

La evaluación de la recarga como contribución al conocimiento hidrogeológico del acuífero carbonático de la Sierra de la Silla (Parque Natural de la Sierra de Grazalema, Cádiz)

Assessment of the recharge as a contribution to the hydrogeological knowledge of the carbonate aquifer of Sierra de la Silla (Sierra de Grazalema Natural Park, Cadiz)

Sergio Martos-Rosillo ^(1,2), Miguel Rodríguez-Rodríguez ⁽²⁾, Fátima Tirado ⁽²⁾, José Manuel Bruque ⁽²⁾ y Antonio González-Ramón ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Geológico y Minero de España. Of. de proyectos de Granada, Urbanización Alcazar del Genil, 4. Edificio Zulema, bajo. 18006 Granada. s.martos@igme.es; antonio.gonzalez@igme.es

⁽²⁾ Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales. Universidad Pablo de Olavide. Carretera de Utrera, km 1. 41013. Sevilla, mrodrod@upo.es

ABSTRACT

The Sierra de la Silla aquifer is the smallest (10 km² of permeable outcrops) and westernmost aquifer forming part of the Grazalema Natural Park, situated to the NE of the Cádiz province. Previous works suggested its detailed investigation, due to the fact that it was supposed to be a representative subsystem of the karstic aquifers forming the hydrogeological unit of Sierra de Grazalema and, in addition, a straightforward system to be studied. The continuous monitoring of the flow rate of La Esparragosilla spring (though to represent the main discharge zone of the whole aquifer) and the comparison of such flow rate with diverse and independent estimations of the value of the recharge (daily soil water budget, chloride mass balance and the APLIS method), allowed us to prove that the recharge in this aquifer is markedly higher than the discharge of the cited spring. The distribution of the outflows through different sectors of the aquifer and its small dimensions hinders the development of organized conduit network, being this circumstance different from other known karstic aquifers of the Grazalema Natural Park. For these reasons, the hydrogeological functioning of the carbonate aquifer of Sierra de la Silla was found to be poorly representative of the majority of the carbonate aquifers of Sierra de Grazalema.

Key words: Karstic aquifer, evaluation of recharge, Grazalema, Cadiz.

Geogaceta, 48 (2010), 139-142
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

Introducción

Los afloramientos del acuífero carbonático de la Silla constituyen una modesta elevación que culmina en el vértice del mismo nombre (La Silla) y representan el sistema kárstico más occidental atribuible al Subbético Ultrainterno en la Sierra de Grazalema (Moreno, 1991) (Fig. 1). Sus pequeñas dimensiones (algo menos de 10 km² de afloramientos permeables), su perímetro supuestamente cerrado al flujo subterráneo y sus características litológicas y estructurales han hecho que este acuífero fuese considerado como un sistema representativo del funcionamiento hidrogeológico del resto de la masa de agua subterránea de la Sierra de Grazalema (IGME, 1992).

En los estudios previos (IGME, 1984, 1992, MMA 1998) se determinó un coeficiente de infiltración del 15 %, valor notablemente inferior al calculado en otros

acuíferos de similares características hidrogeológicas de la Cordillera Bética (Andreo *et al.*, 2008) y en condiciones meteorológicas también parecidas

Los objetivos de este trabajo han consistido en mejorar el conocimiento hidrogeológico del acuífero y en evaluar, con especial detalle, su recarga. Para alcanzar estos objetivos, se ha actualizado el inventario de puntos de agua, se ha controlado el caudal del manantial de La Esparragosilla (principal punto de drenaje del acuífero) y se ha evaluado la recarga utilizando varios métodos diferentes: balance diario de agua en el suelo, balance de cloruros disueltos en el agua y el método APLIS (Andreo *et al.*, 2008). Con los citados métodos se obtiene un valor similar de la recarga media, que no coincide con el calculado a partir de la descarga medida en el manantial de la Esparragosilla ni con las estimaciones de la recarga realizadas en trabajos previos,

debido a que buena parte de la descarga se realiza por los manantiales, no controlados, existentes en la vertiente E de la Sierra, e incluso, de forma oculta, por su sector N, hacia el río Tavizna. Por otro lado, las investigaciones realizadas evidencian que este acuífero presenta un comportamiento hidrogeológico más inercial que el de otros acuíferos muy próximos, de la propia Sierra de Grazalema, como los de Hondón, Endrinal o Ubrique, que funcionan como sistemas kársticos bien jerarquizados (MMA, 1998).

Características del área de estudio

La Sierra de la Silla está situada entre el embalse de los Hurones y las depresiones de los ríos Tavizna y Ubrique. Presenta pendientes, en su mayoría, superiores al 25% (Gálvez, 2007). La cúspide esta sierra la forman los altos de la Silla

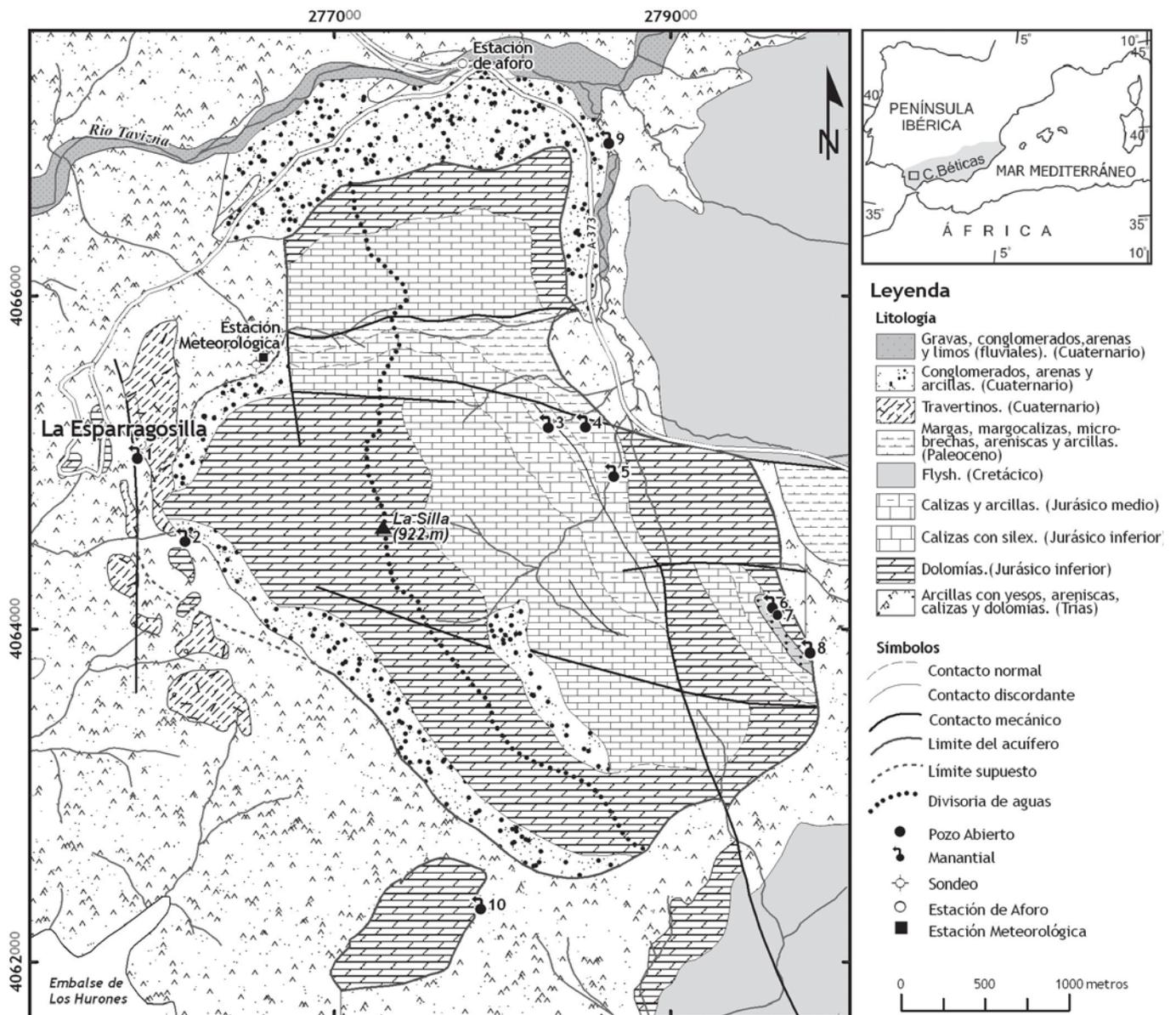


Fig. 1.- Mapa hidrogeológico del acuífero de la Sierra de la Silla.

Fig. 1.- Hydrogeological map of the Sierra de la Silla aquifer.

(922 m s.n.m.) y del Palmarejo (919 m s.n.m.). Por otro lado, este relieve se encuentra surcado por una serie de barrancos que dan lugar a una red radial divergente.

La precipitación media anual, del periodo 1985-2007, tiene un valor de 995 mm, lo que favorece el desarrollo de una densa cubierta vegetal de matorral y arboleda sobre litosoles, luvisoles crómicos y rendsinas (Tirado, 2009). Los valores medios anuales de la temperatura del aire y de la evapotranspiración potencial -calculada esta última con el método de Thornwhaite (1948)- son, respectivamente, de 18 °C y 900 mm/año.

En la Sierra de la Silla afloran materiales de edades comprendidas entre el Jurásico y el Cretácico (Fig. 1), si bien en

todo su perímetro afloran materiales triásicos, en facies germano-andaluza, compuestos por arcillas y yesos, fundamentalmente, que constituyen el muro del acuífero. En el Jurásico de la Sierra de la Silla, Bourgois (1978) diferenció 500 m de dolomías secundarias y 90-100 m de calizas con sílex, materiales ambos que constituyen el acuífero. Sobre estas rocas se superponen unos 200 m de margocalizas, margas y calizas nodulosas del tránsito Jurásico inferior - Jurásico medio. Se han descrito afloramientos de materiales superpuestos a los anteriores, con un espesor máximo de unos 40 m, de microbrechas de calizas con *Aptychus*, radiolaritas y arcillas, del Cretácico inferior. Existen diversos depósitos cuaternarios que descansan

discordantemente sobre los materiales de la Unidad de la Silla. Destacan varios afloramientos de travertinos, en la margen occidental de la Sierra, que fosilizan el contacto con los materiales triásicos; presentan formas tabulares con espesores superiores a la decena de metros. Además, debe señalarse la presencia de canchales y depósitos aluviales asociados al río Tavizna.

La estructura corresponde a un sinclinal con vergencia oeste (Moreno, 1991), afectado por varias familias de fracturas, entre las que destacan las de dirección ONO-ESE y N-S (Bourgois, 1978).

Todo el perímetro del acuífero es cerrado al flujo subterráneo. La superficie permeable total es de 9,7 km² (Fig 1). Se alimenta, exclusivamente, por infiltración

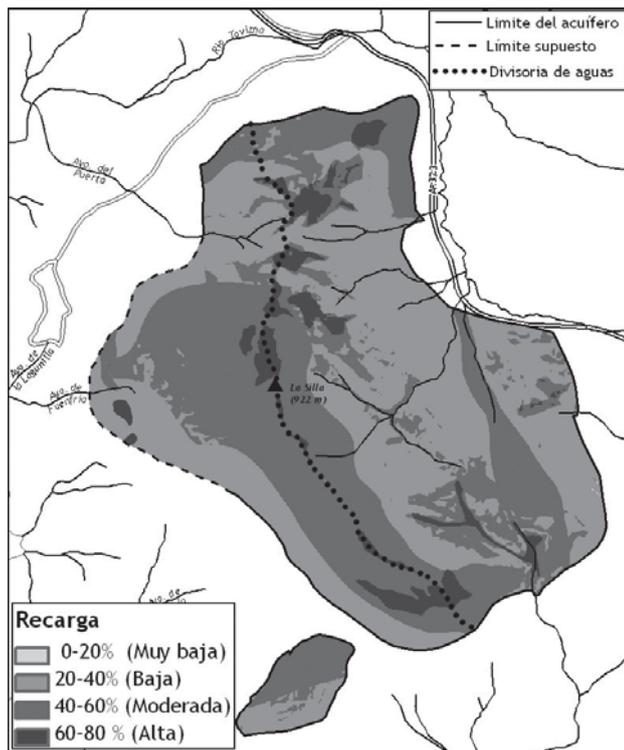


Fig. 2.- Mapa del coeficiente de infiltración calculado con el método APLIS.

Fig. 2.- Infiltration ratio map based on the APLIS method.

directa de la precipitación. El flujo subterráneo es radial divergente hacia el oeste, el este y el norte del acuífero. Hacia el oeste el drenaje se realiza por los manantiales de la Esparragosilla (nº1, Fig. 1) y Fuenfría (nº2), situados a 290 y 300 m s.n.m., respectivamente. Hacia el este por varias surgencias situadas a una altitud comprendida entre 360 y 370 m s.n.m., como las de Los Barandales (nº3, Fig. 1), Las Pitás (nº3) y Las Palomas (nº4), entre otras. Por último, hacia el norte, donde se supone que existe una descarga hacia el río Tavizna, cuyo lecho presenta, en la posible zona de contacto, una cota media de 300 m s.n.m. El agua de lluvia que alcanza la Sierra de la Silla es de facies bicarbonatada-clorurada sódico-cálcica, mientras que las facies del agua subterránea es bicarbonatada cálcico-magnésica y sulfatada-clorurada cálcico-magnésica (Tirado, 2009).

Metodología

La recarga se ha evaluado mediante tres métodos independientes: balance diario de agua en el suelo utilizando el método de Thornwaithe y Mather (1955), balance de cloruros disueltos en el agua (Eriksson y Khunakasem 1969) y método APLIS (Andreo *et al.*, 2008).

El balance de agua en el suelo se ha realizado con las series de datos diarios de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de Benaocaz, Ubrique y Pantano de los Hurones com-

Método	Recarga (hm ³ /año)	Coef. de recarga (%)
BAS	4,02	42
BCI-	3,78	38
APLIS	3,85	40

Tabla I.- Resultados de la recarga al acuífero calculada con distintos métodos (BAS, balance de agua en el suelo; BCI-, balance de cloruros; APLIS, método APLIS).

Table I.- Results of the aquifer recharge calculated with different methods (BAS, soil water budget, BCI, chloride mass balance; APLIS, APLIS method.

pletadas, por regresión lineal. Los cálculos hidrometeorológicos se han realizado con el código informático Trasero (Padilla *et al.*, 2005), considerando una capacidad de retención de agua en el suelo (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez) de 60 mm, ligeramente alta con respecto a los suelos existentes, pero que compensa el importante efecto de la interceptación del agua de lluvia. La escorrentía que resulta del balance (calculada por el método del Soil Conservation Service de los EE.UU, con un umbral de precipitación de 10 mm) ha sido descontada de la lluvia útil para el cálculo de la recarga.

Para el balance de cloruros, las muestras de agua de lluvia analizadas (8) han sido tomadas de un pluviocaptor ubicado en la estación meteorológica del IGME instalada en el cerro de la Silla (ver Fig. 1),

a una cota de 420 m s.n.m. Las muestras de agua subterránea corresponden al manantial de Fuente Fátima (nº30, Fig. 1), situado en un pequeño afloramiento carbonático, al SO de la Sierra de la Silla. En el agua de ese manantial se puede suponer que no existen cloruros de origen litológico (Tirado, 2009). El periodo de muestreo es el mismo que el del agua de lluvia. Los cloruros han sido analizados por espectrometría de absorción, en el laboratorio del IGME de Madrid.

La aplicación del método APLIS (Andreo *et al.*, 2008) a los datos de la Sierra de la Silla (Tirado, 2009) ha requerido la elaboración de la cartografía de las variables implicadas (altitud, pendiente, litologías, zonas de infiltración preferencial y suelos) en un Sistema de Información Geográfica. Para la elaboración de los mapas de Altitud y Pendiente se utilizó el Modelo Digital del Terreno de la Junta de Andalucía, a escala 1:10.000. Los mapas de Litología e Infiltración preferencial se realizaron mediante la agrupación de conjuntos litológicos de similares características hidrogeológicas, en el caso del mapa litológico, y mediante la yuxtaposición de este último, el mapa clinométrico y la cartografía geomorfológica, en el caso del mapa de Infiltración preferencial.

La cuantificación de la descarga por el manantial de la Esparragosilla se realizó controlando su caudal durante el periodo comprendido entre mayo de 2004 y febrero de 2008. Esta labor se llevó a cabo mediante la instalación de un sensor piezo-resistivo (Orpheus-OTT), colocado en un tubo piezométrico en la acequia existente a la salida de la surgencia. La curva de gastos ha sido tarada con un total de 17 aforos directos, realizados con un micromolinetes modelo C2-OTT.

Resultados

Los resultados de la evaluación de la recarga del acuífero carbonático de la Sierra de la Silla se resumen en la tabla I. El coeficiente de recarga resultante está comprendido entre el 38% (balance de cloruros) y 42% (balance diario de agua en el suelo), coeficientes que pueden considerarse de moderados a bajos en acuíferos carbonáticos (Andreo *et al.*, 2008).

La aplicación del balance de cloruros se ha realizado en un pequeño afloramiento carbonático próximo al acuífero de la Silla, con similares características hidrogeológicas, por lo que su resultado es menos representativo, a efectos comparativos, sin embargo, el coeficiente re-

sultante (38%) es muy parecido al que resulta con los demás métodos. Por tanto, se considera que con los distintos métodos aplicados se obtiene una recarga media del acuífero muy similar, comprendida entre 3,8 y 4 hm³/año, y con un coeficiente de recarga en torno al 40%. Por otro lado, con el método APLIS se obtiene tanto una media del coeficiente de recarga como una representación de su variabilidad espacial. En la figura 2, se comprueba que los mayores coeficientes de recarga se dan en la cúspide de la Sierra, donde hay una pequeña superficie de enrasamiento.

Las salidas medias anuales por el manantial de La Esparragosilla, en el periodo de control, son de 0,5 hm³.

Discusión

Los valores de recarga que resultan, en torno al 40% de la precipitación, son coherentes, a diferencia de los valores propuestos en trabajos anteriores en los que la subestimación del coeficiente de infiltración se debe, muy probablemente, al hecho de que se asumió que la práctica totalidad de la descarga de este acuífero se realiza por el manantial de La Esparragosilla. Cabe destacar que una de las principales características de los acuíferos carbonáticos que presentan una red de conductos kársticos bien jerarquizada consiste en que la práctica totalidad de la descarga del acuífero (y por tanto de la recarga) se canaliza a través de un número reducido de surgencias. Sin embargo, la importante compartimentación hidrogeológica de este acuífero, que se demuestra con las desiguales cotas de drenaje de sus surgencias, y las reducidas dimensiones de estos compartimentos, dificultan el desarrollo de una red de conductos kársticos bien jerarquizada.

Conclusiones

Se ha comprobado que en el acuífero carbonático de la Sierra de la Silla existe un caudal importante de drenaje no controlado actualmente. En este sentido, se debe destacar la gran utilidad de evaluar la recarga en la primera fase de los estudios hidrogeológicos de los acuíferos carbonáticos, dado que la comparación de esos valores con los de la descarga de cada sistema permite acotar la magnitud de la red de conductos kársticos asociados a cada surgencia. Este trabajo ha permitido comprobar que las redes de conductos kársticos asociadas a las numerosas surgencias de este acuífero no están tan desarrolladas y jerarquizadas como en el caso de los acuíferos vecinos de la propia Sierra de Grazalema de Hondón, Endrinal y Ubrique. Todos estos aspectos implican que el acuífero de la Sierra de la Silla es un sistema poco representativo del funcionamiento hidrogeológico del resto de acuíferos carbonáticos de la Sierra de Grazalema.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración a Miguel Martín Machuca, Antonio Martínez y Fernando Ruíz, de la oficina del IGME en Sevilla, y a Rafael Aranda, propietario de la finca de La Esparragosilla, las facilidades de acceso y el permiso para instalar diferentes equipos de medida. Este artículo es una contribución al IGCP 513 (Proyecto de la UNESCO). La contribución de los revisores (J.J. Cruz-Sanjulián y J. San-Román) ha mejorado este trabajo en numerosos aspectos.

Referencias

Andreo, B., Vías, J., Durán, J.J., Jiménez, P., López-Geta, J.A. y Carrasco, F.

(2008). *Hydrogeology Journal*, 16, 911-925.

Bourgeois, J. (1978). *La transversale de Ronda, Cordillères Bétiques, Espagne. Données géologiques pour un modèle d'évolution de l'Arc de Gibraltar*. Tesis Doctoral, Univ. de Besançon. 445.

Eriksson, E., y Khunakasem, V. (1969). *Journal of Hydrology*, 7, 178-179.

Gálvez, F. (2007). *Estudio Hidrogeológico de la Sierra de la Silla*. Proyecto Fin de Carrera. Univ. Pablo de Olavide, Sevilla. 91 p.

IGME. (1984). *Estudio de investigación hidrogeológica para la regulación de recursos hídricos subterráneos en la divisoria Guadalete-Guadiaro (Cádiz-Málaga)*. IGME. 229 p.

IGME. (1992). *Proyecto de apoyo a la gestión integral de los recursos hídricos de los acuíferos carbonatados de la Sierra de Grazalema*. IGME. 146 p.

MMA. (1998). *Las unidades hidrogeológicas de las Sierras de Libar (00.06) y Grazalema (05.64)* Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 52 p.

Moreno, F. (1991). *Mapa geológico de España 1: 50.000, hoja 1050 (Ubrique)*. IGME.

Padilla, A., Delgado, J., Castillo, E., Rodríguez, L., Hernández-Bravo, J.A. y Fernández, M. (2005). *Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas*. DPA. 49 p.

Thornthwaite, C.W. (1948). *Geographical Review*, 38, 55-94.

Thornthwaite, C.W. y Mather, J.R. (1955). *Publications in climatology*, 9, 59-117.

Tirado, F. (2009). *Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la Sierra de la Silla (Parque Natural de la Sierra de Grazalema)*. Proyecto Fin de Carrera. Univ. Pablo de Olavide, Sevilla. 95 p.