

Nuevos datos sobre el balance hídrico en el acuífero de la Vega de Granada a partir de un modelo de flujo

New data about the water budget generated with a flow model in the aquifer of Vega de Granada

María Luisa Calvache¹, José Manuel Gómez Fontalva² y Carlos Duque³

¹ Departamento de Geodinámica, Avda. Fuentenueva, s.n., 18071-Granada, España. calvache@ugr.es

² C/ Lepanto nº 50. 18100-Armilla, Granada, España. geochema@gmail.com

³ University of Copenhagen, Department of Geosciences and Natural Resources management. Øster Volgade 10, 1350 K. Copenhagen. cad@geo.ku.dk

ABSTRACT

In this paper new data about the water budget in the detrital aquifer of La Vega de Granada are presented based on the results of a 2D transient flow model. The model has been calibrated and validated successfully. The water budget obtained presents 132 Mm³ as annual resources that are lower than the results obtained in previous studies. Furthermore, during the last 50 years a decreasing trend in the inputs to the aquifer is detected that is related to a decrease in the recharge due to the land use change from crops to urban areas. Nevertheless the pumping in the aquifer is not changing during the same period of time.

Key-words: Detrital aquifer, recharge decrease, water resources, groundwater flow model, land use change.

RESUMEN

En este trabajo se aportan nuevos datos sobre el balance hídrico del acuífero detrítico de La Vega de Granada a partir de los resultados obtenidos con la realización de un modelo de flujo en dos dimensiones y en régimen transitorio. El modelo ha sido calibrado y validado satisfactoriamente y arroja unos valores de recursos medios anuales de 132 hm³, cifra que queda por debajo de la propuesta por otros autores. Asimismo, se observa una tendencia descendente durante los últimos 50 años en los aportes al acuífero justificada por la menor recarga que se produce a partir del retorno de riegos debido a la sustitución de los campos de cultivo por zonas urbanizadas. La explotación del acuífero mediante bombeos no refleja, sin embargo, una tendencia paralela en este mismo periodo de tiempo.

Palabras clave: Acuífero detrítico, disminución de la recarga, recursos hídricos, modelo de flujo subterráneo, cambio en los usos del suelo.

Geogaceta, 54 (2013), 127-130
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 31 de enero de 2013
Fecha de revisión: 25 de abril de 2013
Fecha de aceptación: 24 de mayo de 2013

Introducción

La Vega de Granada representa uno de los acuíferos detríticos más importantes del sur de España por su gran extensión, importante volumen de recursos y su situación estratégica en el área metropolitana de Granada. Sin embargo, en los últimos 50 años se han producido importantes afecciones sobre las aportaciones naturales al acuífero, tales como la transformación de los usos del suelo (sustitución de superficies cultivadas y regadas por áreas urbanizadas e impermeabilizadas) y la construcción de los embalses de Canales, Quéntar y Cubillas que regulan el caudal de los ríos Genil, Aguas Blancas y Cubillas, respectivamente, que a su vez representan una de las fuentes de recarga más importantes del sistema.

Los numerosos estudios realizados en el acuífero han puesto de manifiesto la disparidad de los datos de balance hídrico aportados por los diferentes autores (Tabla 1). Esto es debido a la elevada incertidumbre que existe en la estimación de varias de las componentes del balance por falta de información. En este trabajo se aportan algunos de los resultados obtenidos tras la aplicación de un modelo de flujo subterráneo en dos dimensiones en el acuífero detrítico de la Vega de Granada a lo largo de un periodo de 31 años (1978-2009).

Contexto geológico

El acuífero de la Vega de Granada está constituido por depósitos detríticos recientes de la cuenca sedimentaria de Granada

enclavada en la cuenca hidrográfica del río Genil. Se trata de un acuífero libre que presenta zonas de gran porosidad intergranular, potencias superiores a los 250 m y una extensión total de 204 km². El acuífero está constituido por materiales detríticos del Holoceno (aluviales de los ríos actuales) y conglomerados del Plioceno-Pleistoceno (Fig. 1).

Las entradas al sistema simulado están constituidas por la lluvia útil, la recarga a partir de los ríos (Genil, Monachil, Dílar y Darro), retorno de riegos y pérdidas en el transporte, recarga lateral procedente de otros acuíferos adyacentes y la infiltración a partir de las pérdidas en las redes de abastecimiento y saneamiento de las áreas urbanas que se encuentran sobre el acuífero, estimadas en 23000 m³/a/ km² (AAA, 2008). Las salidas se componen por la des-

TÉRMINOS DEL BALANCE en hm ³ /año	FAO (1972)	Castillo (1986-2005)	AAA (2008)
Recarga superficial (Precipitación)	6	24	30
Recarga superficial (Retorno Regadíos)	62	141	155
Influencia de los Ríos	6	19	25
TOTAL	74	184	210
Bombeos	10-60	32-50	40
Efluencia de los Ríos	40-60	100-110	160
Borde occidental	—	—	4
Evapotranspiración	9-14	7	6
TOTAL	59-134	139-167	210

Tabla 1.- Balance comparativo propuesto por diferentes autores.

Table 1.- Water budget proposed by different authors.

carga hacia el río Genil en el sector central y occidental del acuífero y los bombeos.

Modelo de flujo

Dado que el acuífero de La Vega tiene unas dimensiones muy extensas, a pesar de haberse realizado la modelación matemática sobre toda la superficie, se ha seleccionado el sector E-SE para realizar un

estudio mucho más minucioso de los datos de entrada y efectuar la calibración del modelo sólo en esa zona. En esta superficie de 69 km² es donde se produce la máxima influencia de los ríos provenientes de Sierra Nevada (Fig. 1)

La simulación en régimen transitorio se ha realizado con el código Groundwater Vistas V.5 en 2D durante un periodo de 31 años (1978-2009).

Discretización y parámetros

El modelo se ha discretizado sobre una malla rectangular de 217 filas por 263 columnas con un espaciado de 50x50 m para la zona de calibrado y aumentando hasta los 900x900 m fuera de la misma. Se ha considerado una sola capa de espesor variable con condiciones de acuífero libre. Los valores iniciales de permeabilidad oscilan entre 1 y 80 m/d (FAO, 1972), encontrándose los valores máximos en el sector central de la zona de estudio.

Condiciones de contorno e iniciales

El límite oeste del acuífero representa la continuidad de los materiales detríticos hacia sectores más occidentales. En este borde se está produciendo un flujo subterráneo que descarga el acuífero de forma continua. Por ello, se ha impuesto la condición de Dirichlet a las celdas situadas en este límite, con un nivel constante según

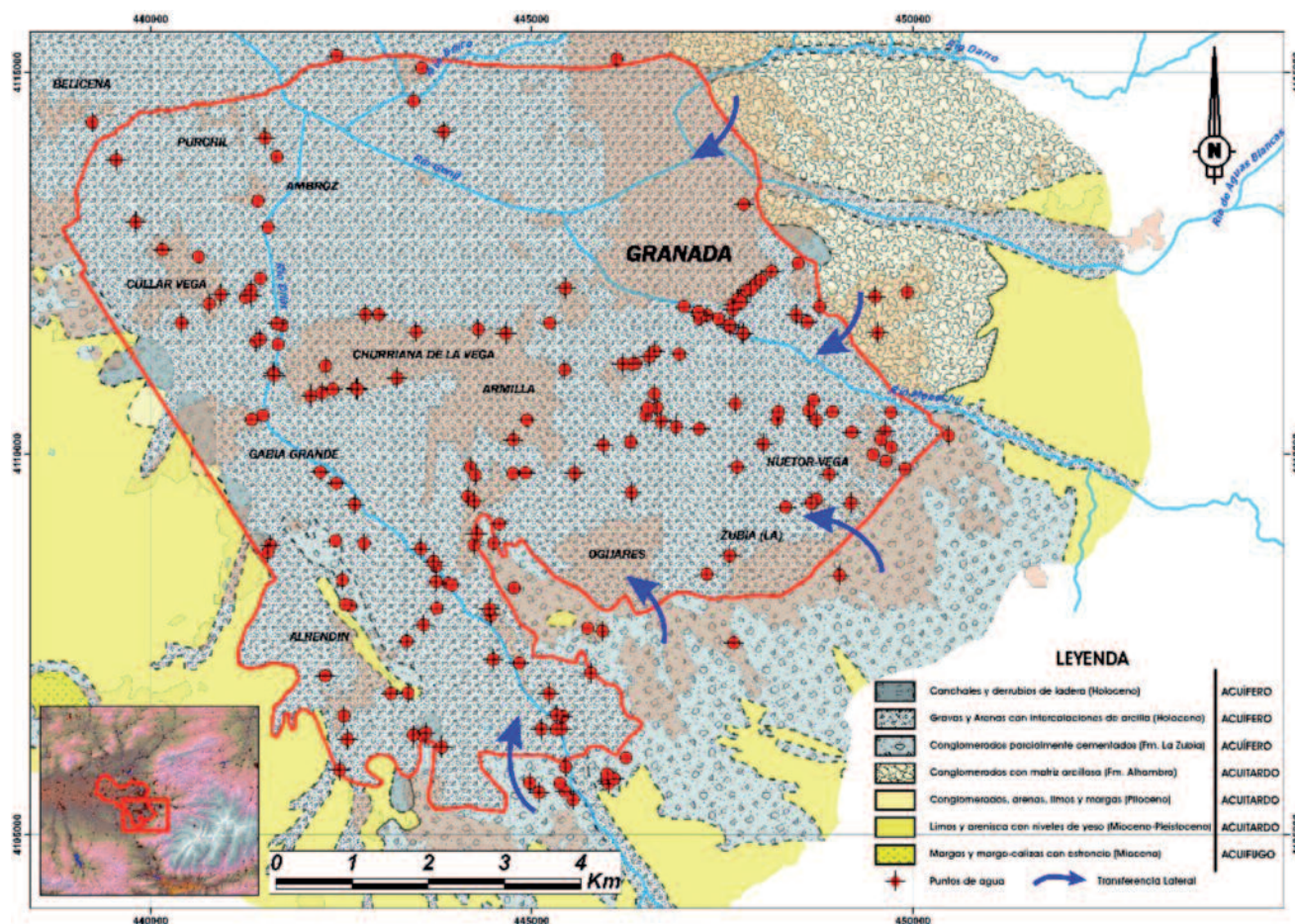


Fig. 1.- Mapa hidrogeológico del sector de la Vega de Granada donde se ha realizado la calibración del modelo de flujo (modificado de Castillo, 1989).

Fig. 1.- Hydrogeological map of the sector of the Vega de Granada aquifer in which the calibration process was done (modified from Castillo, 1989).

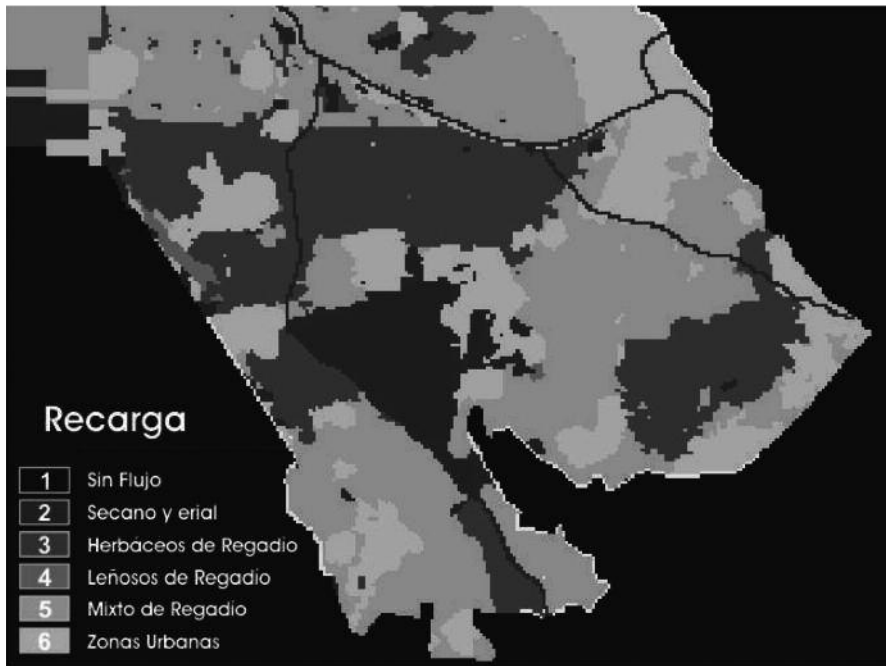


Fig. 2.- Condiciones de contorno aplicadas en la zona de calibración del modelo (los bordes claros representan la condición de Neuman).

Fig. 2.- Boundary conditions applied to the calibrated area (the white borders represent the boundary condition of Neuman).

los datos registrados en los puntos de control localizados en el sector.

Los límites norte, este y sur están considerados como impermeables (condición de Neuman). A los límites constituidos por materiales permeables, también se les ha aplicado la condición de Neuman ya que se

ha considera un flujo de entrada según los valores propuestos por Castillo (1986, 1995).

Recarga superficial. Se han diferenciado 6 áreas de recarga, en las que se distinguen las zonas sin flujo (zonas impermeables), las zonas de seco y no

cultivadas, las zonas de regadío de leñosas y mixtas y las zonas urbanas (Fig. 2). Además, se añade el aporte de la precipitación y en las zonas urbanas, 40 l/s (AAA, 2008) por pérdidas en la red de abastecimiento urbano (condición de Neuman).

Los bombeos serían considerados como condición de Neuman.

Ríos. En estas celdas, el modelo numérico calcula el caudal cedido o recibido entre el río y el acuífero en función de la conductancia y la diferencia de potencial hidráulico entre la lámina de agua del río y el nivel freático del acuífero (condición de Cauchy). En este caso concreto se ha utilizado el paquete *Streamflow-Routing* (Prudic et al., 2004).

Con las condiciones de contorno correspondientes a octubre de 1978 se ha realizado una simulación en régimen permanente cuyos niveles resultantes se han introducido como datos iniciales en la simulación posterior realizada en régimen transitorio.

Calibración y validación

Se han utilizado 14 puntos de observación correspondientes a sondeos con datos reales de piezometría. Los parámetros calibrados fueron conductividad hidráulica del acuífero (Kx), coeficiente de almacenamiento (S) y conductividad hidráulica del

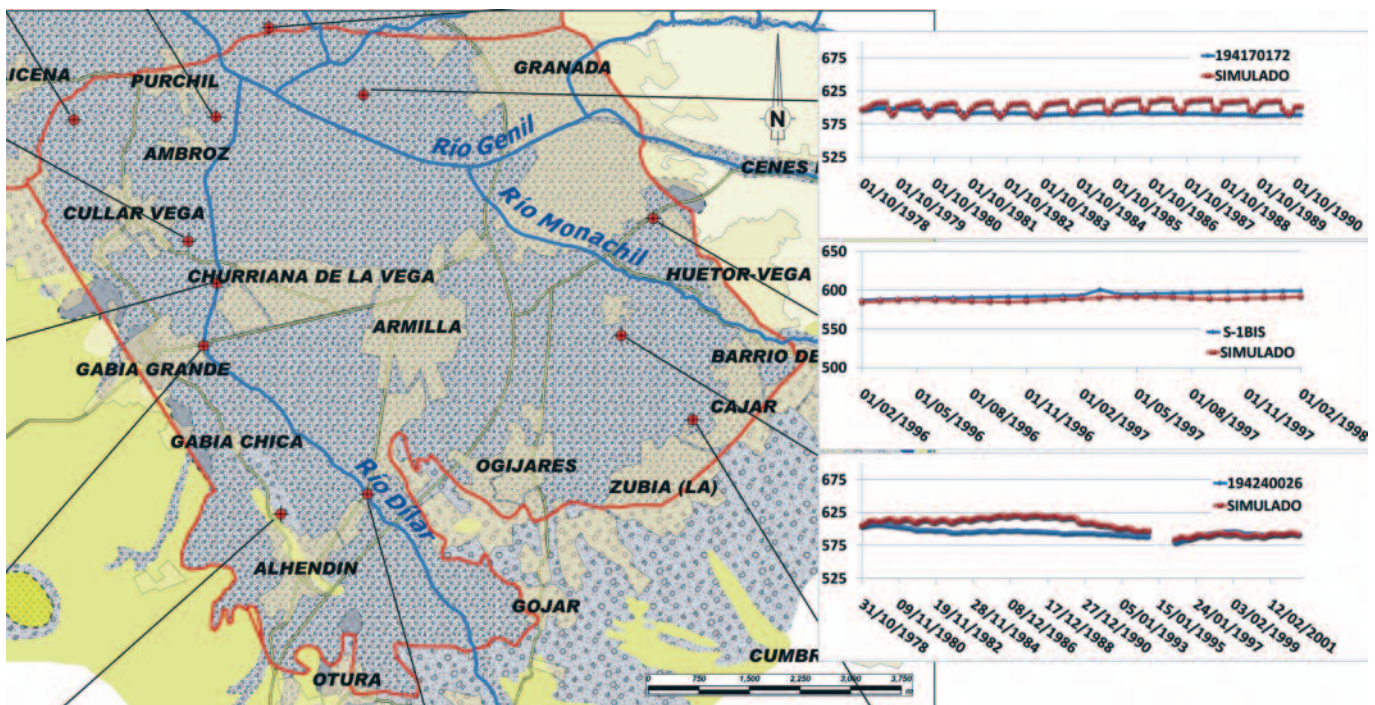


Fig. 3.- Niveles piezométricos observados vs simulados en la zona de estudio para el régimen transitorio (24 años).

Fig. 3.- Piezometric levels observed VS simulated in the study area for the transient simulation (24 years).

lecho de los ríos (Kb). Para ello se ha introducido una serie de puntos piloto ya que estos parámetros no son homogéneos en todo el acuífero y tienen gran variabilidad espacial. Con todo ello se pone en uso el código PEST (Doherty, 2004) y las *Ground-water Utilities* asociadas que permiten la automatización del proceso.

Las diferencias observadas en el ajuste obtenido (Fig. 3) son aceptables presentando un coeficiente de correlación entre los niveles observados y calculados muy alto ($r^2 = 0,92$). La validación se realizó para el periodo oct-2002 a sep-2009 en los mismos puntos de control y no se apreciaron desviaciones de los datos medidos durante este periodo.

Resultados

Los recursos medios anuales del sistema para este periodo, corresponden a unos 132 hm³, valor bastante más bajo que el obtenido en los últimos estudios (Tabla 2). La recarga superficial constituye la principal entrada al sistema seguida por la infiltración en los cauces de los ríos y en menor medida, la transferencia lateral desde otros acuíferos adyacentes.

Durante todo el periodo de estudio, las entradas totales al sistema muestran una tendencia acusada al descenso, principalmente debido a la disminución de la recarga superficial por los cambios de uso del suelo que se ha ido produciendo de forma paulatina a lo largo de todo el periodo simulado. La disminución de las superficies regadas ha conllevado, a su vez, a menores derivaciones en sendos ríos, por lo que su volumen de agua no llega a extenderse del mismo modo y por tanto, la infiltración se ve afectada.

Con respecto a la evolución del volumen bombeado durante el periodo de estudio

(Fig. 4), aunque existen algunos picos de explotación durante los años en los que se han producido menores entradas, la tendencia es levemente ascendente, sin producirse grandes cambios interanuales.

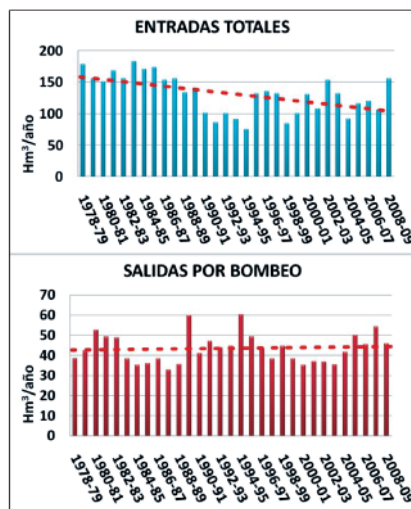


Fig. 4.- Tendencia en las entradas y en el bombeo durante el periodo de estudio

Fig. 4.- Tendency of the aquifer inputs and the pumping during the studied period.

Conclusiones

Se ha construido un modelo de flujo en 2D de la Vega de Granada y que ha sido calibrado y validado correctamente.

Los resultados muestran unos recursos menores que los estimados en otros estudios por lo que debe ser tenido en cuenta en futuras planificaciones de explotación de este acuífero.

Se observa una disminución en la recarga del sistema que se considera producida por los cambios en los usos del suelo, de cultivos con retorno de riegos a suelos urbanizados impermeables donde la lluvia no se infiltra. Sin embargo los bombeos no

parecen haber disminuido en este mismo periodo.

En este lapso de tiempo se parte de una situación en la que el acuífero muestra unas condiciones poco alteradas por el hombre y, sin embargo, al final de este periodo, el acuífero de la Vega muestra un estado altamente antropizado que queda muy alejado del funcionamiento natural que tendría el sistema en sus orígenes.

Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias a los fondos proporcionados por la Fundación EMA-SAGRA, los proyectos CGL2008-05016 (MICIIN) y CGL2012-32892 (MINECO), Grupo de Investigación de la Junta de Andalucía RNM-369.

Referencias

AAA (2001). *Norma de explotación de la Unidad hidrogeológica 05.32 (Depresión de Granada). Revisión y actualización de las normas de explotación de las Unidades Hidrogeológicas de las cuencas del Guadalquivir y Guadalete - Barbate. Propuesta de normativa y definición de nuevas Unidades Hidrogeológicas.* 45 p.

AAA (2008). *Aplicación a la cornisa de la Vega de Granada.* 4 Tomos. Sin editar. 970 p.

Castillo, A. (1986). *Estudio hidrogeoquímico de la Vega de Granada.* Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 658 p.

Castillo, A. (1989). *Mapa hidrogeológico del acuífero de la Vega de Granada (escala 1:25.000).* Ed. Servicio de Publicaciones del IGME. Madrid.

Castillo, A. (1995). *El embalse subterráneo de la Vega de Granada, uno de los más importantes de Andalucía.* Tierra y Tecnología, 9, 37-42.

Castillo, A. (2005). En: *Agua, Minería y Medio Ambiente, Libro Homenaje al Profesor Rafael Fernández Rubio* (J.A. López Geta, A. Pulido-Bosch y J.C. Baquero, Eds.). IGME, 161-172.

Doherty, J. (2004). *PEST: Model Independent Parameter Estimation. User Manual* (5th edition). Corinda, Queensland, Australia: Watermark Numerical Computing 336 p.

FAO (1972). *Proyecto piloto de utilización de aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir.* (Informe nº 2). Madrid. 204 p.

Prudic, D.E., Konikow, L.F. y Banta, E.R. (2004). *A new streamflow-routing (SFR1) package to simulate stream-aquifer interaction with MODFLOW-2000.* U.S. Geological Survey open file report 2004-1042, 104 p.

BALANCE	ENTRADAS (hm ³)				SALIDAS (hm ³)			
	RS	IR	TL	ΔS	B	ER	EW	ΔS
TOTAL	66,11	49,73	16,5	43,86	42,81	53,62	39,61	41,07
RECURSOS	132,34				136,04			

Tabla 2.- Datos medios anuales de las componentes del balance hídrico del modelo en régimen transitorio. RS: Recarga Superficial; IR: Influencia de los Ríos; TL: Transferencia Lateral; S: Variación por Almacenamiento; B: Bombeos; ER: Efluencia de los Ríos; BW: Borde occidental.

Table 2.- Average annual data of the components of the water budget of the transient model RS: Surface recharge; IR: River infiltration; TL: Lateral transference S: Storage change; B: Pumping; ER: Gaining in rivers; BW: West border.