

Evolución del caudal y de la conductividad eléctrica en el río Lanjarón (Sierra Nevada, Granada)

Discharge and electrical conductivity evolution in the Lanjarón River (Sierra Nevada, Granada)

Manuel Rodríguez del Rosario¹, María Luisa Calvache Quesada^{1,2} y Manuel López Chicano^{1,2}

¹ Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avenida Fuente Nueva s/n. manurquezdelrosario@gmail.com, calvache@ugr.es y mlopez@ugr.es

² Instituto Universitario de Investigación del Agua. Universidad de Granada. C/ Ramón y Cajal, 4, Granada.

ABSTRACT

Acequias de careo have conditioned and modified the management of the water cycle in Alpujarra area since Al-Andalus times. This work focuses on studying the two main rivers of the Lanjarón basin to understand and quantify the exchange processes between the rivers and the aquifer. That is why a gauging campaign was carried out on Lanjarón and Salado river for several days in October, as well as a sampling of surface waters was also developed in order to elaborate electrical conductivity profiles throughout the months of August to November.

Key-words: river, fractured aquifer, gauging, groundwater, acequias de careo

Geogaceta, 73 (2023), 11-14
<https://doi.org/10.55407/geogaceta95516>
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

RESUMEN

Las acequias de careo han condicionado y modificado la gestión del ciclo del agua en la zona de la Alpujarra desde la época andalusí. Este trabajo se centra en estudiar los dos principales ríos de la cuenca del Lanjarón para identificar y cuantificar los procesos de intercambio entre los ríos y el acuífero. Para ello, se realizó una campaña de aforos del río Lanjarón y Salado en aguas bajas durante el mes de octubre de 2021, apoyado con mediciones de parámetros fisicoquímicos de las aguas superficiales para la elaboración de perfiles de conductividad eléctrica a lo largo de los meses de agosto a noviembre.

Palabras clave: río, acuífero fisurado, aforos, agua subterránea, acequias de careo

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

Introducción

Desde la época andalusí, para poder regar los cultivos y abastecer a las poblaciones de Sierra Nevada, se construyó una red de canales semipermeables excavados en el terreno, conocidos como acequias de careo. Esta técnica ancestral, que continúa activa en la actualidad, consiste en recoger el agua de deshielo de la cabecera de los ríos para posteriormente infiltrarla en zonas con mayor permeabilidad, a veces denominadas localmente "simas". En la práctica, esta red de canales regula el ciclo hidrológico al aumentar el caudal y duración de los manantiales y ríos durante el estiaje, coincidiendo con el descenso de la lluvia y el inicio del agotamiento de la reserva de agua en el suelo (Estévez Rodríguez, 2014). El resultado es un paisaje antropizado, pero con una gran singularidad, característico de toda la comarca de La Alpujarra. Un claro ejemplo de estas prácticas es el pueblo de Lanjarón, conocido como el pueblo del agua por su elevado número de manifestaciones hídricas.

El objetivo del estudio es localizar y cuantificar las principales zonas de descarga de agua subterránea en cada uno

de los dos principales cauces de la zona, el río Salado y el río Lanjarón, y establecer la naturaleza de la relación río-acuífero.

Área de estudio

La cuenca del río Lanjarón se sitúa en la vertiente suroccidental de Sierra Nevada, incluida dentro de los municipios de Lanjarón y el Valle de Lecrín. Presenta una morfología alargada de dirección aproximada NNE-SSE, una superficie de 54 km² y unas cotas máxima y mínima de 3.180 y 230 m s.n.m., respectivamente. El río Lanjarón recorre en dirección suroeste unos 21 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Dúrcal.

Desde el punto de vista geológico, en la zona afloran materiales de la Zona Interna de las Cordilleras Béticas. La cuenca del río Lanjarón está ubicada casi en su totalidad sobre el complejo Nevado-Filábride, compuesto mayoritariamente de micaesquistos, rocas cristalinas que, en general, presentan una baja permeabilidad. Los materiales de comportamiento acuífero se encuentran fundamentalmente en la capa de alteración subsuperficial, aunque el agua también puede circular en

profundidad a través de la red de fracturas que afectan a las metapelitas (Rodríguez Gordillo et al., 1981; Barberá et al., 2018; Martos-Rosillo et al., 2019). Al sur del área de estudio, en el pueblo de Lanjarón y por debajo del mismo, afloran materiales cuaternarios (depósitos de travertinos) superpuestos a filitas, cuarcitas y rocas carbonatadas del complejo Alpujárride.

Se reconocen accidentes tectónicos de mayor envergadura (detachment) como el contacto entre los materiales del Nevado-Filábride y del Alpujárride de dirección E-W y la falla NNW-SSE del arroyo Salado, ambas relacionadas con surgencias de mayor contenido salino, termales y con presencia de CO₂. Estas fallas, de rango cortical y con ascenso de CO₂ de origen en parte mantélico (Lix et al., 2018), hacen de colector de buena parte de la descarga de las aguas subterráneas de los esquistos Nevado-Filábrides y de su capa de meteorización, también gracias a la barrera que constituyen los afloramientos de filitas Alpujárrides (Castillo et al., 1999). También existen otras fracturas de dirección NW-SE a NNW-SSE y NE-SW con importancia en el flujo del agua subterránea.

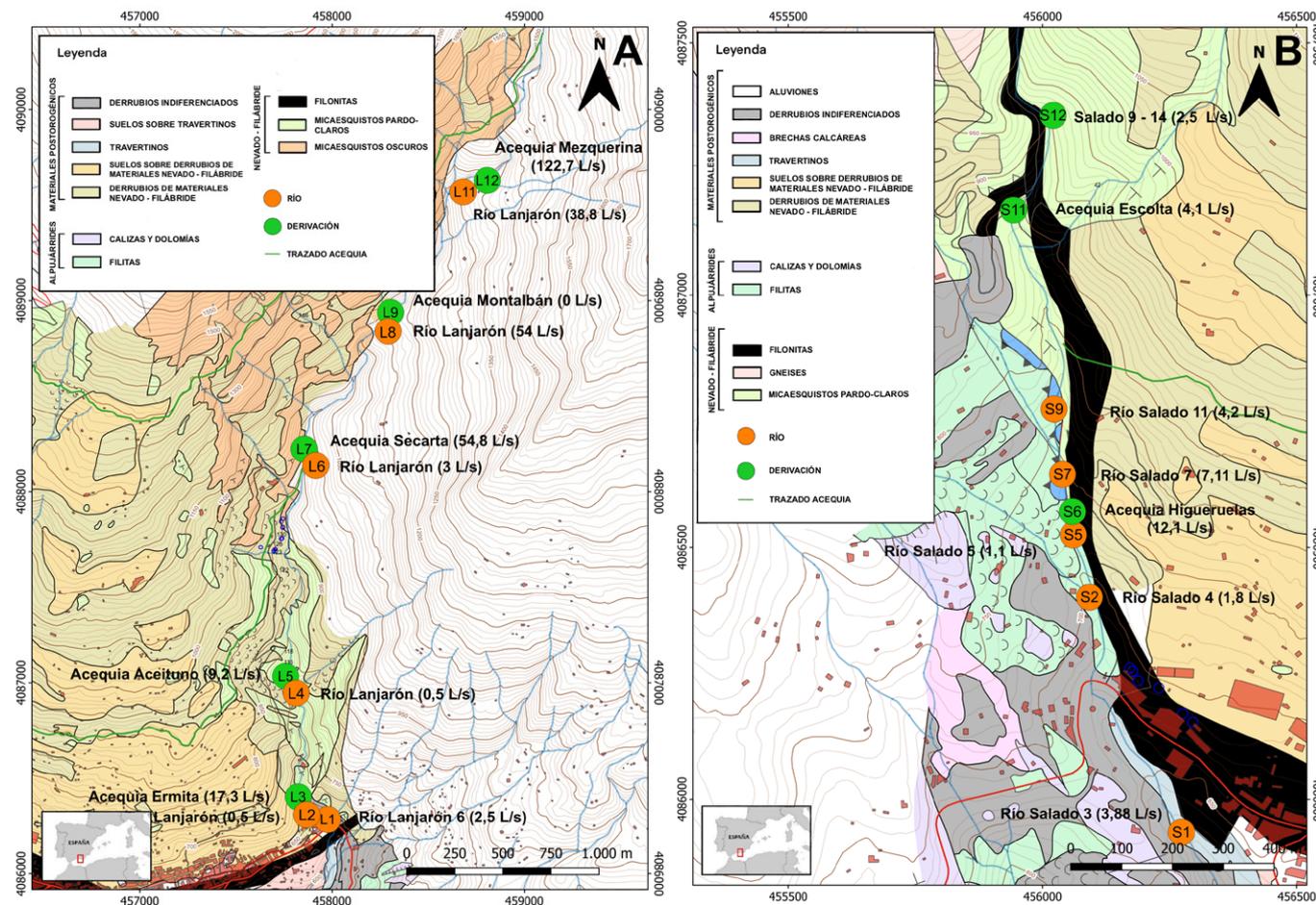


Fig. 1.- Mapa geológico y localización de los puntos de aforo en el río y en las acequias de derivación. A) Río Lanjarón. B) Río Salado. Cartografía modificada de Aguas Municipalizadas de Alicante, 1988. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Geological map and location of the gauging points in the river and acequias. A) Lanjarón river. B) Salado river. Modified cartography of Aguas Municipalizadas de Alicante, 1988. See color figure in the web.

Metodología

Inventario de puntos de agua

Se llevó a cabo un inventario de puntos de agua desde el 23 de agosto al 17 de noviembre de 2021, tanto de aguas subterráneas como superficiales del río Lanjarón y del río Salado. En total se inventariaron 169 puntos, de los cuales 118 son de aguas subterráneas (19 sondeos horizontales, 60 surgencias naturales, 33 manantiales y 6 rezumes) y 50 son de aguas superficiales (39 ríos y 11 acequias). Durante la fase de inventario se realizaron medidas de conductividad eléctrica (25 °C) y otros parámetros físico-químicos, usando una sonda multiparamétrica de campo de la marca Hanna Instruments, modelo HI98194, para medir los parámetros in situ. Dichas medidas han permitido realizar los perfiles de conductividad eléctrica a lo largo del río Lanjarón y del río Salado, y para explicar los datos obtenidos en la campaña de aforos.

Campaña de aforos

Se ha llevado a cabo una campaña de aforos en los dos principales cauces de la cuenca del Lanjarón: el día 11 de noviembre de 2021 en el río Lanjarón y el 17 de noviembre de 2021 en el río Salado. Se escogieron 11 localizaciones para el río Lanjarón y 8 para el Salado (Figs. 1A y B), algunas de difícil acceso. Se midió el caudal del río en los diferentes puntos, así como las salidas y entradas que se producían por acequias y manantiales visibles. Debido a la complejidad para acceder al río Lanjarón, los puntos seleccionados para aforar el río corresponden fundamentalmente a las tomas de las acequias que permiten un fácil recorrido y tienen una buena distribución. En el barranco Salado no ha habido grandes problemas para acceder a la mayor parte del cauce. Por debajo del pueblo de Lanjarón no se han tomado medidas de caudal al haber mezcla con aguas residuales procedentes de Lanjarón. Se ha utilizado el método de aforo químico de inyección instantánea

de trazador (aforador salino de tipo SalinoMADD, de la casa MADD Technologies Sarl), debido a las características particulares que presentan el río Salado y el río Lanjarón, como son: régimen turbulento, sección a aforar irregular y elevada pendiente con pequeñas cascadas y remansos, que hacen poco apropiado el método mediante micromolinete. Como trazador se usó sal común en distintas cantidades en función del caudal del cauce a aforar.

Resultados

Aforos Río Lanjarón y Río Salado

A partir de los resultados obtenidos en esta campaña de aforos se ha podido establecer que el caudal del río Lanjarón en régimen natural para el momento del estudio es de 206,5 L/s (Figura 2A), asumiendo que no hay derivaciones ni retornos de acequias. Entre el punto aforado más arriba (L12, acequia Mezquerina) y el punto aforado más abajo (L1, Río Lanjarón 6),

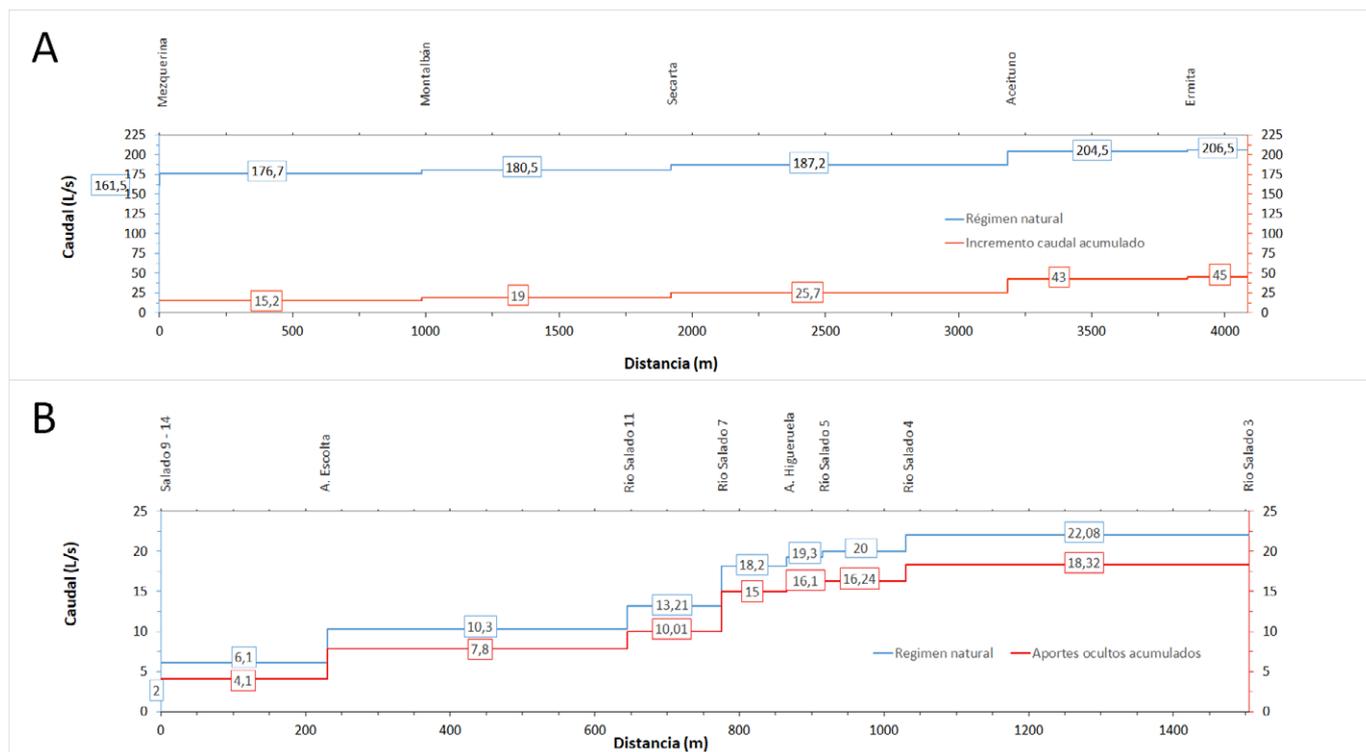


Fig. 2.- Caudal en régimen natural (azul) y valores acumulados del incremento de caudal por tramos (rojo). A) Río Lanjarón. B) Río Salado. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Flow in the natural regime (blue) and accumulated values of the increase in flow by section (red). A) Río Lanjarón. B) Río Salado. See color figure in the web.

hay un aumento claro de caudal que se ha estimado en 45 L/s, que corresponden a descargas de aguas subterráneas. Los sectores del río donde se produce una mayor ganancia de caudal se localizan en la parte baja, entre las acequias Aceituno y Ermita, con una ganancia de 17,3 L/s en unos 600 m de longitud, y en la parte alta, entre las acequias Mezquerina y Montalbán, con un incremento de 15,2 L/s en unos 1000 m de longitud.

En el río Salado, tanto el caudal restituido (22,08 L/s) como el incremento de caudal ocurrido en el tramo estudiado (18,32 L/s) son inferiores a las cifras anteriores (Figura 2B). La mayor ganancia de caudal ocurre en la mitad más alta del tramo de arroyo Salado estudiado, con un incremento de unos 8 L/s en unos 650 m de longitud. Todo este caudal proviene de manantiales no identificados durante el inventario, ya que a fecha del aforo no había entradas de agua provenientes de las acequias del río Lanjarón (Nueva, Montalbán o Secarta).

Perfiles de conductividad eléctrica del Río Lanjarón y del Río Salado

Las aguas superficiales presentan parámetros muy estables en la parte alta del río Lanjarón (Figura 3), pero se incremen-

ta la conductividad de forma rápida al llegar a la altura de la acequia Ermita (a la altura del pueblo de Lanjarón), que pasa de 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la acequia Nueva a 637 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en este punto. A partir de la toma de la acequia Ermita, las aguas se tornan de un color rojizo; hay una presencia notable de burbujas de CO_2 y precipitación de óxidos de hierro asociados a surgencias de alta salinidad, alcanzando valores por encima de 12.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el arroyo Salado se produce un aumento de salinidad después de pasar la acequia Higuieruelas (Figura 3), debido a la descarga de surgencias difusas de alto contenido salino, que aumentan la conductividad de valores medios de 400 a más de 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El cambio brusco de la conductividad se produce a diferente cota en ambos cauces. En el río Lanjarón a 660 m s.n.m. y a 720 m s.n.m. en el río Salado.

Discusión

Los incrementos de caudal en ambos ríos nos indican que son ríos netamente ganadores que reciben importantes descargas de aguas subterráneas a lo largo de su recorrido. El encajamiento de los ríos Lanjarón y Salado, en el que proliferan superficies verticales y vertientes abruptas,

sumado a una espesa vegetación, ha dificultado su acceso y recorrido total, impidiendo el reconocimiento y aforo en ciertas zonas. Se ha comprobado que existen descargas difusas a lo largo de ambos ríos, ya que, al derivar toda el agua del río hacia una acequia, surge más agua en el cauce donde antes estaba seco.

La conductividad aumenta progresivamente de norte a sur en ambos cauces. Sin embargo, se detecta mayor variabilidad composicional y de calidad en el sector próximo al pueblo de Lanjarón en ambos cauces. El incremento de conductividad a distinta cota indica que la descarga de aguas más salinas se produce a diferente cota en ambas cuencas. Una explicación que podría justificar este hecho es que, como cabría esperar, las surgencias con mayor contenido salino están asociadas a la circulación de aguas subterráneas más profundas y de mayor tiempo de residencia (Rodríguez Gordillo et al., 1981) que afloran a la superficie a favor de la zona de contacto tectónico entre Nevado-Filábride y Alpujarride de dirección E-W coincidiendo con la localización del pueblo (Sanz de Galdeano et al., 1985). Esta falla es relevada tectónicamente por otra de dirección NNW-SSE en el barranco Salado ganando cota de forma progresiva.

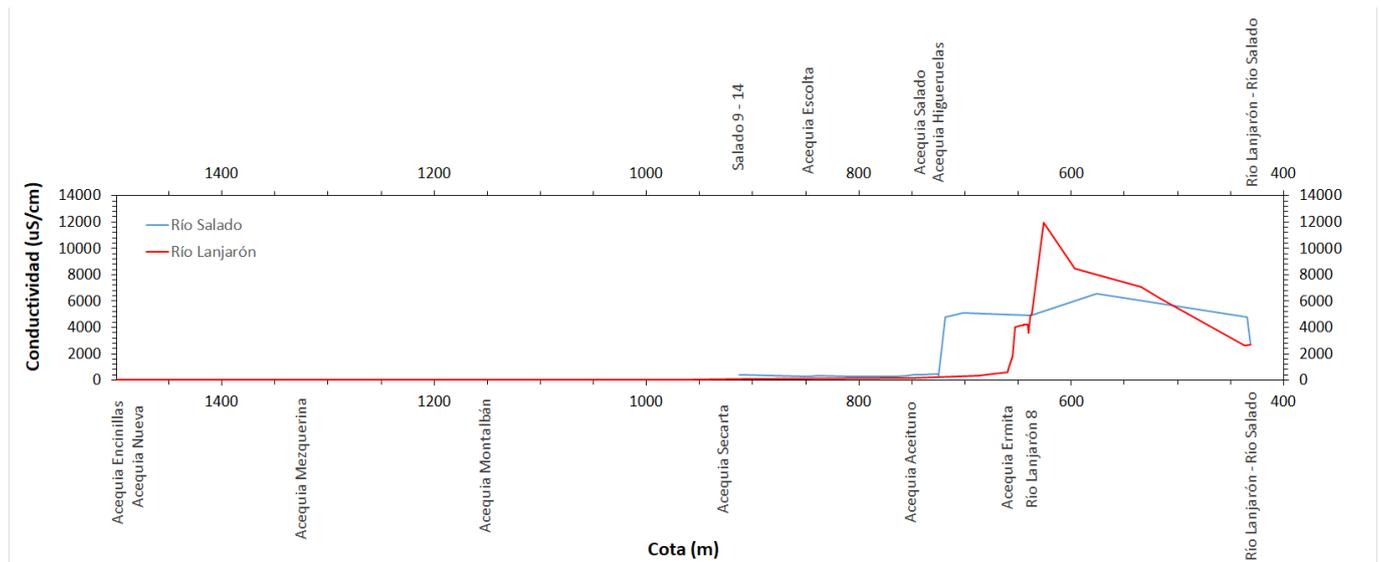


Fig. 3.- Perfiles de conductividad eléctrica del río Lanjarón y del Salado. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Electrical conductivity profiles of the Lanjarón and Salado river. See color figure in the web.

Conclusiones

Los resultados de la campaña de aforo en aguas bajas han permitido estimar el caudal de descarga de aguas subterráneas que se produce en cada uno de los tramos de los ríos Lanjarón (45 L/s) y Salado (18,32 L/s), demostrando la permeabilidad de los materiales subyacentes y el carácter ganador de los ríos. Los perfiles de conductividad eléctrica de los ríos han establecido la cota de descarga de surgencias difusas de alto contenido salino, 660 m s.n.m. en el río Lanjarón y 720 m s.n.m. en el río Salado, debido al cambio de dirección de la zona de contacto tectónico entre ambos complejos.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por la empresa Aguas Danone SA en el

marco de un estudio hidrogeológico del sector próximo a la población de Lanjarón. Se agradece la información aportada por el Ayuntamiento y la Comunidad de Regantes de Lanjarón.

Referencias

- Aguas Municipalizadas de Alicante. (1988). *Estudio hidrogeológico y propuestas de gestión de los manantiales de Lanjarón*. Informe inédito para Aguas de Lanjarón S.A. 95 p.
- Barberá, J.A., Jódar, J., Custodio, E., González-Ramón, A., Jiménez-Gavilán, P., Vadillo, I., Pedrera, A. y Martos-Rosillo, S. (2018). *Science of the Total Environment*, 640–641: 874–893. <https://doi.org/h34g>
- Castillo, A., Cruz-Sanjulián, J.J. y Benavente, J. (1999). *Balneario de Lanjarón, Granada*, 35-64.
- Estévez Rodríguez, B. (2014). El hombre

- y el agua. La Comunidad de Regantes de las Acequias y Aguas de los lugares de la Villa de Lanjarón. Comunidad de Regantes de Lanjarón. Informe inédito.
- Lix, C., Zuddas, P., Inguaggiato, C., Guichet, X., Benavente, J. y Barbier, M. (2018). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19, 4945–4956. <https://doi.org/h34h>
- Martos-Rosillo, S., González-Ramón, A., Ruiz-Constán, A., Marín-Lechado, C., Guardiola-Albert, C., Moral-Martos, F., Jódar, J. y Pedrera, A. (2019). *Boletín Geológico y Minero*, 130. 729-742. <https://www.researchgate.net/publication/339358986>
- Rodríguez Gordillo, J., Velilla, N. y Fernández Rubio, R. (1981). *I Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada*.
- Sanz de Galdeano, C., Rodríguez-Fernández, J., López-Garrido, A. (1985). *Geologische Rundschau*, 74, 641–655. <https://doi.org/fjf9bk>