

## LOS ACUÍFEROS DE LA DEPRESIÓN DE GRANADA Y SU CORNISA

**J.A. Luque Espinar<sup>1</sup>, A. Castillo Martín<sup>2</sup>, J. Juárez García<sup>1</sup>, J. Riera Rico<sup>3</sup>,  
J.C. Rubio Campos<sup>1</sup>, G. Perandrés Estarlí<sup>1</sup>, J. Delgado García<sup>3</sup>, L Mittelbrum Damas<sup>3</sup>,  
R. Navarro López Obrero<sup>4</sup>, M. Chica Olmo<sup>2</sup>, y M. Delgado<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España IGME. <sup>2</sup> Universidad de Granada.

<sup>3</sup> Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. <sup>4</sup> Consultor

### Resumen

En este trabajo se recogen, de forma resumida, el estado de conocimiento actual de los acuíferos relacionados con la Depresión de Granada y las sierras de Padul-La Peza y Albuñuelas, lo que constituiría gran parte de la cornisa de la Vega. Estos acuíferos se incluyen en las unidades hidrogeológicas 05.31 La Peza, 05.32 Depresión de Granada, 05.42 Tejeda-Almijara-Las Guájaras y 05.65 Sierra de Padul.

**Palabras clave:** hidrogeología, depresión de Granada y cornisa

### INTRODUCCIÓN

Los primeros trabajos de reconocimiento hidrogeológico de importancia en la zona comenzaron a finales de la década de los años 60, con el "Proyecto de investigación hidrogeológica de la cuenca del Guadalquivir" (FAO-IGME, 1968), en el que se abordó la investigación del acuífero de la Vega de Granada, y su continuidad en 1972 (FAO-IGME, 1972). Con posterioridad, el IGME ha realizado distintos trabajos de actualización hidrogeológica y, en la Universidad de Granada, se han realizado distintas tesis doctorales relacionadas con los recursos hídricos de este



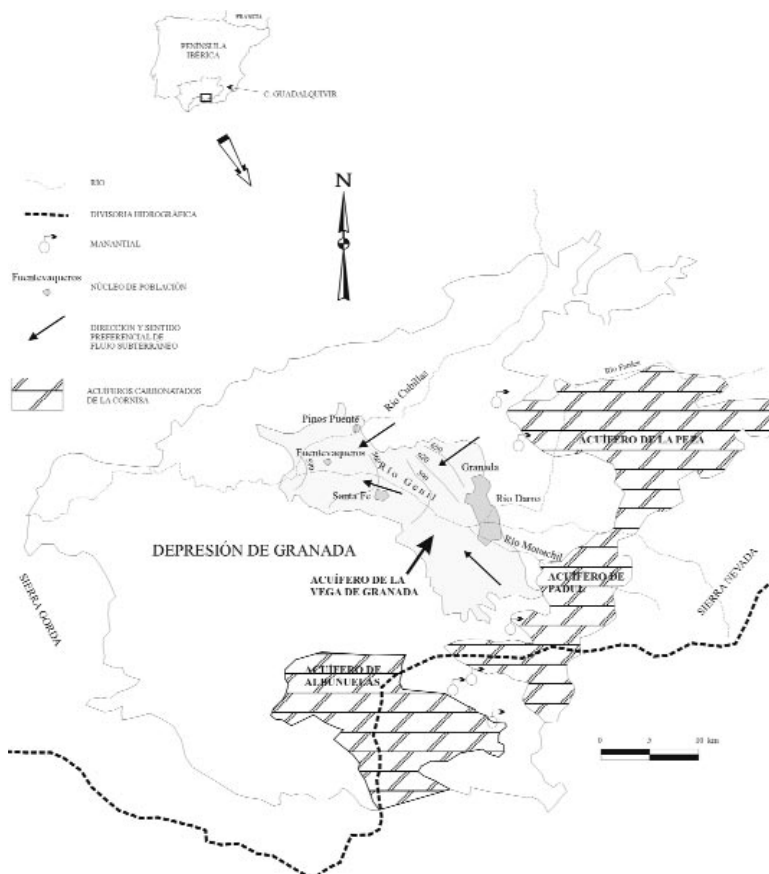
Laguna de la Mosca, Bajo el Mulhacén (Sierra Nevada)

acuífero. De igual forma, el IGME ha realizado distintos trabajos de infraestructura hidrogeológica en los acuíferos carbonatados de la cornisa de la depresión. De entre todos, cabe destacar los proyectos de normas de explotación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Guadalquivir, donde se hace una revisión del estado de conocimiento de las unidades; la última actualización está prácticamente completada (IGME-CHG, 2002). En la figura 1 se muestra la situación de los acuíferos objeto de este trabajo.

### UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.31 LA PEZA

Esta unidad pertenece a la Zona Interna de las Cordilleras Béticas y en concreto al dominio Alpujárride, que se superpone tectónicamente a los materiales del complejo Nevado-Filábride. En la figura 1 se aprecia su situación y relación con los otros acuíferos.

La unidad hidrogeológica de La Peza, con 182 km<sup>2</sup>, está compuesta por diferentes mantos de corrimiento del complejo Alpujárride, formados por calizas, dolomías, mármoles y calcoesquistos, que constituyen un extenso acuífero libre que presenta alta permeabilidad debida a procesos de fisuración y karstificación.



**Figura 1.** Situación de la depresión de Granada y los acuíferos de la cornisa.

El principal acuífero lo constituyen los materiales carbonatados del Alpujarride, en concreto los mantos de Zujeiro y de Alfaguara. En la unidad se distinguen otras formaciones permeables, formadas por calizas y dolomías jurásicas del Subbético, gravas, arenas, limos y también conglomerados del Cuaternario; calcarenitas bioclásticas y calizas detríticas del Terciario postorogénico; calcarenitas y calizas del Terciario pre y sinorogénico.

El límite septentrional, que separa esta unidad de la de Sierra Arana coincide, grosso modo, con los cauces de los ríos Bermejo y Fardes. El límite suroriental es de carácter cerrado, por el contacto con el Nevado-Filábride, formado por los micaesquistos del Manto del Mulhacén, que constituye así mismo el substrato de la unidad. El límite occidental lo constituyen los materiales detríticos del Neógeno y el Cuaternario de la depresión de Granada. El límite meridional es el cauce del río Genil, que se considera abierto y en continuidad hidráulica con la unidad hidrogeológica de Sierra de Padul.

Los valores de transmisividad de esta unidad oscilan entre 40 m<sup>2</sup>/d (IGME, 1983) y 3500 m<sup>2</sup>/día (ITGE, 1989).

La recarga procede de forma mayoritaria de la infiltración de las precipitaciones caídas sobre los afloramientos permeables, si bien también puede recibir aportaciones desde los cursos superficiales que atraviesan la zona; la descarga de esos recursos se produce hacia los límites abiertos de la misma y hacia los ríos que la surcan.

La compleja estructura de la unidad implica la existencia de numerosas zonas donde la intersección de las metapelitas de la base de cada manto, unida a la fuerte pendiente topográfica, hace que se produzcan numerosos niveles de descarga al coincidir ambas superficies, por lo que se generan drenajes por manantiales colgados en los que el agua, que ya se había infiltrado en la unidad, vuelva a emerger para, a posteriori, reinfiltrarse en el mismo acuífero aguas abajo o pasar a formar parte de la escorrentía superficial que es canalizada por los ríos existentes (IGME-CHG, 2002).

Se distinguen varios sectores (ITGE, 1999) que presentan unas características diferentes: Sector del Cerro Carcabal, Sector del manto de Narváz al sureste de La Peza, Sector de Güéjar – Sierra, Sector del sinclinal del Arroyo Padules, Sector del río Aguas Blancas, Sector del río Fardes y Sector Noroccidental (Beas de Granada-Cogollos Vega-Alfacar). En la unidad, la facies hidroquímica más abundante es la bicarbonatada cálcico-magnésica con residuos secos del orden de los 365 mg/L (ITGE, 1999); la calidad para abastecimiento urbano se puede considerar como apta.

El total de entradas a la unidad es de 91 hm<sup>3</sup>/a (ITGE, 1999), valor similar a las salidas, de las que 6 hm<sup>3</sup>/a corresponden a bombeos.

## **UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 05.32 DEPRESIÓN DE GRANADA**

Esta unidad detrítica tiene una extensión superior a los 1.100 km<sup>2</sup>, según la última propuesta de revisión de la norma de explotación (IGME-CHG, 2002). En la figura 1 se observa la depresión de Granada y la subunidad de la Vega de Granada.

Ubicada en el sector central de las Cordilleras Béticas, en la depresión de Granada se observa una gama amplia de materiales aluviales y lacustres, conglomerados, arenas, arcillas y otros, de edad, fundamentalmente, Mioplioceno y Cuaternario. Bajo la Depresión de Granada se ponen en contacto las zonas internas con las zonas externas de la cordillera.

El Cuaternario reciente (Holoceno), gravas, arenas y arcillas aluviales, las cuales constituyen la subunidad de la Vega en sentido estricto, presenta potencias superiores a los 250 m bajo el cauce del Genil. Los cambios de facies son continuos, tanto en la vertical, como en la horizontal. La franja central está dominada verticalmente por gravas gruesas gradadas que se vuelven arcillosas hacia los bordes. El substrato de la unidad sólo es conocido en los bordes y está constituido por el resto de materiales neógenos. En el límite nororiental se diferencia un tramo infrayacente de arcillas, gravas y arenas del Holoceno y en la zona suroriental la formación Zubia del Pleistoceno, de carácter conglomerático .

El resto de la unidad hidrogeológica está formada por materiales del Mio-Plioceno y, en menor medida, del Cuaternario. El conjunto constituye la subunidad detrítica del Mio-Plioceno de la depresión de Granada. Los materiales mio-pliocenos conforman el substrato generalizado del acuífero de la Vega.

Además de los materiales presentes en la subunidad de la Vega de Granada, presentan interés hidrogeológico los siguientes en el resto de la depresión:

Los materiales plio-cuaternarios, que están caracterizados por complejos cambios de facies y constituidos, esencialmente, por conglomerados, arenas, limos, y arcillas del Plio-Pleistoceno. Entre ellos se encuentran las formaciones de "Moraleda de Zafayona" y "Alhambra". La primera está ampliamente representada en el extremo oriental de la Unidad. La formación de "Conglomerados de Moraleda de Zafayona" constituye una unidad tectosedimentaria a escala de cuenca.

Los materiales cuaternarios, poco extensos en general, se desarrollan en las vegas de Huétor Tájar-Villanueva de Mesía y de Tocón y en los valles de los ríos Cubillas y Piñar (IGME-CHG, 2002).

Margas, margocalizas con lignito, calizas y margocalizas con gasterópodos del Turoliense terminal y limos, yesos y margas del Tortoniense-Turoliense superior.

Los conglomerados, areniscas y calcarenitas del Mioceno. A este conjunto pertenece la formación de Pinos Genil presente en el extremo oriental de la Unidad .

Se trata, por tanto, de una unidad hidrogeológica detrítica permeable por porosidad intergranular donde se diferencian dos subunidades acuíferas:

### **Subunidad de la Vega de Granada**

Se trata de un acuífero libre por porosidad intergranular que ocupa una superficie del orden de 200 km<sup>2</sup>. Se diferencian dos sectores según su comportamiento hidráulico:

La denominada Vega Baja del acuífero está constituido por aluvial del Holoceno, con 150 km<sup>2</sup> de superficie, considerado por FAO-IGME (1972) como cuaternario resistente desde el punto de vista geoelectrico y caracterizado por unas altas transmisividades. Se localiza en el área central a lo largo del eje del río Genil. En la figura 2 se puede observar la Vega de Granada según FAO-IGME (1972) y las trazas de los sondeos eléctricos realizados en relación con el proyecto llevados a cabo en el proyecto del Guadalquivir. Por otra parte, sus bordes son cerrados, salvo los comprendidos entre los Baños de Sierra Elvira y Pinos Puente, que son abiertos de tipo carbonatado; los constituidos por la formación Alhambra son de carácter semipermeable en Jun y Huétor Vega y los que constituye la formación Zubia son de carácter permeable entre Huétor Vega y Otura. En cuanto al substrato, es de naturaleza limo-arcillosa y de carácter impermeable. La geometría del acuífero se conoce con cierto detalle desde los trabajos realizados en esta subu-

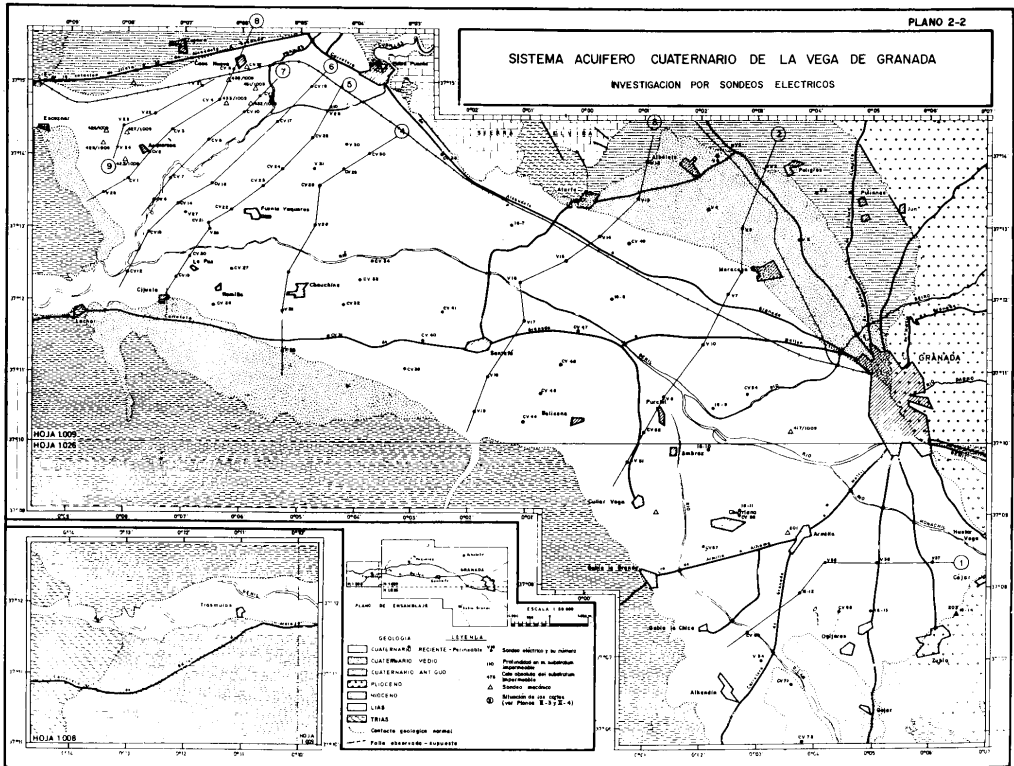


Figura 2. La hidrogeología de la Vega de Granada (FAO-IGME, 1972)

nidad por FAO-IGME en 1972. Se conoce que el espesor saturado es de, al menos, 250 m en la franja central bajo el río, espesor que disminuye progresivamente hacia los bordes. Se estiman unas reservas potencialmente explotables de 1.000 hm<sup>3</sup>.

La Vega Alta, con valores de resistividad bajos (FAO-IGME, 1972), tiene una superficie de 50 km<sup>2</sup> y se localiza entre los núcleos urbanos de Pulianas, Albolote y Granada. Incluye también la formación Zubia en el extremo suroriental. Se comporta como un acuífero-acuitardo. El confinamiento hidráulico de algunos niveles acuíferos puede dar lugar a captaciones surgentes. La formación Zubia, por su parte, presenta espesores de hasta 160 m y un comportamiento como acuífero que se ve mermado por la presencia de niveles conglomeráticos cementados en algunos puntos. Ambos presentan conexión hidráulica con el acuífero de la Vega Baja.

### Subunidad detrítica mio-pliocena

Ocupa aproximadamente unos 900 km<sup>2</sup> de superficie. El predominio de materiales poco permeables y la desconexión de los afloramientos no permite considerar al conjunto como un único acuífero en sentido estricto. Sin embargo, existen materiales de interés acuífero local.

Los aluviales y terrazas del río Genil, que están estrechamente ligados al funcionamiento de los cauces superficiales, presentan espesores conocidos que pueden superar los 50 m, con superficies de afloramiento de hasta 20 km<sup>2</sup>.

Los materiales del Mio-Plioceno están representados por conglomerados, areniscas, calcarenitas y calizas. Sólo las calcarenitas Tortonienses y las calizas parecen presentar buenas condiciones hidráulicas. El conjunto funciona como un acuitardo multicapa con una circulación restringida a los tramos más conglomeráticos. Su espesor es variable, pudiendo alcanzar los 300 m.

Los conglomerados, arenas y limos del Plio-Cuaternario, en general, se comportan como un acuitardo. El predominio de la fracción conglomerática puede caracterizar al acuífero como de baja permeabilidad, como es el caso de la formación Alhambra. En algunos sectores el confinamiento hidráulico de los niveles transmisivos más profundos puede dar lugar a aguas surgentes.

Este conjunto heterogéneo muestra una importante variedad en los parámetros hidráulicos. Así, en la subunidad de la Vega, el gradiente hidráulico varía entre 1,5 y 0,12%; la transmisividad, presenta valores medios de 4.000 m<sup>2</sup>/d; el coeficiente de almacenamiento y porosidad eficaz, en la zona central, toma un valor del 5-10% y la porosidad eficaz en torno al 6% respectivamente (FAO-IGME, 1972).

Se desconocen, en general, los valores que presentan los parámetros hidráulicos en la subunidad del Mio-Plioceno.

Las entradas en la subunidad de la Vega se producen fundamentalmente en el sector oriental; proceden de la infiltración de aguas de superficie de la cuenca del Alto Genil, por el retorno de las aguas de regadío y por la infiltración directa del agua de lluvia caída sobre su superficie; tampoco son desdeñables las aportaciones ocultas de borde procedentes tanto desde los relieves carbonatados alpujarrides de la cornisa (a través de niveles detríticos en conexión hidráulica), como desde el sistema carbonatado subbético de Sierra Elvira. En Castillo (1986) se apunta que este es el orden de importancia de las entradas en la subunidad.

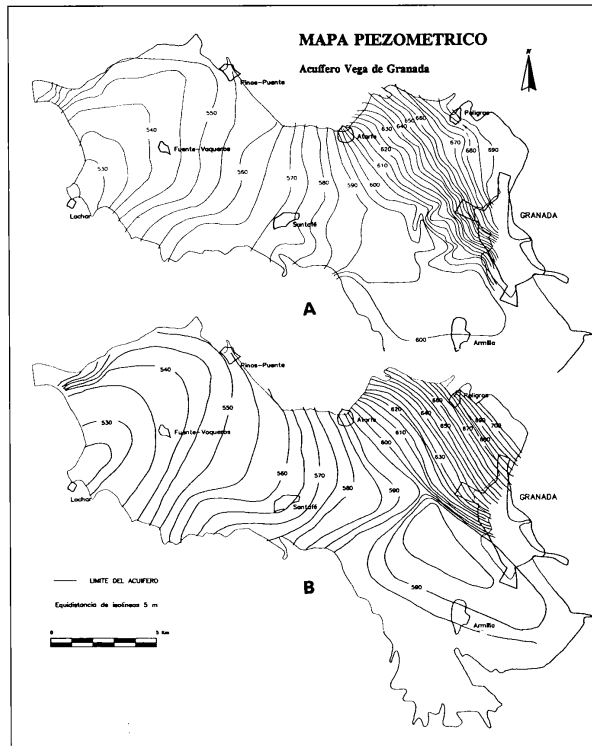
Las salidas se producen en la mitad occidental mediante el drenaje natural a ríos, canales de riego y a través de manantiales ("barras o madres"), así como por bombeos con destino a regadíos y abastecimientos urbanos e industriales.

En los mapas de isopiezas existentes se observa que el sentido de flujo es Este-Oeste; los ejes preferentes de circulación se localizan bajo los cauces de los ríos Monachil, Genil y Cubillas como consecuencia de la mayor transmisividad de los materiales. En la figura 3 se observan juntos el primer (1967 en FAO-IGME, 1968) y último levantamiento piezométrico (1994 en Castillo, 1995) actualmente disponibles.

El primer levantamiento piezométrico de la Vega de Granada se realiza en 1967 por el Proyecto del Guadalquivir. Esta piezometría corresponde a la situación más próxima a las condiciones naturales de flujo del acuífero. En esta situación los gradientes piezométricos reflejan esencialmente las condiciones litológicas del sistema (Delgado et al., 1996).

A partir de 1983 se produce un importante cono de depresión en el sector de aguas arriba, entre Purchil y Granada, que se sigue acentuando en la siguiente década, hasta 1994, fecha del último mapa piezométrico del que se dispone. El descenso máximo acumulado entre estas dos situaciones es de unos 20 m (Delgado et al., 1996).

El funcionamiento de la subunidad del Mioplioceno, en conjunto, se compone de niveles de escaso espesor, desconectados entre sí, de permeabilidad moderada que están confinados o semiconfinados en muchos casos. Las entradas al sistema se realizan fundamentalmente por infiltración del agua de lluvia, aportaciones laterales procedentes de las sierras carbonatadas de su entorno y retorno de regadíos; las salidas tienen lugar mediante el drenaje natural a la red fluvial del río Genil y por algunos bombeos.



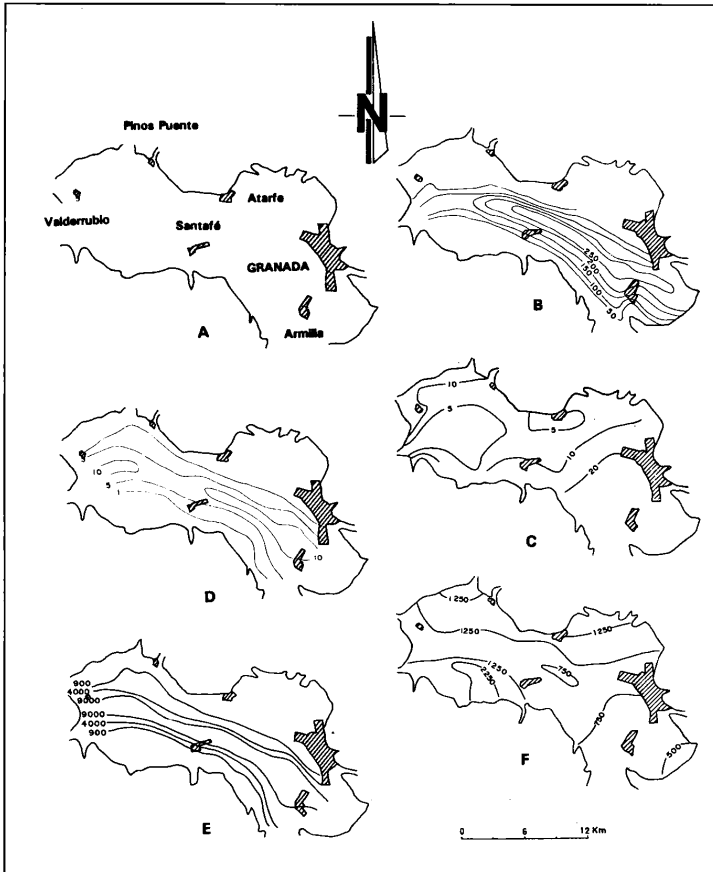
**Figura 3.** Mapas piezométricos de 1967 (A) en FAO-IGME (1968) y de 1994 (B) en Castillo (1995)

Aunque los primeros datos hidroquímicos del acuífero de la vega de Granada proceden del Proyecto FAO, la hidroquímica de este acuífero fue estudiada con carácter monográfico en la tesis doctoral de Castillo (1986). La salinidad de las aguas es muy variable de unos puntos a otros. Los valores de conductividad oscilan entre menos de 750 y 1.250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque hay sectores con valores anormalmente altos, superiores a los 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , como resultado principalmente del lixiviado superficial y subterráneo de materiales evaporíticos. En relación a los contenidos en nitratos, se observan, en algunas zonas, valores mayores de 50 mg/L. La facies hidroquímica dominante es fundamentalmente bicarbonatada cálcica y, en menor proporción, sulfatada, coincidiendo con los sectores de salinidad mayor.

La facies dominante en la subunidad del Mio-plioceno es, en general, bicarbonatada cálcica y raramente magnésica, con contenidos salinos menores de 1.000 mg/L.

Para completar la información general de la subunidad de la Vega de Granada, se muestra en la figura 4, de Castillo (1995), distintos planos de la Vega de Granada donde se representan distintos parámetros de la subunidad.

El balance hídrico de la subunidad de la Vega de Granada, dependiendo del autor que se consulte, presenta algunas diferencias; así, para Castillo (1986), las entradas son de 184  $\text{hm}^3/\text{a}$ , mientras que para ITGE (1989), ascienden a 232  $\text{hm}^3/\text{a}$ . Es muy posible que en el momento



**Figura 4.** Diversos mapas de variables hidrogeológicas del acuífero de la Vega de Granada (figura tomada de Castillo, 1995)

actual, las aportaciones sean menores a las existentes cuando se realizaron esos balances, debido a una mayor regulación superficial de la cuenca, y a una disminución de las dotaciones y extensión de los regadíos (menor tasa de retorno de riegos).

### **ACUÍFERO DE LA SIERRA DE LAS ALBUÑUELAS**

Este acuífero (figura 1) pertenece a la unidad hidrogeológica 05.42 de Tejeda–Almijara–Las Guájaras, que está constituida por formaciones carbonatadas pertenecientes a diferentes mantos de corrimiento del complejo Alpujarride, formados por calizas, dolomías y mármoles, que conforman un extenso acuífero con alta permeabilidad debida a procesos de fisuración y karstificación.

Los tramos inferiores metapelíticos de los distintos mantos, además de constituir el substrato impermeable de la unidad hidrogeológica, conforman el límite de la misma en la mayor



parte de su contorno, excepto en el sector septentrional, en el que los materiales de la unidad contactan con los depósitos detríticos de las depresiones de Granada, Padul y Las Albuñuelas.

La unidad hidrogeológica está constituida por las subunidades de sierra de Tejeda, sierra de Almijara, Alberquillas y Albuñuelas (ITGE-DGOH, 1993). La sierra de Tejeda, situada al oeste, está perfectamente individualizada, mientras que en el sector central y oriental se sitúa la subunidad de la sierra Almijara, parcialmente desconectada de la más meridional, las Alberquillas y de la más septentrional, de las Albuñuelas.

La subunidad de las Albuñuelas, con 256 km<sup>2</sup>, se sitúa en la margen nororiental de la unidad y presenta límites abiertos con la subunidad de Sierra de Almijara, con las formaciones detríticas terciarias de las depresiones de Granada al norte y Padul al noreste, estando cerrado el flujo subterráneo hacia el oeste de la subunidad por la superposición de los limos postorogénicos del Terciario.

Esta subunidad se alimenta de la infiltración del agua de lluvia, comportándose el acuífero como un bloque homogéneo en el que la recarga se dirige hacia los límites abiertos del mismo. Las principales descargas, por manantiales, se sitúan fundamentalmente en el límite Este, hacia la Cuenca Sur, estando los más importantes en el sector Sur de Padul, en el Suroeste de Dúrcal y en la cabecera del río Albuñuelas; en el borde noroccidental se realiza la descarga de forma oculta, lo cual se ha podido manifestar por el comportamiento de la isopiezas en dicha zona (ITGE, 1999).



Manolo en Sierra Nevada de excursión

La facies hidroquímica más abundante en la unidad es las bicarbonatada cálcica y la bicarbonatada cálcico-magnésica (ITGE-DGOH, 1993); se considera como apta para consumo.

Las entradas totales, procedentes de la lluvia, se estiman en 56 hm<sup>3</sup>/a; en las salidas, similares a las entradas, se diferencian las visibles, 41 hm<sup>3</sup>/a, las relacionadas con bombeos, 2 hm<sup>3</sup>/a, y las debidas a transferencias ocultas, 13 hm<sup>3</sup>/a.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Castillo, A. 1986. Estudio hidroquímico del acuífero de la Vega de Granada. Tesis Doctoral, Universidad de Granada. Eds. Universidad de Granada e IGME. Granada. 658 pp.
- Castillo, A. 1995. El embalse subterráneo de la Vega de Granada, uno de los más importantes de Andalucía. *Tierra y Tecnología*, 9, 37-42.
- Delgado, J., Riera, J. del Valle, M. y Cardenete, J.M. 1996. Contribución del acuífero de la Vega de Granada al abastecimiento de Granada capital. IV SIAGA, Almería, I, 403-414.
- FAO-IGME. 1968. Proyecto de investigación hidrogeológica de la cuenca del Guadalquivir. PNUD.
- FAO-IGME. 1972. Proyecto piloto de las aguas subterráneas para el desarrollo agrícola de la cuenca del Guadalquivir/Utilización de las aguas subterráneas para la mejora de los regadíos de la Vega de Granada.
- IGME. 1983. Investigación hidrogeológica de las cuencas del Sur de España (Sector Occidental).
- IGME-CHG. 2002. Revisión y actualización de las normas de explotación de las unidades hidrogeológicas de la Cuenca del Guadalquivir y Guadalete-Barbate. Propuesta de nueva normativa y definición de nuevas unidades hidrogeológicas.
- ITGE. 1989. Vega de Granada. Serie manuales de utilización de acuíferos.
- ITGE. 1999. Proyecto de mejora del conocimiento hidrogeológico de los acuíferos de Gracia Morenita, Ahillo Caracolera, Padul-La Peza-Albuñuelas y diferentes sectores de las provincias de Granada y Jaén para la integración de sus recursos en los abastecimientos públicos 1997-1999.
- ITGE-DGOH. 1993. Propuesta de Normas de Explotación de las unidades hidrogeológicas con afección a embalses de regulación y fuentes de abastecimiento a poblaciones de la Cuenca del Guadalquivir.