

Cambios hidrológicos en el entorno de la laguna de Los Tollos (Cádiz-Sevilla, España) en el contexto de su restauración

Hydrological changes around Los Tollos shallow lake (Cadiz-Seville, Spain) in the context of its restoration

Mario Parra, Francisco Moral y Miguel Rodríguez-Rodríguez

Universidad Pablo de Olavide, Carretera de Utrera, km. 1, 41013-Sevilla, España.
mparcac@upo.es, fmormar@upo.es, mrodrod@upo.es

ABSTRACT

A brief description of the hydrogeology of the Ground Water Body (GWB) of Lebrija (Cadiz-Seville) has been made, especially of its southern part, where Los Tollos shallow lake is located. An open pit mine of fibrous clays in the vicinity of the lake, as well as groundwater withdrawals to facilitate the mining and supply for urban and agricultural use, produced significant impacts on the natural hydrogeological functioning of the shallow lake. Such impacts were mainly a general lowering of the water table in the area and migration of saline water. The hydrogeological evolution of the area, after the ending of the environmental pressures, shows both a general recovery in all the aquifers of the GWB and a tendency for equilibrium. This recovery, although positive, is still not enough to achieve a complete environmental restoration of the lake, which is the main objective of the project in which this work is framed.

Key-words: Lebrija aquifer, hydrological impacts, restoration, shallow lake, piezometric data.

RESUMEN

Se realiza una descripción sintética de la hidrogeología de la masa de agua subterránea (M.A.Sb.) de Lebrija (Sevilla-Cádiz), y en particular del sector meridional de la misma donde se asienta la laguna de Los Tollos. El establecimiento de una explotación minera de arcillas fibrosas en el entorno de la laguna, así como las extracciones de aguas subterráneas para facilitar las labores mineras y para el abastecimiento urbano y el uso agrícola, produjeron impactos importantes sobre el funcionamiento hidrogeológico natural, principalmente caídas en los niveles piezométricos y migración de aguas salinas. La evolución hidrogeológica en el entorno de la laguna tras el cese de las actividades impactantes, indica una recuperación general de niveles en todos los subsistemas, y una tendencia a la igualación de los mismos. Esta recuperación, aunque positiva, es aún insuficiente de cara a la restauración ambiental que persigue el proyecto en que se enmarca este trabajo.

Palabras clave: Acuífero de Lebrija, impactos hidrológicos, restauración, laguna, piezometría.

Geogaceta, 54 (2013), 123-1126.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 30 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

Introducción

La laguna de Los Tollos (El Cuervo y Jerez de la Frontera, Sevilla y Cádiz respectivamente) es objeto en la actualidad de un proyecto Life, financiado por la Unión Europea y la Junta de Andalucía, encaminado a su restauración tras los impactos derivados de la explotación a cielo abierto de arcillas fibrosas, que afectaron a gran parte de la cuenca e incluso a la cubeta lacustre. Una de las acciones del proyecto aborda la hidrogeología del sistema, factor ambiental clave y uno de los sometidos a impactos más importantes. El presente artículo pretende reflejar los principales resultados de los trabajos realizados hasta el momento en el marco de la mencionada acción. El objetivo es doble: por un lado, realizar una sín-

tesis sobre la hidrogeología de la masa de agua subterránea de Lebrija, sobre la que se sitúa la laguna; y, por otro, describir los cambios ocurridos en el funcionamiento hidrológico del entorno de Los Tollos a consecuencia de la explotación minera y, tras su abandono, hasta la actualidad.

Este artículo se basa en la revisión de los antecedentes bibliográficos, y en la elaboración de un inventario de 185 puntos de agua con datos asociados. El inventario aúna los puntos y datos procedentes de organismos oficiales (Instituto Geológico y Minero de España, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Ministerio de Agricultura), los que figuran en los antecedentes bibliográficos, y los generados en la actualidad en el marco del proyecto Life, referidos tanto a la masa de agua subterránea

de Lebrija como, en especial, al entorno de la laguna de Los Tollos. Los datos incluyen, entre otros elementos, series temporales de control piezométrico en numerosos puntos.

Hidrogeología de la masa de agua subterránea de Lebrija

El sistema hidrogeológico general en el que se enmarca la laguna de Los Tollos es el representado por la masa de agua subterránea (M.A.Sb.) 05.52, de Lebrija. Su límite oficial solo se encuentra ajustado a los bordes de los acuíferos por el este (Fig. 1). El área así delimitada se encuentra en la Campiña Andaluza occidental, en las provincias de Sevilla y Cádiz. Presenta un relieve bajo, llano o acolinado, suavemente inclinado hacia el Norte. El drenaje superficial se ca-

Hidrogeología del entorno de la laguna de Los Tollos

En el borde meridional de la M.A.Sb. de Lebrija se encuentra la pequeña cuenca endorreica de la laguna de Los Tollos. Esta laguna, con 81 ha. en origen y 65 tras la intervención minera, es la cuarta de mayor extensión dentro de las lagunas de campiña andaluzas. Presenta un alto valor ecológico, por su extensión y por encontrarse en el extremo occidental del conjunto de lagunas de campiña, cerca de los humedales del Bajo Guadalquivir y costa gaditana.

En el sector de la laguna, las características hidrogeológicas de la columna son, de muro a techo (Fernández-Rubio *et al.*, 1982a; Moral *et al.*, 2008b; Fig. 2): a) sustrato de baja permeabilidad de la masa de agua subterránea (sobre todo margas miocenas); b) acuífero AP-C, con hasta 20 m. de espesor; c) acuitardo de la "serie de Los Tollos", con hasta 54 m. de espesor, poco extenso y con una morfología cóncava hacia arriba, integrado por margas, calizas y arcillas (Galán y Ferrero, 1982); y d) relleno fluvio-lacustre que constituye el denominado "acuífero de fondo de cubeta" de la laguna de Los Tollos (Moral *et al.*, 2008b). Además, un glacis que forma parte del acuífero PQ-C recubre el borde oriental de la cubeta lacustre.

De este modo, el acuífero de fondo de cubeta queda limitado, por debajo y lateralmente, por el acuitardo de la serie de Los Tollos, el cual se extiende en superficie por una buena parte de la cuenca endorreica. Semejante disposición lleva (Moral *et al.*, 2008b) a asimilar el funcionamiento hídrico natural de la laguna de Los Tollos al modelo propuesto por Moral *et al.* (2008a) para las "lagunas de campiña" asentadas sobre margas triásicas de baja permeabilidad.

Así, en condiciones naturales, las principales entradas de agua a la laguna vendrían dadas por la precipitación directa y la escorrentía desde la cuenca vertiente, y las salidas por la evapotranspiración desde la cubeta lacustre. Esto explicaría la salinidad elevada de las aguas de la laguna y del acuífero de fondo de cubeta. La laguna presentaría un hidroperiodo medio estacional, con importante variabilidad interanual (Moral *et al.*, 2008b).

El nivel piezométrico en AP-C presenta un límite máximo superior por la presencia de un manantial en su borde sur. En condiciones naturales, las diferencias de niveles

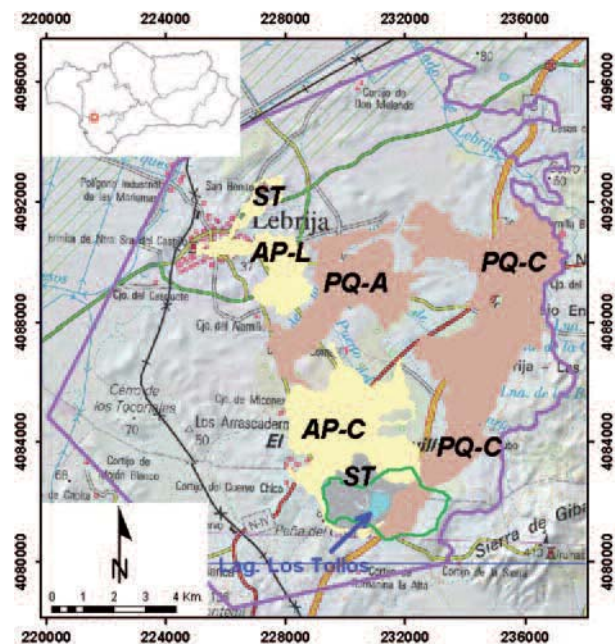


Fig. 1.- Situación geográfica de la zona de estudio y de los principales acuíferos (AP-L, AP-C, PQ-A y PQ-C) de la masa de agua subterránea de Lebrija. ST: acuitardo de la serie de Los Tollos. Línea violeta: límite oficial de la masa. Línea verde: cuenca vertiente de la laguna.

Fig 1. - Geographic location of the study area and of the main aquifers (AP-L, AP-C, PQ-A y PQ-C) that forms the ground water body of Lebrija. ST: "serie de Los Tollos" aquitard. Purple line: official limit of such ground water body. Green line: lake's watershed.

naliza a través de una red de arroyos de marcada estacionalidad y caudales reducidos, que confluyen hacia las marismas situadas al norte.

Existe en la zona (García-Hernán, 1990; Martín y Bascones, 1977) un sustrato de baja permeabilidad continuo, unas veces aflorante y otras cubierto, integrado por diversas litologías en contacto: arcillas con evaporitas triásicas, arenas con intercalaciones margosas paleógenas, margas blancas oligoceno-miocenas y margas azules mioceno-pleiocenas. En última instancia, los materiales triásicos se extienden bajo toda la zona.

Sobre este sustrato de baja permeabilidad se disponen, de manera discontinua, los siguientes materiales de mayor permeabilidad: arenas pliocenas, pliocuaternario detrítico (de texturas variables entre arcillas y cantos) y un glacis limoso cuaternario. De acuerdo con criterios cartográficos, hidrogeológicos e hidroquímicos, se han distinguido (García-Hernán, 1990) los siguientes acuíferos en la M.A.Sb.: arenas pliocenas de Lebrija (en adelante, AP-L), arenas pliocenas de El Cuervo (AP-C), pliocuaternario de Las Arenas (PQ-A) y glacis-pliocuaternario de El Cubo (PQ-C).

En AP-L se han medido (García-Hernán, 1990) permeabilidades de 0,49-1,1 m/día; 1-3 m/día en AP-C (en el entorno de Los Tollos); hasta 8,6 m/día en PQ-C; y alrededor de 0,2 m/día en PQ-A. En cuanto a la salinidad, los valores asociados a los puntos de agua del inventario indican que las aguas subterráneas de PQ-A son salinas,

con conductividades eléctricas por encima de los 20 mS/cm. Los demás acuíferos contienen aguas salobres, en el rango 2-5 mS/cm, o incluso dulces, como ocurre en el borde meridional de AP-C (por debajo de 1,5 mS/cm). Las facies hidroquímicas (García-Hernán, 1990; Durán-Valsero *et al.*, 2003) tienden a ser cloruradas y sódicas, aunque con tendencias bicarbonatadas y cálcicas sobre todo en las arenas pliocenas, y algo sulfatadas en las proximidades de materiales triásicos. Existe una variabilidad espacial de la salinidad dentro de los acuíferos, relacionada con la cercanía de materiales evaporíticos, presencia de zonas húmedas antiguas o actuales, y estratificación por salinidad.

La piezometría para los puntos del inventario en el conjunto de la masa de agua, coincidente a grandes rasgos con la topografía, determina una dirección principal S-N para el flujo subterráneo. Los principales arroyos ganadores serían los que discurren sobre el acuífero PQ-A hacia el nordeste, que drenan el acuífero AP-C y una zona del AP-L. No obstante, algunos datos sugieren que el nivel piezométrico en la mencionada zona del AP-L está muy alterado y deprimido por extracciones para riego, al menos desde finales de los años 90. Al nivel en AP-C haremos alusión más adelante.

A escala anual, muchos puntos presentan descensos importantes de nivel en primavera-verano por bombeo, de hasta 7 m. en ocasiones, si bien se recuperan con las lluvias, por lo que no afecta a las tendencias entre años.

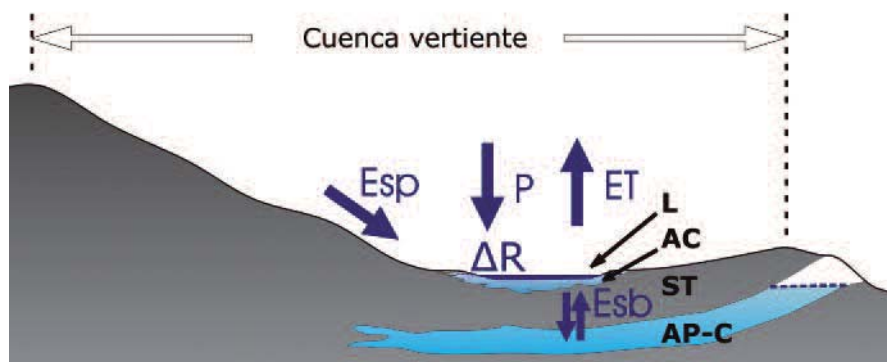


Fig. 2.- Modelo hidrológico conceptual en el entorno de la laguna de Los Tollos. Esp, escorrentía superficial desde la cuenca vertiente; P, precipitación directa; ET, evapotranspiración; Esb, escorrentía subterránea a través del acuitardo; R, variación de las reservas; L, lámina de agua; AC, acuifero de fondo de cubeta; ST, acuitardo de la serie de Los Tollos; AP-C, acuifero de las arenas pliocenas de El Cuervo. Bajo AP-C, se extiende el sustrato de baja permeabilidad de la M.A.Sb. de Lebrija.

Fig 2. - Conceptual hydrological model in the nearby area of Los Tollos shallow. Esp, runoff from the watershed, especially from the glacis, P, direct precipitation; ET, evapotranspiration, Esb, groundwater runoff through the aquitard "serie de Los Tollos"; R, change in the storage; L, surface water level; AC, quaternary aquifer, ST, "serie de Los Tollos" aquitard; AP-C, Pliocene sands aquifer of El Cuervo. Under AP, the low permeability substrate of Lebrija's GWB continue.

piezométricos en el acuifero de fondo de cubeta y en AP-C no favorecerían una escorrentía subterránea de importancia a través del acuitardo de la serie de Los Tollos.

Impactos hidrogeológicos

El funcionamiento natural de este dispositivo hidrogeológico se ha visto fuertemente afectado por dos actividades humanas: a) la extracción minera de las arcillas fibrosas que se encuentran en la serie de Los Tollos, y b) la extracción de aguas subterráneas para el abastecimiento urbano de El Cuervo, la actividad minera y, finalmente, para uso agrícola.

La extracción de aguas subterráneas produjo un importante cono de depresión del nivel piezométrico del acuifero AP-C, con la máxima depresión al SO de la laguna, bajo el acuitardo de la serie de Los Tollos (FRASA, 1995).

La actividad minera, por su parte, genera numerosos impactos (Moral *et al.*, 2008b). Aparecen tres cortas, que fragmentan la cuenca vertiente. Dos de ellas se abren sobre la parte occidental de la antigua cubeta lacustre. En esta misma parte de la cubeta, el acuifero de fondo de cubeta es reemplazado por materiales estériles removidos; el conjunto formado por estos materiales y el acuifero de fondo de cubeta remanente, constituye el nuevo "acuifero cuaternario".

Durante la explotación, el agua que se infiltraba desde el fondo de cubeta hacia

las cortas a través del acuifero cuaternario era bombeada y devuelta a la cubeta lacustre, lo que mantenía un hidropериodo permanente en la laguna, pero producía un importante consumo de aguas subterráneas mediante evaporación. Al cese de la minería, se abandona el bombeo, de modo que el agua sigue infiltrándose desde el fondo de cubeta hacia las cortas y la laguna se seca. Solo sufre inundaciones esporádicas en periodos de lluvia intensa. En contrapartida, las cortas comienzan a inundarse. Este flujo conlleva un lavado de sales desde el fondo de cubeta hacia las cortas.

Por otro lado, las cortas supusieron la desaparición local de un importante espesor del acuitardo de la serie de Los Tollos, lo que, junto con la probable existencia de sondeos profundos no sellados, incrementa la comunicación hídrica entre las aguas de las cortas y el AP-C infrayacente. Esto, unido a la ya comentada depresión piezométrica en AP-C, podría haber provocado (FRASA, 1995) un flujo subterráneo de aguas salinas desde las charcas y el acuifero cuaternario hacia el AP-C. Los tramos evaporíticos de la serie de Los Tollos podrían haber contribuido a la salinidad de este flujo hídrico.

Evolución reciente

Desde el abandono, en la segunda mitad de los años 90, de la actividad minera y de las extracciones de aguas subte-

rráneas para abastecimiento urbano, el nivel de agua de las charcas formadas en las canteras y del acuifero cuaternario (tanto en la parte correspondiente al acuifero de fondo de cubeta como en la correspondiente al material removido por la minería) ascienden progresivamente. El mayor incremento fue de 14,5 m. entre 2007 y 2012, y corresponde a la charca llamada "Honda" en Moral *et al.* (2008b). Es igualmente notable el ascenso en las charcas "Larga" y "Grande". El nivel en el acuifero de fondo de cubeta es el que menos asciende, y aún se encuentra 1,80 m. bajo el lecho lacustre en enero de 2013. Por otro lado, los niveles de todos estos elementos tienden a igualarse entre sí, hasta situarse en 53-54 m.s.n.m. en octubre de 2012 (Fig. 3), lo que implica una progresiva disminución de los gradientes hidráulicos entre ellos.

En AP-C, por su parte, la depresión artificial del nivel piezométrico también ha experimentado una progresiva y pronunciada recuperación. Desde 1996 se registran ascensos en diversos puntos, con un ascenso máximo de 18,30 m. en uno de los antiguos sondeos de abastecimiento urbano. La recuperación de los niveles en AP-C implica también una reducción de los gradientes hidráulicos y los hipotéticos flujos hídricos entre el acuifero AP-C y el acuifero cuaternario y las charcas.

Conclusiones

Existe una relación estrecha de las aguas subterráneas del acuifero cuaternario con las aguas superficiales de la laguna de Los Tollos y de las charcas formadas en las cortas mineras. Asimismo, es posible que exista una comunicación con el acuifero AP-C infrayacente, a través del acuitardo de la serie de Los Tollos.

El bombeo hacia la laguna del agua subterránea que afloraba en las cortas mineras, supuso un importante consumo de reservas hídricas subterráneas del acuifero cuaternario mediante evaporación. Al cesar el bombeo, el agua se infiltró hacia las cortas y se desecó la laguna. Por otro lado, las extracciones de aguas del acuifero AP-C para abastecimiento urbano y regadíos, deprimieron fuertemente el nivel piezométrico en el acuifero AP-C en este sector.

El abandono de la actividad minera y de la extracción de aguas para abastecimiento urbano, está ocasionando una re-

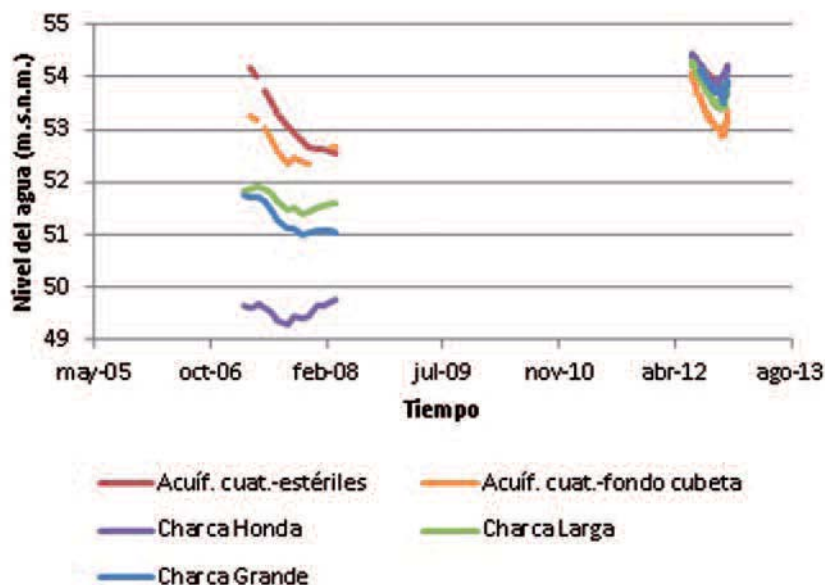


Fig. 3.- Nivel de la lámina de agua en las charcas de las tres cortas (Honda, Grande y Larga) y nivel piezométrico en el acuífero cuaternario (tanto en su zona de fondo de cubeta lacustre como en la de materiales removidos por minería). Nótese el ascenso e igualación de los niveles. Datos de 2007-2008 tomados de Moral et al. (2008b).

Fig 3. - Water level in the three remaining pits (Honda, Grande and Larga) and groundwater level in the Quaternary aquifer (both at the lake basin and in the material removed by the mining activities). Note the rise of the levels and the tendency for equilibrium. Data for 2007-2008 taken from Moral et al. (2008b).

cuperación espontánea y progresiva de los niveles piezométricos, tanto en el acuífero AP-C (bajo el acuitardo de la serie de Los Tollos), como en el acuífero cuaternario y las charcas de las cortas (sobre el acuitardo). No obstante, la recuperación aún es insuficiente, y el nivel freático en el acuífero de fondo de cubeta aún no ha alcanzado el lecho de la laguna.

Dada la recuperación de niveles, el restablecimiento de la topografía original y el relleno e impermeabilización de las

cortas, previstos en el proyecto Life, deberían de bastar para la restauración del funcionamiento hidrológico natural del entorno de la laguna de Los Tollos, con las correspondientes consecuencias positivas sobre los restantes factores ambientales, en especial los bióticos. En cualquier caso, se considera imprescindible el seguimiento y monitorización de las principales variables hidrológicas en el entorno de la laguna, durante y después de las obras de restauración.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto Life 09 ENV/ES/000472. Agradecemos los comentarios de María del Carmen Hidalgo y otro revisor anónimo, que han contribuido a mejorar la calidad de este trabajo.

Referencias

- Durán-Valsero, J.J., López-Geta, J.A., Martín-Machuca, M., Maestre Acosta, A., Pérez Martín, P. y Mora Fernández, P. (coord.) (2003). *Atlas hidrogeológico de la provincia de Sevilla*. IGME-Diputación de Sevilla, 208 p.
- Fernández-Rubio, F., Lozano-Vega, A. y Pulido-Bosch, A. (1982). *Estudio hidrogeológico preliminar. Laguna de Los Tollos (Lebrija-Sevilla)*. Universidad de Granada, 44 p.
- FRASA (1995). *Mina de Los Tollos. Actualización y análisis de la información hidrogeológica disponible*. Informe inédito.
- Galán, E. y Ferrero, A. (1982). *Clay and Clay Minerals* 30, 191-199.
- García-Hernán, O. (1990). *Informe 10/90: recarga experimental en el acuífero de Lebrija*. Dirección General de Obras Hidráulicas, MOPU.
- Martín, D. y Bascones, L. (1977). *Mapa geológico de España 1:50000, hoja nº 1034 (Lebrija) y memoria*. IGME. 18 p.
- Moral, F., Rodríguez-Rodríguez, M., Beltrán, M., Benavente, J. y Ortega, F. (2008a). *Definición del contexto hidrogeológico de humedales de la Campiña Andaluza Central*. Vol. I y II. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, 335 p.
- Moral, F., Rodríguez-Rodríguez, M. y Beltrán, M. (2008b). *Estudio hidrogeológico de la laguna de Los Tollos y otros humedales de la provincia de Cádiz*. Vol. I: *Laguna de Los Tollos*. EG-MASA, 127 p.