

Origen y cuantificación de la descarga del manantial del Charco del Moro a partir del análisis de los registros de la red de estaciones de aforo (río Guadiaro, Málaga y Cádiz)

Origin and quantification of discharge from the Charco del Moro spring based on the analysis of gauging stations records (Guadiaro River, Málaga and Cádiz)

Francisco Moral Martos^{1*} y José Luis Yanes¹

¹Universidad Pablo de Olavide. Carretera de Utrera, km 1. 41013, Sevilla. fmormar@upo.es, jlyancon@upo.es

*Corresponding author

ABSTRACT

The Charco del Moro spring is located in the streambed of the Guadiaro River, at the southern end of the Buitreras Gorge. Due to its location, it is extremely difficult to measure its flow, especially during periods of flooding. In this work, the flow records at the gauging stations of the Guadiaro and Hozgarganta rivers have been analyzed and the flows diverted from the river and those infiltrated in the sinkholes of the streambed have been calculated to estimate the average discharge of the spring and the origin of its waters. Despite the uncertainty of the results, an average flow rate close to 4 m³/s has been calculated, a figure significantly higher than that considered to date. To justify this flow it must be assumed that the contributions come mainly from the Jurassic limestones of the southern part of the Sierra de Líbar and the Sierra del Endrinal, which would imply a recharge zone with a surface area close to 83 km².

Key-words: Karstic spring, flow difference, recharge zone, water budget.

RESUMEN

El manantial del Charco del Moro se localiza en el lecho del río Guadiaro, en el extremo meridional de la garganta de las Buitreras. Por su ubicación, es extremadamente complicado determinar su caudal, especialmente durante las épocas de crecida. En este trabajo se han analizado los registros de caudal en las estaciones de aforo de los ríos Guadiaro y Hozgarganta y se han calculado los caudales derivados del río y los infiltrados en los sumideros de la garganta fluvial para estimar el caudal medio del manantial y el origen de sus aguas. A pesar de la incertidumbre de los resultados, se ha calculado un caudal medio próximo a 4 m³/s, una cifra sensiblemente superior a la considerada hasta la fecha. Para justificar estos caudales debe asumirse que los aportes proceden principalmente de las calizas jurásicas del sector meridional de la sierra de Líbar y de la sierra del Endrinal, lo que implicaría un área de recarga con una superficie próxima a los 83 km².

Palabras clave: Manantial kárstico, diferencia de caudales, área de recarga, balance hídrico.

Geogaceta, 76 (2024), 59-62

<https://doi.org/10.55407/geogaceta104485>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 09/02/2024

Fecha de revisión: 19/04/2024

Fecha de aceptación: 07/06/2024

Introducción

El río Guadiaro nace en la vertiente septentrional de la Serranía de Ronda, al suroeste de la sierra de las Nieves. En los primeros 26 km de su recorrido circula hacia el noroeste y recibe el nombre de río Grande o Guadalevín. Tras su confluencia con el río Guadalcobacín se dirige hacia el sur y se denomina río Guadiaro propiamente dicho. Tras 109 km de recorrido, desemboca en el Mediterráneo formando un estuario.

Su cuenca hidrográfica (Fig. 1) presenta un área de 1422 km² y se localiza en la parte occidental de la provincia de Málaga y áreas próximas del sureste de la provincia de Cádiz. El sector más septentrional corresponde a la cuenca geológica de Ronda, limitada al sur por las sierras de Líbar, Alto del Conio y Jarastepar y al este por las sierras Hidalga y Blanquilla,

cuyos picos alcanzan los 1200 a 1500 m de altitud. En la parte meridional de la cuenca, donde el Guadiaro recibe las aguas de sus principales afluentes (Hozgarganta por la margen derecha y Genal por la izquierda), alternan los cerros de escasa altitud y las llanuras aluviales.

Cerca de la población de Cortes de la Frontera el río Guadiaro atraviesa un profundo y angosto cañón, de unos 5 km de longitud, excavado en calizas y calizas margosas. Se trata de la garganta de las Buitreras, en cuyo extremo meridional, a una cota de unos 230 m s.n.m., se localiza la surgencia del Charco del Moro, uno de los principales manantiales kársticos de Andalucía.

Lo complicado del acceso y, sobre todo, el hecho de que el manantial se encuentre en el lecho del cauce del río dificultan enormemente la cuantificación de los caudales drenados por el mismo, sobre

todo en épocas de aguas altas, cuando queda completamente sumergido por las aguas del río Guadiaro. Por otra parte, a lo largo cañón existen varios sumideros por los que, en función de la cuantía del caudal circulante, se infiltran total o parcialmente las aguas del río Guadiaro, que vuelven a surgir por el manantial del Charco del Moro. Por último, dadas las escasas dimensiones del afloramiento de calizas en las que se encuentra el manantial, se considera que una parte importante de su caudal procede de la vecina sierra de Líbar, ubicada 6 km al norte.

El presente trabajo tiene como objetivos principales, la cuantificación del caudal que surge por el manantial del Charco del Moro, la evaluación de los aportes procedentes de los sumideros del cañón de las Buitreras y de la sierra de Líbar y, por último, la mejora del conoci-

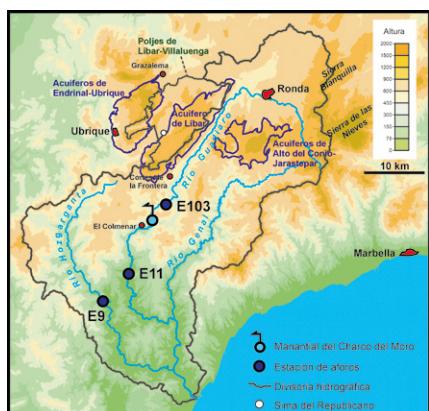


Fig. 1.- Localización geográfica y principales elementos hidrológicos de la cuenca del río Guadiaro.

Fig. 1.- Geographic location and main hydrological elements of the Guadiaro River basin.

miento de los límites del área de recarga del manantial.

Para alcanzar estos fines se han analizado los caudales diarios registrados durante el periodo 2011 a 2023 en las estaciones de aforo de la Estación de Cortes (E103), de San Pablo de Buceite (E11) y de Jimena de la Frontera (E9), disponibles en la página web de la red SAIH Hidrosur de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía (Fig. 1). Además, se han llevado a cabo varias salidas al campo en las que se han identificado sumideros en el cauce fluvial y se han realizado aforos directos con molinete.

Contexto hidrogeológico: el acuífero de la sierra de Líbar

La sierra del Líbar, junto con las vecinas sierras del Endrinal y Ubrique y las sierras de Jarastepar y Alto del Conio, forma parte del Subbético Interno occidental o Penibético. La serie estratigráfica subbética está constituida por tres grandes conjuntos litológicos: lutitas con evaporitas triásicas, calizas y dolomías jurásicas y, finalmente, margas y margocalizas cretácicas, también denominadas "capas rojas".

Las directrices estructurales de los grandes pliegues y fallas que afectan a los materiales subbéticos presentan una dirección N30E. En los núcleos anticlinales afloran las calizas jurásicas que constituyen las principales elevaciones de la zona. En cambio, en los valles fluviales predominan los afloramientos de materiales margosos del Cretácico.

Las elevadas precipitaciones de la comarca, que en las áreas más elevadas

superan ampliamente los 1500 mm/año, han favorecido un espectacular desarrollo de la morfología kárstica en las calizas jurásicas. Estos materiales, con una potencia próxima a los 500 m, dan lugar a varios acuíferos con cuantiosas reservas y recursos hídricos. Los manantiales principales, de comportamiento típicamente kárstico, se sitúan en la vertiente oriental de la sierra de Líbar (Cueva del Gato, Molino del Santo, Artezuelas) o en las proximidades de Ubrique.

El manantial del Charco del Moro se localiza en un pequeño afloramiento calizo aislado de los afloramientos principales, aunque los trabajos con trazadores realizados por Andreo *et al.* (2004) han demostrado la conexión hidrogeológica existente entre el manantial y la sima del Republicano, ubicada en el borde occidental de la sierra de Líbar (Fig. 1).

Hidrología y obras hidráulicas del cañón de las Buitreras

Cerca de la estación de ferrocarril de Cortes de la Frontera, en el extremo septentrional de la garganta de las Buitreras, se han realizado varias obras hidráulicas que afectan a los caudales que circulan por el río Guadiaro. Se trata de un azud de derivación, conocido como la presa de Las Buitreras, de la que parten las conducciones de la minicentral eléctrica y del trasvase Guadiaro-Guadalete (Fig. 2).

La minicentral de las Buitreras, situada junto a la población de El Colmenar (Fig 1), entró en funcionamiento en 1919. Las aguas son derivadas en el azud (cota 340 m s.n.m.) hacia un túnel, cuyo trazado es paralelo a la margen izquierda del río



Fig. 2.- Obras hidráulicas en el azud de las Buitreras (río Guadiaro).

Fig. 2.- Hydraulic works in the Buitreras weir (Guadiaro River).

Guadiaro hasta el puente-acueducto de los Alemanes, por donde la conducción cruza a la margen derecha y continua por otro túnel hasta la cámara de carga de la minicentral (cota 330 m s.n.m.). La galería tiene una sección de 3,32 m² y una longitud de 6020 m (Ruiz-Orive, 2005). De la cámara de carga parte una tubería forzada de 420 m de longitud y un salto neto de 124 m, hasta la minicentral, que posee la capacidad de generar una potencia de 4800 kW. Las instalaciones permiten aprovechar un caudal máximo de 7,5 m³/s, aunque el caudal concedido es de 5 m³/s (CAPADR, 2023).

El trasvase Guadiaro-Guadalete consiste en un túnel de 14 km de longitud que permite derivar las aguas del río Guadiaro desde el azud de las Buitreras hasta el embalse de los Hurones, cerca de Ubrique, en la cuenca del río Guadalete. Las normas de explotación establecen que el volumen anual máximo a trasvasar es de 110 hm³/año y que el trasvase solo puede activarse si el caudal del Guadiaro en el punto de derivación es superior a 6 m³/s. Desde su entrada en funcionamiento en el año 2000, el volumen anual medio transferido a la cuenca del Guadalete ha sido de 36 hm³/año (CAPADR, 2023).

Por otra parte, las observaciones realizadas *in situ* y las indicaciones de personas conocedoras de la zona permiten concluir que a lo largo de la garganta de las Buitreras existen varios sumideros, tanto en el lecho del río Guadiaro como en la parte final de los principales barrancos tributarios (garganta de la Pulga). Del trabajo de Martín-Rodríguez *et al.* (2018) y de los registros de caudal en la Estación de Cortes se deduce que el caudal máximo que infiltran los sumideros debe ser del orden de 0,9 m³/s y que el caudal medio infiltrado durante el periodo de estudio es de unos 0,65 m³/s (20,5 hm³/año).

Registros de caudal en las estaciones de aforo de la red oficial

Para la estimación de los caudales que surgen por el manantial del Charco del Moro durante el periodo 2011-2023 se parte de la diferencia entre las estaciones de aforo de San Pablo de Buceite (E11) y de la Estación de Cortes (E103), situadas, respectivamente, 13 y 6 km aguas abajo y arriba de la surgencia. A esta diferencia habría que restarle los aportes procedentes de la escorrentía superficial que se

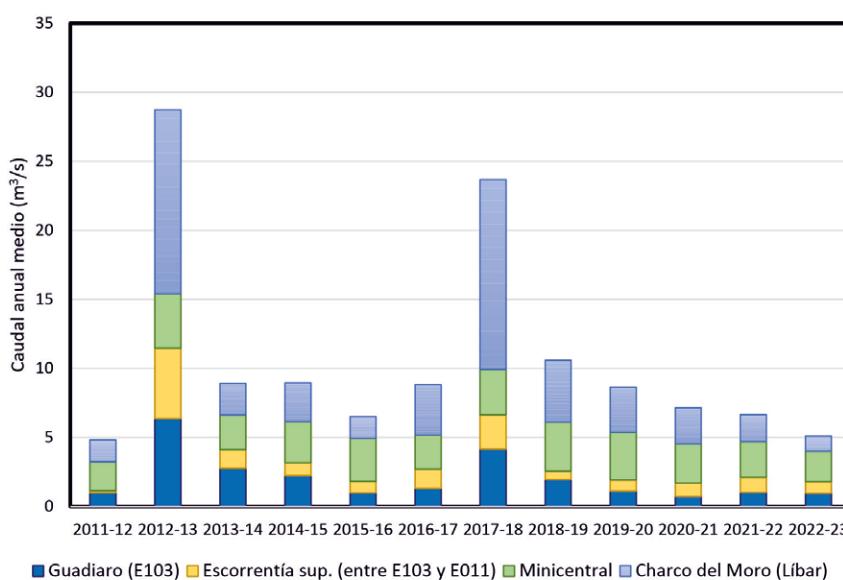


Fig. 3.- Principales aportes al río Guadiaro en la estación de aforos de San Pablo de Buceite (E11), calculados a partir de los registros históricos de caudal. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Main contributions to the Guadiaro River at the San Pablo de Buceite gauging station (E11), calculated from historical flow records. See color figure in the web.

produce en el territorio que vierte hacia el río Guadiaro entre las dos estaciones de aforo y la descarga de la minicentral de las Buitreras, puesto que este caudal no se registra en la Estación de Cortes y sí en la de San Pablo de Buceite (Fig. 3).

El cálculo de las aportaciones que se produce en los 143 km² de superficie del territorio existente entre las dos estaciones de aforos del río Guadiaro (E11 y E103) se ha realizado por extrapolación de los datos de la vecina cuenca del río Hozgarganta, situada al oeste. El caudal del río Hozgarganta se controla en la estación de aforos de Jimena de la Frontera (E9), cuya cuenca vertiente es de 225 km². Durante los 12 años estudiados el caudal medio fue de 2,2 m³/s, lo que representa una lluvia útil media de 304 mm/año. Extrapolando esta cifra, se puede estimar una aportación procedente de la lluvia útil en el territorio comprendido entre las estaciones E11 y E103 de 44 hm³/año, equivalentes a un caudal medio de unos 1,4 m³/s.

Las descargas de la minicentral de las Buitreras se han estimado considerando que la concesión es de 5 m³/s y que se trata de una estación de tipo fluyente, es decir, que los caudales captados dependen del caudal del río en el punto de toma. El análisis de los caudales en la estación de San Pablo de Buceite (E11) permite concluir que el 65 % de los días el caudal es inferior a 6 m³/s y que, en estos días, el caudal medio es de unos 2 m³/s. De esta manera, se puede estimar que el caudal medio de descarga de la minicen-

tral eléctrica es de 3 m³/s, equivalentes a 95 hm³/año. Estas cifras son coherentes con el salto bruto de la minicentral (124 m), con la potencia instalada (4800 kW) y con la producción eléctrica durante los años 1984-2004, que tuvo un valor anual medio de 18400 MWh (Ruiz-Orive, 2005).

Durante el periodo de estudio, en la estación de aforos E103 se registró una aportación y un caudal medios de 65 hm³/año y 2,05 m³/s, respectivamente. Si se añaden 36 hm³/año del traspase Guadiaro-Guadalete y 95 hm³/año de la toma de la minicentral eléctrica, en régimen natural, la aportación del río Guadiaro en este punto sería de unos 196 hm³/año (unos 6,2 m³/s).

Aguas abajo del Charco del Moro, en la estación E11, la aportación y caudal medios fueron de 338 hm³/año y de 10,7 m³/s, respectivamente. En régimen natural, a estas cifras habrían que añadirle los 36 hm³/año del traspase Guadiaro-Guadalete, con lo que la aportación media sería de 374 hm³/año y el caudal medio de 11,8 m³/s.

Discusión y conclusiones

De acuerdo con los resultados de este trabajo, para el periodo 2011-2023, en régimen natural, la aportación en la estación E103 sería de unos 196 hm³/año y en la estación E11 de unos 374 hm³/año. Puesto que las aportaciones de la cuenca vertiente existente entre ambas estacio-

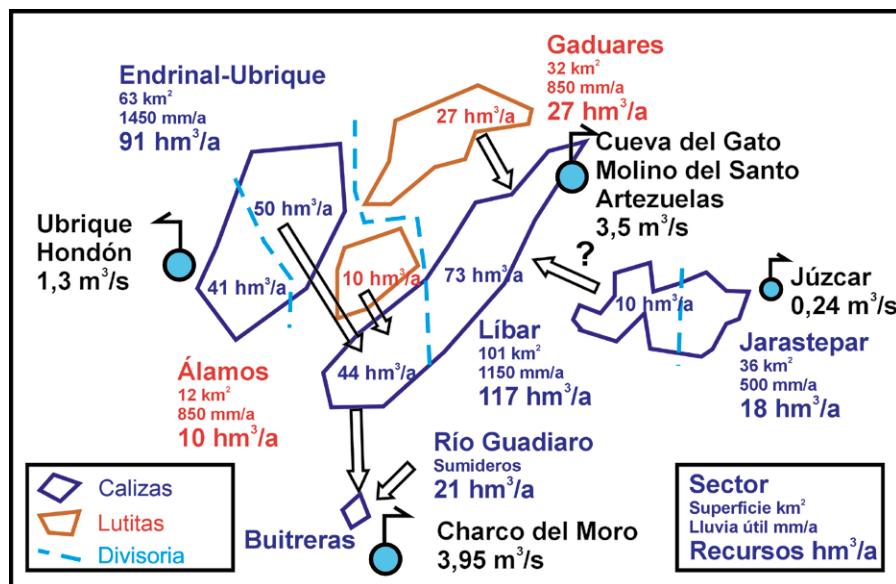
nes ha sido cifrada en 44 hm³/año, los aportes subterráneos al manantial del Charco del Moro procedentes de la sierra de Líbar se estiman en 134 hm³/año. Para calcular la descarga total del manantial del Charco del Moro habría que considerar también la contribución de los sumideros del cañón de las Buitreras, en una primera estimación, cifrados en cerca de 21 hm³/año. En definitiva, la aportación total del manantial se estima en 155 hm³/año, equivalentes a un caudal medio de unos 4,9 m³/s.

Estas cifras son algo superiores a las que se deducen del plan hidrológico de las cuencas mediterráneas andaluzas (CAPADR, 2023). En este documento, para el periodo 1940-2018, se han calculado unos recursos hídricos de 217 hm³/año para la masa de agua superficial "Guadiaro Montejaque-Cortes" y de 380 hm³/año para la masa de agua "Guadiaro Buitreras-Corchado", lo que implicaría una descarga procedente de la sierra de Líbar de 117 hm³/año por el manantial del Charco del Moro. Para el periodo 2011-2018, los recursos hídricos en las dos masas de agua anteriores se estiman en 170 hm³/año y de 310 hm³/año, respectivamente. En este último caso, la descarga por el manantial, sin los aportes de los sumideros, sería de unos 103 hm³/año.

En cambio, son valores significativamente más elevados que los ofrecidos en trabajos previos. En el Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga (IGME-DM-UMA, 2007) se asigna al manantial un caudal medio de 0,5 m³/s. Durante el año hidrológico 2016-17, Martín-Rodríguez *et al.* (2018) estimaron un caudal medio de 1,85 m³/s a partir de las medidas de nivel del agua realizadas en el cauce por encima y por debajo de la zona de surgencia y del cálculo de las correspondientes curvas de gastos.

Para explicar los caudales del manantial del Charco del Moro hay que admitir que el área de recarga incluye, no solo la parte suroccidental de la sierra de Líbar y la cuenca del arroyo de los Álamos (Andreo *et al.*, 2004), sino también la mayor parte de la sierra del Endrinal. De hecho, dado el escaso caudal relativo de los manantiales directamente relacionados con la sierra del Endrinal, en trabajos previos (Sotelo, 2003; Martín-Rodríguez *et al.*, 2016) se dedujo la posible existencia de salidas ocultas de agua subterránea hacia la sierra de Líbar.

En la figura 3 se aprecia que los aportes calculados procedentes de la sierra



de Líbar presentan importantes diferencias entre los años hidrológicos 2012-13 y 2017-18 (ca. 13,5 m³/año) y los años restantes (ca. 2,6 m³/año). Resulta difícil asumir que el valor medio de la descarga se multiplique por cinco si se considera que la precipitación en Grazalema para dichos años fue de unos 2500 mm/año y de 1500 mm/año, respectivamente.

En la figura 4 se presenta una propuesta de modelo hidrogeológico conceptual del sistema del Charco del Moro y de los acuíferos subbéticos. En dicho modelo, se ha considerado que los aportes al manantial procedentes de la sierra de Líbar en los años hidrológicos 2012-13 y 2017-18 fue de 220 hm³/año (7 m³/s), una cifra más en consonancia con los datos del plan hidrológico y de los registros de precipitación en Grazalema.

Para la estimación de los valores de la lluvia útil, se han analizado los registros de precipitación y los balances realizados en los antecedentes bibliográficos (Sotelo, 2003; IGME-DM-UMA, 2007; Martín-Rodríguez *et al.*, 2016) y se han tenido en cuenta las diferencias litológicas entre las sierras subbéticas calizas y las cuencas endorreicas del río Gaduares y del arroyo de los Álamos, de naturaleza arcillosa. Para las sierras de Endrinal y Ubrique, más occidentales, se ha considerado una lluvia útil de 1450 mm/año, para la sierra de Líbar de 1150 mm/año y para las cuencas del Gaduares y del arroyo de los Álamos de 850 mm/año.

El ajuste de los balances hidráticos implica asumir que las aguas del manantial del Charco del Moro proceden de:

a) Los recursos hídricos transferidos desde la sierra del Endrinal a la parte meridional de la sierra de Líbar. Se estiman en 50 hm³/año, un valor sensiblemente superior a los 31 hm³ que calcularon Martín-Rodríguez *et al.* (2016).

b) En torno al 38 % de la recarga difusa que se produce en la sierra de Líbar, estimada en 44 hm³/año.

c) Escorrentía superficial generada en la cuenca del arroyo de los Álamos e infiltrada en su casi totalidad por el sumidero de la sima del Republicano. Se estima en 10 hm³/año.

d) Infiltración en los sumideros de la garganta de las Buitreras, estimada en 21 hm³/año.

A pesar de la incertidumbre derivada del desconocimiento de la fiabilidad de los datos registrados en las estaciones de aforo, parece muy probable que el manantial del Charco del Moro sea el más caudaloso de Andalucía. Posiblemente el caudal medio sea cercano a los 4 m³/s y en torno al 85 % de este caudal proceda de la recarga de la parte meridional y occidental del acuífero de la sierra de Líbar y de la mayor parte del acuífero de la sierra del Endrinal. El resto del caudal del manantial, unos 0,6 m³/s, procedería de la infiltración en el lecho fluvial del río Guadiaro y alguno de sus tributarios a su paso por la garganta de las Buitreras.

De ser correcta esta hipótesis, habría que admitir un área de recarga en las sierras de Líbar y Endrinal con una superficie de unos 83 km² y una tasa de recarga próxima a 1250 mm/año. Esta hipótesis, *a priori*, no parece ser contradictoria con los regis-

tos existentes en las estaciones meteorológicas de dicha área (ca. 1500 mm/a en Villaluenga del Rosario y Cueva de la Pileta y ca. 2000 mm/a en Grazalema). En cualquier caso, para corroborar estos resultados sería precisa la revisión y comprobación de las curvas de gasto de las estaciones de aforo del río Guadiaro y disponer de datos de precipitación en las cumbres de las sierras de Líbar y del Endrinal.

Agradecimientos

Los autores agradecen sinceramente a Antonio González Ramón y a un revisor anónimo sus comentarios y sugerencias.

Referencias

- Andreo, B., Vadillo, I., Carrasco, F., Neukum, C., Jiménez, P., Goldscheider, N., Hötzl, H., Vías, J.M. y Pérez, I. y Göppert, N. (2004). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 17(3-4), 187-197.
- CAPADR (2023). *Demarcación Hidrográfica Guadalete-Barbate. Plan hidrológico. Revisión de tercer ciclo (2022-27)*. Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural. Junta de Andalucía.
- IGME-DM-UMA, (2007). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga. Tomo 2*. Instituto Geológico y Minero de España, Diputación de Málaga y Universidad de Málaga, 220 p.
- Martín-Rodríguez, J.F., Sánchez-García, D., Mudarra, M., Andreo, B., López-Rodríguez, M. y Navas, M.R. (2016). En: *Las aguas subterráneas y la planificación hidrológica* (L. Martínez-Cortina y P. Martínez-Santos, Eds.). Congreso hispano-luso sobre las aguas subterráneas en el Segundo Ciclo de Planificación Hidrológica, 163-170.
- Martín-Rodríguez, J.F., Mudarra, M., Andreo, B., De la Torre, B., Gil-Márquez, J.M., Martín-Arias, J., Nieto, J.M., Prieto, J. y Rodríguez-Ruiz, M.D. (2018). En: *Advances in the Hydrogeology of Karst and Carbonate Reservoirs* (C. Bertrand, S. Denimal, M. Steinmann, M y P. Renard, Eds.). Springer, 101-108.
- Ruiz-Orive, A. (2005). *Metodología para la Elaboración de Planes de Operación de Centrales Hidráulicas en condiciones de explotación normal y su aplicación a la Central de Buitreras*. Proyecto Fin de Carrera, Univ. de Sevilla. 194 p.
- Sotelo, (2003). *Estudio hidrogeológico de la sierra de Líbar (Cádiz-Málaga)*. Proyecto Fin de Carrera, Univ. Pablo de Olavide. 87 p.