

Heterogeneidad del acuífero de la Vega de Granada en el entorno urbano de Granada (España)

Heterogeneity of the Vega de Granada aquifer in the Granada urban area (Spain)

Virginia María Robles-Arenas¹, José Benavente Herrera², y Carmen Almécija Ruiz²

¹ Departamento de Ingeniería Civil y Minera. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 52. Cartagena

² Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avenida Fuente Nueva s/n. Granada

ABSTRACT

Hydrodynamic data in 5 wells located in the city of Granada and in its peri-urban area assess the horizontal and vertical heterogeneity in the hydraulic conductivity of the Vega de Granada alluvial aquifer (AVG) at its eastern part. They also indicate the existence of a perched level in one of the studied points (FC) and characterize its lowering since 2001. It is confirmed that the hydrodynamic response to recharge is more effective in the SE of the studied sector. A conceptual model is proposed that integrates our results in the context of the piezometric evolution linked to the increase in pumping in the eastern half of the AVG since approximately 1970.

Key-words: alluvial aquifer, heterogeneity, perched phreatic level, pumping, Granada.

Geogaceta, 71 (2022), 47-50
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción

El acuífero de la Vega de Granada (AVG) es uno de los principales de Andalucía por la magnitud de sus recursos y reservas explotables (Castillo, 1995). En este trabajo presentamos datos sobre la piezometría y las características hidrodinámicas del AVG en su extremo occidental. Son datos obtenidos en su mayoría en un sondeo de explotación (CE) y un sondeo de control (CC) adyacente (distancia entre ambos: 8 m), situados en el jardín de la Facultad de Ciencias, en la ciudad de Granada (FC (CE-CC) en Fig. 1). También se comentan datos obtenidos en tres sondeos situados en la zona periurbana, denominados Naujar, Los Arandas y Emergencia-4 (puntos NA, LA y E4, respectivamente, en la Fig. 1). Los datos se han obtenido a lo largo de los últimos 20 años, generalmente de manera esporádica, salvo alguna excepción que se comentará luego.

Un trabajo previo (Benavente *et al.*, 2004) destacaba la diferencia de profundidad del nivel (entre 4 y 6 m) en los sondeos CC y CE y la explicaba como consecuencia de que en el primero se medía un nivel freático colgado.

En este trabajo se presentan observaciones hidrodinámicas en los puntos citados, particularmente del nivel en los dos sondeos del punto FC desde su construcción en el año 2000. Los resultados del trabajo complementan hipótesis anteriores sobre la heterogeneidad en sectores de borde del AVG y, en general, en bordes de acuíferos aluviales en áreas con tectónica activa. Por otro lado, la caracterización que aquí se hace del vaciado plurianual de un nivel colgado es un aspecto del que apenas hay antecedentes en la literatura.

Contexto hidrogeológico y metodología

No procede detallar aquí la información hidrogeológica sobre el AVG, pues seguramente es uno de los casos españoles con más estudios, bajo diferentes puntos de vista y desde hace más tiempo. Es un acuífero mayoritariamente aluvial, en relación con depósitos del río Genil y sus principales afluentes (Cuaternario reciente). Diferentes materiales, pre y postorogénicos, con edades desde el Trías al Cuaternario antiguo, constituyen su sustento y bordes.

RESUMEN

Datos hidrodinámicos obtenidos en 5 sondeos situados en la ciudad de Granada y en su área periurbana corroboran la heterogeneidad horizontal y vertical en la conductividad hidráulica del acuífero aluvial de la Vega de Granada (AVG) en su extremo oriental. También ponen de manifiesto la existencia de un nivel colgado bajo uno de los puntos estudiados (FC) y caracterizan su vaciado desde 2001. Se confirma la respuesta hidrodinámica más efectiva frente a la recarga en el extremo SE del sector estudiado. Se propone un modelo conceptual que integra nuestros resultados en el contexto de la evolución piezométrica ligada al incremento de bombeos en la mitad este del AVG desde aproximadamente 1970.

Palabras clave: acuífero aluvial, heterogeneidad, nivel freático colgado, bombeos, Granada.

Fecha de recepción: 26/07/2021
Fecha de revisión: 29/10/2021
Fecha de aceptación: 26/11/2021

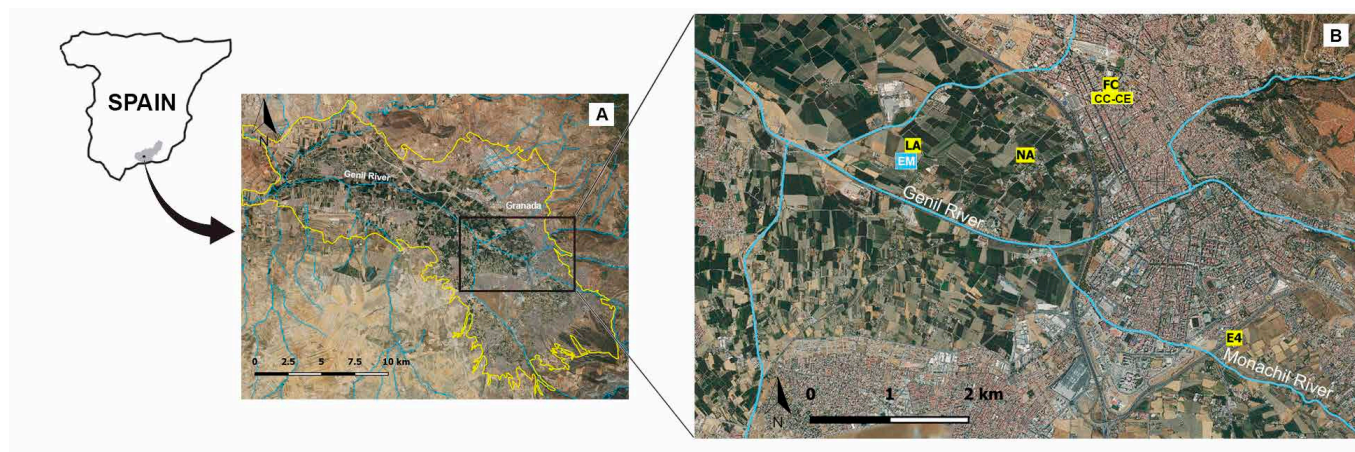


Fig. 1.- Localización del sector estudiado; general y dentro del contorno del acuífero de la Vega de Granada (A). B: situación de los puntos considerados (CC y CE ambos en la Facultad de Ciencias (FC), NA, LA y E4) y la estación meteorológica, EM).
 Fig. 1.- Location of the studied sector; general and within the contour of the Vega de Granada aquifer (A). B: situation of the studied points (CC and CE both in Sciences Faculty (FC), NA, LA and E4) and the meteorological station, EM).

descensos de nivel entre 30 y 40 m según los enclaves, lo cual ha inducido fenómenos locales de subsidencia (Castillo *et al.*, 2010; Mateos *et al.*, 2017).

La profundidad de los dos sondeos del punto FC es de 40 m (CC) y 95 m (CE). El segundo de ellos extrae, generalmente entre mayo y octubre, un caudal de 6 L/s para riego del jardín de la facultad. Los sondeos NA y LA, cuya profundidad es de aproximadamente 100 m, pertenecen a la comunidad de regantes de la Acequia Gorda del Genil y tienen un uso esporádico como complemento de riegos a partir de dicho río. Puede bombear cada uno un caudal de 100 L/s. La línea que une FC con NA es paralela al flujo subterráneo en ese sector del AVG, con sentido de FC a NA (Castillo *et al.*, 2010). El punto E4 tiene una profundidad de 250 m y forma parte de la batería de sondeos denominados "de emergencia", la cual se usa para complemento del abastecimiento a Granada en periodos de sequía. No se encontraba equipado en el momento de las medidas.

En los sondeos CE y E4, además de otras variables, se midió en continuo el nivel piezométrico entre febrero de 2009 y octubre de 2010 en el marco de un reconocimiento más extenso del AVG. Estos registros se han realizado con sensores CTD-Diver (Eijkkelkamp). El resto de las medidas piezométricas que se presentan en este trabajo se han efectuado con hidroniveles convencionales marca OTT.

Las precipitaciones en el sector estudiado proceden de la estación IFAPA-Centro Camino de Purchil (37° 10' 19" N; 03° 38' 18" W; altitud: 630 m) de la red de información agroclimática de Andalucía (EM en la Fig. 1).

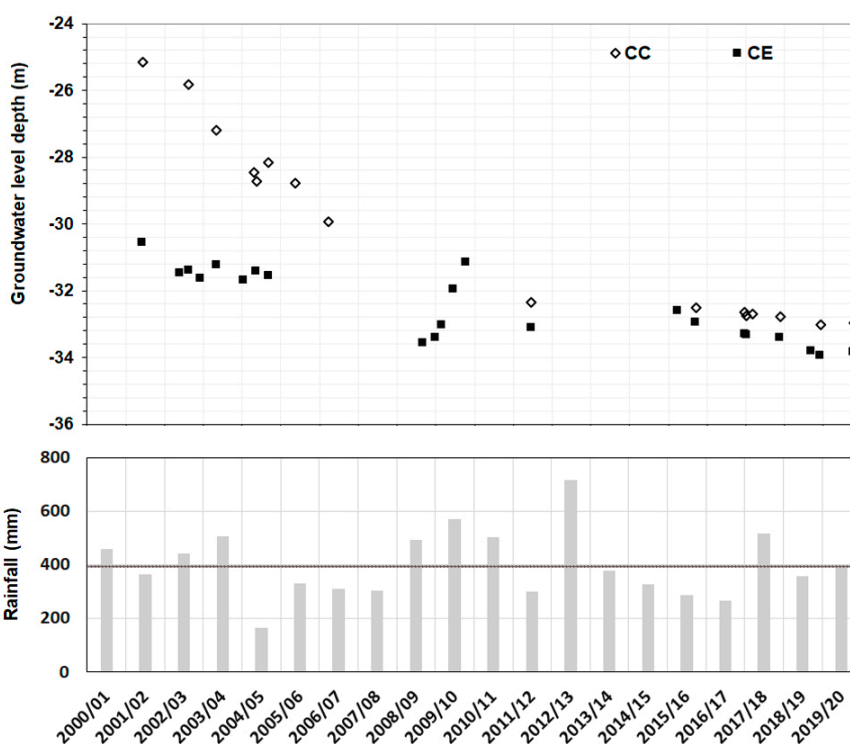


Fig. 2.- Precipitaciones anuales en el área estudiada (estación IFAPA-Purchil) y profundidad del nivel en los dos sondeos adyacentes del punto FC entre 2001 y 2021.
 Fig. 2.- Annual rainfall in the studied area (IFAPA-Purchil station) and level depth in the two adjacent wells at point FC between 2001 and 2021.

Resultados

La profundidad del nivel en los puntos estudiados varía entre 25-35 m (FC) y 95-115 m (E4). La cota piezométrica aproximada que resulta en el punto FC es de unos 635-640 m; en el punto E4 está aproximadamente entre 570 m y 590 m, según las fechas, mientras que en LA y NA es de unos 590 m.

En la figura 2 se representa la distribución de precipitaciones anuales en el periodo

considerado y la media aritmética que resulta (unos 400 mm/año). El periodo entre los años hidrológicos 2008/09 y 2010/11 es el único con tres años consecutivos que superan la media. Se incluye también en dicha figura la profundidad del nivel de agua en los dos sondeos del punto FC. En el CC, aunque hay una ausencia de medidas en 2007-2011 y 2013-2015 debido a problemas con la apertura del sondeo, se advierte una tendencia general descendente, con pendiente progresivamente menor.

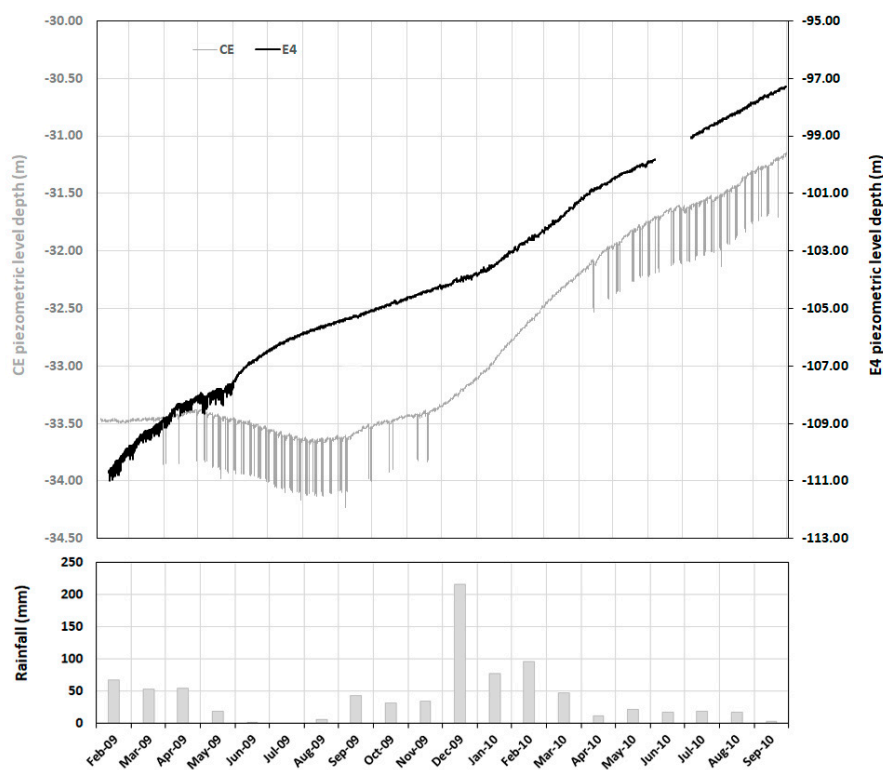


Fig. 3.- Precipitaciones mensuales en el área estudiada (estación IFAPA-Purchil) y evolución de la profundidad del nivel de agua en los sondeos CE y E4 entre febrero de 2009 y octubre de 2010.

Fig. 3.- Monthly rainfall in the studied area (IFAPA-Purchil station) and evolution of the water level depth in the CE and E4 soundings between February 2009 and October 2010.

Esta circunstancia se aprecia también, aunque interrumpida por un leve ascenso durante el periodo relativamente lluvioso 2009-2011, en el sondeo CE. Es patente asimismo en esta figura que la diferencia de nivel entre los dos puntos tiende a disminuir con el tiempo: desde valores entre 4 y 6 m en los primeros cinco años del registro, pasa a ser del orden de 1 m en los últimos cinco años del mismo.

En la figura 3 se representan las evoluciones del nivel en los sondeos E4 y CE durante el periodo de monitorización en continuo de dicha variable. Además de los descensos inducidos por los bombeos en la propia captación (CE) o por otras muy próximas (E4), se advierte en ambos casos que el periodo corresponde a una fase de ascenso general de los niveles, aunque la magnitud del ascenso es superior en el E4 (unos 14 m) que en el CE (2,5 m).

Otros resultados del presente estudio se refieren a datos hidrodinámicos obtenidos en los sondeos CE, NA y LA. En los tres casos los niveles se estabilizan a los pocos minutos de comenzar a bombear. Una vez alcanzado el régimen estacionario, los valores de caudal específico de cada sondeo (Q_s) son aproximadamente 10 L/s·m (CE) y 50 L/s·m (NA y

LA). Las ecuaciones de la hidráulica de captaciones indican que estos valores son proporcionales a la transmisividad (T) del acuífero captado. En estos tres sondeos el espesor saturado captado no difiere significativamente, por lo que los valores reflejan que la conductividad hidráulica (K) global en los puntos cercanos al río Genil es cinco veces superior a la que existe en el punto FC.

Discusión

La heterogeneidad horizontal de K en el sector estudiado se manifiesta por los datos de las columnas litológicas de los sondeos (Benavente *et al.*, 2004). También por el incremento de los valores de Q_s desde la zona urbana hacia el río Genil, verosíblemente debido al aumento en la fracción gruesa (arenas y gravas) en el acuífero. Esto es acorde con el modelo general de sedimentación fluvial y ya había sido advertido en trabajos previos, bien a partir de mapas de isovalores de T (Castillo, 1995) o a partir de mapas de porcentajes de distintas fracciones granulométricas (Mateos *et al.*, 2017).

El efecto de la proximidad de un

borde conglomerático-arcilloso sometido a erosión hídrica debido a su elevación relativa reciente intensificaría la generación de discontinuidades en la vertical del AVG en este sector. Prueba de ello es el nivel freático colgado asociado al punto CC, del cual se ha comprobado en este trabajo su vaciado plurianual a un ritmo cada vez más amortiguado (Fig. 2). Este nivel debe drenar hacia otro inferior de menor potencial de forma natural, pero también lo hace a través de sondeos que lo atraviesan, como el CC.

La recarga por precipitación al AVG es minoritaria respecto de la que se produce a partir de las aguas superficiales, ya sea de forma directa o indirecta (riego) (Castillo, 1995; Castillo *et al.*, 2010). En el caso de FC debe existir recarga por fugas de la red de abastecimiento y saneamiento. A este respecto, los datos de la figura 3 indican una recarga más efectiva en el punto E4 que en el CE. Esto deriva de la ubicación del E4 en un sector con altos valores de T y con facilidad de recibir recarga superficial del río Monachil (fig. 1), procedente de Sierra Nevada y de acuíferos de su orla carbonática (Kohfahl *et al.*, 2008).

Los resultados sugieren que la curva isopieza de 590 m pasa aproximadamente por LA, NA y, según las fechas, por E4. Esta curva ha sido considerada en estudios previos como referencia que delimita el gran conoide de depresión generado a lo largo de las últimas décadas, con trazados distintos según las condiciones hidrológicas imperantes (Castillo *et al.*, 2010; Mateos *et al.*, 2017). La línea FC-NA es paralela a la dirección de flujo subterráneo. El gradiente hidráulico estimado entre ambos puntos es del orden del 3,5 %. Esta cifra es superior a las que se deducen a partir de mapas de isopiezas del AVG de 1967 y 1994 (en Castillo, 1995): del orden del 1,5 % y 2 %, respectivamente. La diferencia puede deberse a una profundización en el ápice del mencionado conoide por el incremento en las extracciones que lo generan, pero también cabe la posibilidad de que el nivel del sondeo CE (y de otros del entorno de similar profundidad) haya quedado colgado debido al descenso piezométrico generalizado al que nos venimos refiriendo. Se requerirían estudios complementarios para pronunciarse al respecto, así como para diferenciar la influencia de la explotación de CE del drenaje hacia niveles más profundos.

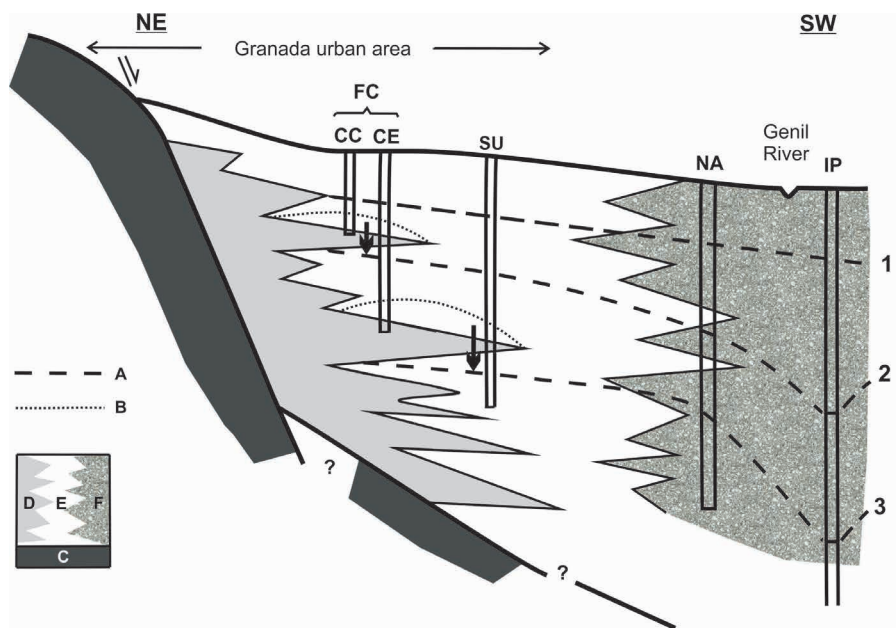


Fig. 4.- Corte hidrogeológico esquemático (sin escala) que interpreta los resultados del presente estudio. FC y NA: ver texto. SU representa un sondeo-tipo dentro del área urbana. IP representa el sector de mayor intensidad de bombeo. A: nivel piezométrico. B: nivel colgado. C: formación conglomerático-arcillosa. D: formación aluvial (AVG) con predominio de fracción limo y arcilla. E. Id. con equilibrio entre fracción fina y media. F: Id. con predominio de fracción media-gruesa. 1: piezometría hacia 1960-70. 2 y 3: evolucionando hacia la situación actual; se contempla la posibilidad de que el nivel en CE esté también colgado. Las flechas verticales representan drenaje de niveles colgados a través de captaciones que los atraviesan.

Fig. 4.- Schematic hydrogeological cross section (without scale) that interprets the results of the present study. FC and NA: see text. SU represents a typical well in the urban area. IP represents the sector with the highest pumping intensity. A: piezometric level. B: perched level. C: conglomerate-clayey formation. D: alluvial formation (AVG) with a predominance of silt and clay fraction. E. Id. with a balance between fine and medium fraction. F: Id. with a predominance of medium-coarse fraction. 1: watertable around 1960-70. 2 and 3: temporal evolution to the current situation, in which the possibility that the CE level is also perched is considered. The vertical arrows represent drainage of perched levels through wells that cross them.

Conclusiones

Este trabajo confirma que la respuesta hidrodinámica frente a la recarga del acuífero de la Vega de Granada (AVG) es más efectiva en el extremo SE del acuífero.

Se corrobora la heterogeneidad horizontal y vertical del AVG en su extremo oriental. En particular, se pone de manifiesto la existencia de un nivel colgado

bajo uno de los puntos estudiados (FC) y se caracteriza su vaciado plurianual. Cabe la posibilidad de que existan otros niveles colgados más profundos. Estas circunstancias se esquematizan en la figura 4, donde se consideran distintos escenarios de evolución piezométrica desde 1960-1970 hasta la actualidad como respuesta al creciente ritmo de bombeo.

Contribución de los autores

Los tres autores han contribuido en la adquisición y análisis de datos, figuras, edición y revisión del manuscrito.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del Plan Andaluz de Investigación, desarrollo e Innovación (Grupo RNM126).

Se agradece a los profesores del Master RHYMA de la Universidad de Málaga su colaboración en la obtención de algunos datos de este trabajo. Los comentarios recibidos por parte de dos revisores anónimos han contribuido a mejorar el manuscrito original. Nuestro agradecimiento por ello.

Referencias

Azañón, J.M., Azor, A., Booth-Rea, G. y Torcal, F. (2004) *Journal of Quaternary Science*, 19, 219-227.
 Benavente, J., Castillo, A. y Sánchez-Díaz, L. 2004. *Geogaceta* 36, 119-122.
 Castillo, A. 1995. *Tierra y Tecnología* 9, 37-42.
 Castillo, A., Robles-Arenas, V.M., Sánchez-Díaz, L. y Martín-Rosales, W. 2010. *En Estudios hidrológicos, hidrogeológicos y ambientales como base de la gestión de los recursos hídricos* (J. Benavente y E. Díaz-Ucha, eds.), 17-84. IAH-Grupo Argentino.
 Kohfahl, C., Sprenger, C., Benavente, J., Meyer, H. y Fernández-Chacón, F. 2008. *Applied Geochemistry*, 23, 846-862.
 Mateos, R. M., Ezquerro, P., Luque, J. A., Béjar, M., Notti, D., Azañón, J.M., Montserrat, O., Herrera, G., Fernández-Chacón, F., Peinado, T., Galve, J.P., Pérez-Peña, J.V., Fernández-Merodo, J.A. y Jiménez-Sánchez, J. (2017) *Journal of Hydrology*, 553, 71-87.