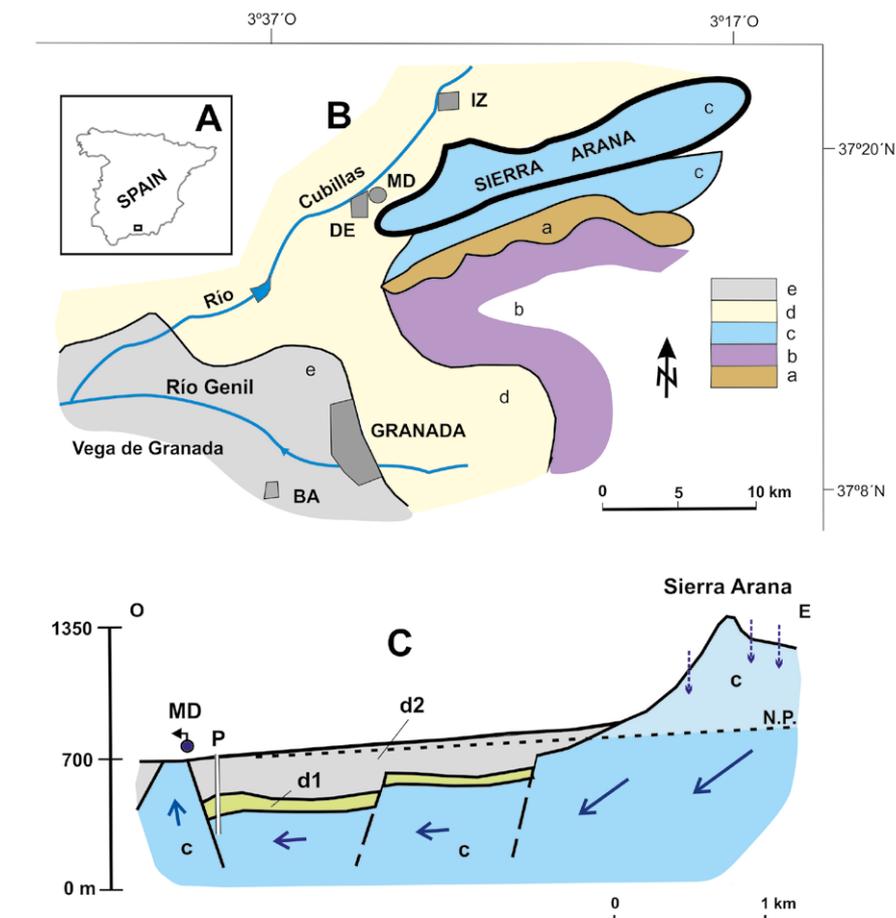
sual. La estación más cercana con datos de ambas variables es la de Iznalloz (805 m s.n.m.; IZ en Fig. 1), en la que existen datos a partir del año 2000, por lo que se ha optado por completar las series de T y P mediante regresión lineal a partir de la estación Base Aérea de Granada (687 m s.n.m.; BA en Fig. 1). La T se obtuvo con un coeficiente de correlación mayor que 0,99, mientras que para la P fue de 0,86.

Mediante la aplicación TRASERO (versión 1.0) de tratamiento de series temporales hidrológicas (Dip. Alicante, 2013) se ha calculado la evapotranspiración real (ET) y la recarga (RA) al acuífero de Sierra Arana. Como datos de entrada están la P y T mensual en la zona de los afloramientos permeables (altitud media aproximada: 1600 m). Como no existen estaciones meteorológicas pertenecientes a redes de control oficiales en este ámbito, hemos estimado los valores a partir de los datos de la estación de Iznalloz, afectados por gradientes altitudinales que se han establecido en otros estudios del entorno de Granada (Pulido-Bosch, 1980). Además, la aplicación requiere introducir una capacidad de campo para materiales carbonáticos karstificados (15 mm) y un umbral de escorrentía (55 mm) coherente con valores de alta capacidad de infiltración, elevadas pendientes y vegetación natural del suelo que se obtienen de tablas incluidas en el manual de la aplicación. También mediante la aplicación TRASERO se ha calculado la función de correlación cruzada con paso mensual entre las series de valores de RA (impulso) y de caudal en el MD (respuesta).

## Resultados

La serie de datos de caudal del MD (Fig. 2) presenta valores extremos de aproximadamente 0,45 m<sup>3</sup>/s (marzo de 2014) y 2,92 m<sup>3</sup>/s (mayo de 1964). A nivel medio mensual se pone de manifiesto una escasa variabilidad: 1,14-1,27 m<sup>3</sup>/s; media anual: 1,2 m<sup>3</sup>/s. La desviación típica es igualmente muy homogénea de un mes a otro: varía entre 0,30 (enero y marzo) y 0,42 (mayo y julio).

Los valores medios aproximados de T, P, ET y RA que se estiman para la altitud media de la zona de recarga al MD son, respectivamente, de 9,5 °C y de 900, 250 y 540 mm/año. La recarga media mensual se concentra, lógicamente, en los meses de mayor P (73 % del total anual



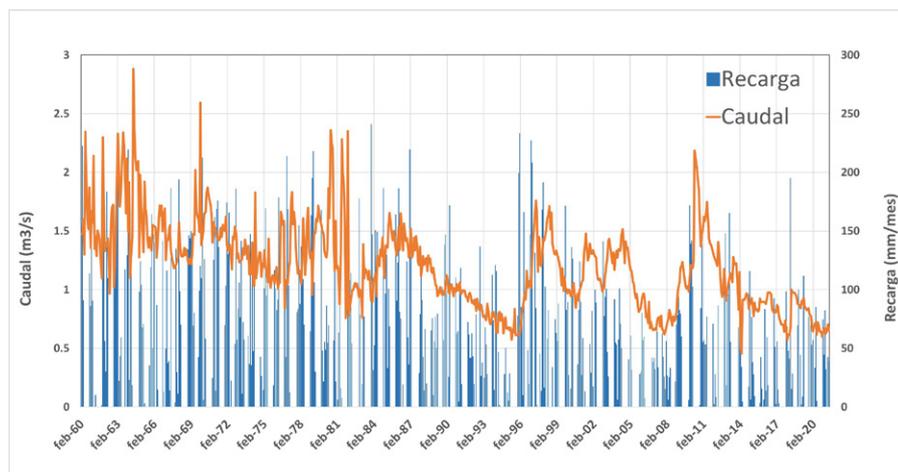
**Fig. 1.- Localización del área de estudio: general (A) y en el contexto hidrogeológico del sector NE de la Depresión de Granada (B, simplificado de ITGE-JA, 1998), a: micasquistos, areniscas y pelitas de baja permeabilidad (Paleozoico-Triás), b: dolomías y calizo-dolomías de alta permeabilidad (Triás), c: dolomías y calizas de alta permeabilidad (Jurásico), d: materiales detríticos y yesos de permeabilidad media (Mio-Pliocuaternalio), e: aluviones de alta permeabilidad (Cuaternario), IZ: Iznalloz, DE: Deifontes, BA: Base Aérea. C: corte hidrogeológico del manantial de Deifontes, MD (modificado de Dip. Granada-IGME, 2006), P: piezómetro, N.P.: nivel piezométrico, d1: margas (Terciario), d2: conglomerados, limos y arcillas (Cuaternario). Ver figura en color en la web.**

*Fig. 1.- Location of the study area: general (A) and in the hydrogeological context of the NE sector of the Granada Depression (B, simplified from ITGE-JA, 1998), a: micaschists, sandstones and pelites of low-permeability (Paleozoic-Trias), b: dolomites and limestone-dolomites of high permeability (Trias), c: dolomites and limestones of high permeability (Jurassic), d: detrital materials and gypsum of medium permeability (Mio-Pliocuaternalio), e: alluvium of high permeability (Quaternary), IZ: Iznalloz, DE: Deifontes, BA: Base Aérea. C: hydrogeological section of the Deifontes spring, MD (modified from Dip. Granada-IGME, 2006), P: piezometer, N.P.: piezometric level, d1: marls (Tertiary), d2: conglomerates, silts and clays (Quaternary). See color figure in the web.*

entre noviembre y febrero), mientras que entre junio y septiembre es prácticamente nula (< 3 %).

Para caracterizar la existencia de tendencias temporales entre 1960 y 2021 en las series de valores totales anuales de RA y de Q medio anual en MD se han elaborado gráficos de desviaciones acumuladas respecto de la media (Fig. 3). Esta figura indica dos tendencias de evolución: creciente hasta aproximadamente 1987 y luego decreciente hasta el final de la serie. Se puede observar en la figura que en la fase creciente ambas gráficas son bas-

tante similares; en la fase decreciente se observa una cierta distorsión después de los dos años excepcionalmente lluviosos que culminaron la sequía de 1991-1995; en los últimos 10 años los dos gráficos vuelven a mostrar un trazado muy similar. Se han calculado las medias de RA y Q en ambas semi-series y se comprueba que los valores en la segunda (post 1987) son del orden del 70 % de la primera. El correlograma cruzado de ambas variables con paso mensual indica un valor máximo del coeficiente  $R_{x,y}$  cercano a 0,3 con un desfase de medio año.



**Fig. 2.- Evolución mensual del caudal del manantial de Deifontes y de la recarga estimada. Ver figura en color en la web.**

*Fig. 2.- Monthly evolution of the Deifontes spring outflow and of the estimated recharge. See color figure in the web.*

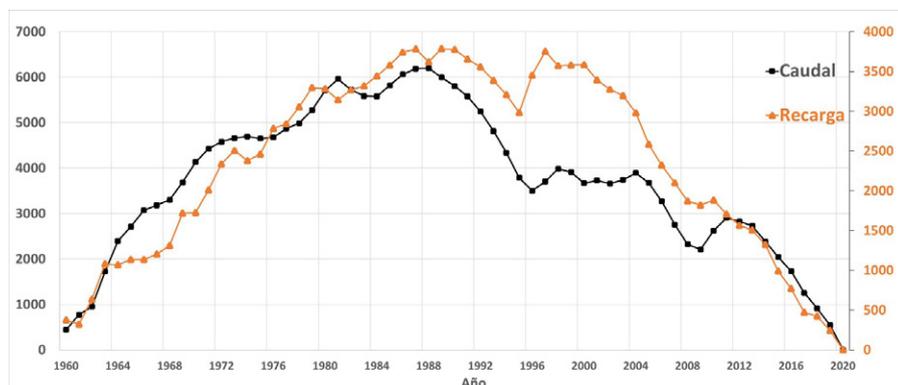
## Discusión

En principio, cabría cuestionar la fiabilidad de los datos de  $Q$  completados y de los valores medios obtenidos, tanto individuales como acumulados, en tanto que proceden mayoritariamente de una única medida mensual en un manantial vinculado con un acuífero kárstico. Sin embargo, la gran uniformidad que muestran en su conjunto los valores recopilados es un argumento en sentido contrario.

La estimación de  $RA$  está sujeta a imprecisiones derivadas de la fiabilidad de los parámetros requeridos por la aplicación utilizada, por lo que el valor medio obtenido debe considerarse sólo una aproximación, al igual que para el  $Q$  medio. Para el macizo de Sierra Arana,  $RA$  representa el 60 % de la precipitación media, valor muy similar al 58 % que resultaría para un índice de significado similar (IC: relación entre la recarga media

anual y la precipitación media anual) en un estudio de diferentes acuíferos carbonáticos montañosos de la cordillera Bética (Martos-Rosillo et al., 2015). La elevada altitud media de este macizo hace que no sea infrecuente (sobre todo en el periodo pre-1987) la presencia de nieve sobre los afloramientos karstificados, lo que puede ser un argumento a favor de esos altos porcentajes de recarga. Por otro lado, las estimaciones de  $P$  a 1600 m son coherentes con unas pocas medidas de esa variable entre 1997 y 2002 en el extremo occidental de Sierra Arana, a 1700 m de altitud (Fernández-Cortés, 2005).

El valor estimado de  $RA$  equivale a un caudal continuo de aproximadamente 1,5  $m^3/s$ . Esta discrepancia puede derivar de la imprecisión en la estimación de  $RA$ ; también de la descarga por otros manantiales menos importantes en los bordes del macizo de Sierra Arana o subterráneamente hacia los otros acuíferos adyacentes (IGME, 2010).



**Fig. 3.- Gráficos de desviación acumulada respecto de la media para la serie de valores anuales de caudal medio del manantial de Deifontes (L/s) y de su recarga estimada (mm). Ver figura en color en la web.**

*Fig. 3.- Graphs of cumulative deviation from the mean for the series of annual values of the mean flow of the Deifontes spring (L/s) and its estimated recharge (mm). See color figure in the web.*

En relación con los gráficos de la figura 3, la existencia de las tendencias generales mencionadas parece fuera de toda duda, independientemente de la mayor o menor fiabilidad de los datos de  $Q$  y de  $RA$ . La similitud del porcentaje de reducción de las medias pre y post 1987 de las dos variables analizadas sugiere que el origen de la reducción en el caudal medio del manantial a lo largo de la segunda mitad de la serie analizada puede explicarse básicamente a partir de la disminución de la recarga (que, a su vez, deriva de la tendencia decreciente de las precipitaciones).

Como en muchas otras partes de Andalucía, en el entorno del MD es conocida la proliferación de sondeos de captación para riego de olivar. Así, en el estudio de CHG (2020) se ha apuntado la posible incidencia de bombeos cercanos en los datos de caudal del MD. Los presentes resultados apuntan a que esa circunstancia no parece ser cuantitativamente muy importante, pero merecería un estudio específico.

A nivel mensual, el régimen de descarga del MD presenta la particularidad de que los caudales medios más altos corresponden al periodo de primavera-verano, que es el de menor recarga. Esto indica un elevado carácter regulador respecto de los episodios de recarga, lo que, como ya ha sido apuntado, no suele ser típico de acuíferos kársticos. El resultado del correlograma cruzado de los datos mensuales  $RA-Q$  corrobora esta circunstancia. Esto podría deberse a que apenas exista karstificación activa del acuífero en la parte final del sistema de flujo subterráneo, que se realiza en condiciones de confinamiento bajo la cota de la surgencia (Fig. 1C). Controles más detallados de  $Q$  podrían descartar la posibilidad de variaciones más importantes dentro de un mismo mes, con lo que el poder regulador sería menor. Por otro lado, esa capacidad reguladora se ha observado en acuíferos cercanos y bastante similares (Jiménez-Gavilán et al., 2004).

## Conclusiones

Se ha analizado el caudal del manantial de Deifontes (Granada) en el periodo 1960-2021. Es destacable tanto la magnitud de su descarga (valor medio: 1,2  $m^3/s$ ) como su muy escasa variabilidad a lo largo del año. El dato de caudal incluye un 35 % de descarga difusa al río Cubillas, valor orientativo obtenido a partir de

los aforos realizados por TRAGSA desde 2013. Ello indica un importante efecto modulador de la recarga, caracterizado por un desfase del orden de medio año entre los episodios principales de recarga (otoño-invierno) y los valores relativamente más altos de descarga (primavera-verano). Esta circunstancia es rara en acuíferos kársticos, máxime cuando que la recarga media ha sido estimada en un 60 % de la precipitación.

La evolución temporal del caudal del manantial en el periodo estudiado indica dos tendencias: creciente hasta aproximadamente 1987 y luego decreciente hasta el final de la serie, de manera que el caudal medio de la fase post-1987 es un 70 % del valor correspondiente a la fase previa. Esto puede explicarse básicamente a partir de la disminución de la recarga (que, a su vez, deriva de la tendencia decreciente de las precipitaciones). Todos los resultados relativos al caudal del manantial, contrastados con los niveles medidos en un piezómetro cercano, se basan en una serie cronológica que se ha obtenido mayoritariamente a partir de una medida directa por mes. Aunque la representatividad de estos datos hidrodinámicos viene avalada por la notable homogeneidad de la serie de valores, sería aconsejable disponer de medidas de caudal realizadas con más frecuencia.

La estimación de la recarga está so-

metida a la incertidumbre en la cuantificación de la precipitación y la temperatura a cotas relativamente elevadas y de la de otros parámetros exigidos por la metodología utilizada, lo cual obliga a considerar los resultados obtenidos como tentativos.

### Contribución de los autores

A. Sánchez-Membrives: metodología, adquisición de datos, investigación/análisis, figuras. J. Benavente: investigación/análisis, edición, revisión del manuscrito, coordinación, supervisión. C. Almécija: edición, revisión del manuscrito, figuras.

### Agradecimientos

Estudio realizado en el marco del Grupo de Investigación RNM 126 de la Junta de Andalucía a partir de una beca del Programa Incuba UGR-Fundación Cajasur (empresa: Aguasvira). Se agradece la colaboración de L. Rico Jorge (CHG), J.L. Torreblanca Sojo (Tragsatec), J. Jiménez Sánchez (IGME), Antonio Castillo Martín (CSIC-UGR) y C. Corral Pérez (Aguasvira), así como los comentarios de dos revisores anónimos.

### Referencias

- CHG (2020). *Análisis correlatorio de la evolución equivalente entre piezómetros y manantiales cercanos, incluidos en la red oficial (2/2)*. Informe técnico. 35 p.
- Dip. Alicante (2013). *Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Versión 1.0*.
- Dip. Granada-IGME (2006). *Guía de manantiales de la provincia de Granada*. Granada. 286 p.
- Fernández-Cortés, A. (2005). *Caracterización microclimática de cavidades y análisis de la influencia antrópica de su uso*. Tesis doctoral Univ. Almería. 425 p.
- IGME (2010). *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Actividad 4: MASBT 051.030 Sierra Arana*. Informe técnico. 44 p.
- ITGE-JA (1998). *Atlas hidrogeológico de Andalucía*. 216 p.
- Jiménez-Gavilán, P., Andreo, B. y Carrasco, F. (2004). *Geogaceta* 35, 159-162.
- Martos-Rosillo, S., González-Ramón, A., Jiménez-Gavilán, P., Andreo, B., Durán, J.J. y Mancera, E. (2015). *Environ. Earth Sciences* 74: 7571-7581. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4673-3>
- Pulido-Bosch, A. (1980). *Datos hidrogeológicos sobre el borde occidental de Sierra Nevada*. Serie Univ. Núm. 123. Fund. J. March. 51 p.