

**NUEVOS DATOS SOBRE LA GEOMETRIA DEL ACUÍFERO COSTERO DE
ALMUÑECAR (GRANADA). APORTACIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA
POROSIDAD EFICAZ Y DE LAS RESERVAS**

Resumen

Abstract

Introducción

Análisis de antecedentes

Datos de partida

Metodología

Discusión de los resultados

Agradecimientos

Referencias

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

**NUEVOS DATOS SOBRE LA GEOMETRIA DEL
ACUIFERO COSTERO DE ALMUÑECAR (GRANADA).
APORTACION AL CONOCIMIENTO DE LA POROSIDAD
EFICAZ Y DE LAS RESERVAS**

CALVACHE QUESADA, María Luisa
BENAVENTE HERRERA, José

Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada e Instituto Andaluz de
Geología Mediterránea (Univ. Granada - CSIC).

RESUMEN

La reciente realización de una serie de sondeos piezométricos en el acuífero costero de Almuñécar (Granada), ha supuesto una notable aportación al conocimiento de sus características geométricas. A partir de los correspondientes registros litológicos, hemos obtenido valores de porosidad eficaz en cada sondeo dentro del rango de 13 a 21 %, con valores medios entre 17% y 19%. Los valores más bajos se localizan en el sector de cabecera del río Verde y en el sector costero del río Seco; los valores más altos, por lo general, corresponden al sector costero del río Verde. El análisis de los valores de la profundidad del sustrato impermeable en cada sondeo, ha permitido matizar y confirmar hipótesis anteriores al respecto, así como identificar los principales rasgos litológicos de los materiales que componen el acuífero. Ambos aspectos han sido básicos en la estimación del volumen de reservas almacenadas bajo la situación de niveles altos: casi 27 Hm³. Aproximadamente un 60% de esa cifra está por debajo del nivel del mar. Entre la situación piezométrica de aguas altas y la de estiaje se estima un volumen drenado próximo a 9,4 Hm³, de los que aproximadamente 1,4 Hm³ corresponden a explotación de reservas situadas bajo el nivel del mar.

ABSTRACT

This contribution to the knowledge of the Almuñécar aquifer geometry (Granada) is based in a number of borehole data. Effective porosity values range from 13 to 21%, with average values between 17 and 19%. The lower values are found in the river Verde headwaters sector and the river Seco coastal sector; the higher values generally belonging to the river Verde coastal sector. The analysis of the substratum depth allows us to confirm former hypothesis and to identify the main lithological features of the aquifer. We have estimated the stocks contained under the high levels situation: almost 27 Hm³, about the 60% of it below the sea level. There is a volume of water drained close to 9,4 Hm³ between the high and the low piezometrical situations; 1,4 Hm³ of such volume is below the sea level due to the effect of the over exploitation.

INTRODUCCION

La falta de información relativa a la geometría de detalle en el acuífero de Almuñécar no se corresponde con el notable avance que existe en el conocimiento de otros de sus aspectos hidrogeológicos: piezometría, funcionamiento, hidroquímica, etc.. Ello se debe, fundamentalmente, a la falta de datos directos que, a partir de perforaciones mecánicas, permiten ilustrar sobre: (a) la profundidad del sustrato impermeable en los diferentes sectores del acuífero, y (b) la naturaleza litológica más o menos precisa de los materiales que integran el embalse subterráneo.

El conocimiento del primero de los aspectos anteriores permitirá cuantificar el volumen existente de materiales acuíferos. A partir del segundo de tales aspectos podrá estimarse, aproximadamente, la porosidad eficaz de los materiales y sus variaciones de unos puntos a otros. La consideración de ambos tipos de información junto con la procedente de registros piezométricos hará posible la evaluación, aunque sea orientativa, de las reservas almacenadas en el embalse subterráneo, para diferentes situaciones hidrológicas.

Por tanto, esta investigación pretende, a partir de metodologías de gabinete, obtener la máxima información con los anteriores aspectos hidrogeológicos (valores de la porosidad eficaz y evaluación de sus reservas) en base a los datos obtenidos en la campaña de sondeos piezométricos realizada en 1984 por la Comisaría de Aguas del Sur de España.

ANALISIS DE ANTECEDENTES

En investigaciones precedentes (Benavente, 1982) se han presentado mapas relativos a la profundidad del sustrato impermeable en el acuífero de Almuñécar. Los datos de partida procedían de información suministrada por los propietarios de las captaciones y, en algunos casos, de los sondistas que las efectuaron.

Este tipo de información era difícil de interpretar y, las más de las veces, incluso contradictoria, lo que planteaba problemas a la hora de considerar la fiabilidad de un documento que integrara todos los datos recogidos. Hay que tener en cuenta, además, que muchas captaciones no eran totalmente penetrantes, por lo que la información que aportaban era sólo parcial.

A los inconvenientes que procedían del origen de la información, hay que añadir los derivados de la propia complejidad inherente al aspecto estudiado. En efecto, investigaciones fotogeológicas previas (Fernández-Rubio et al., 1972; López López, 1974) pusieron de manifiesto el importante control estructural que existía sobre el trazado de los valles de los ríos Verde y Seco. Esta influencia tectónica habría, muy posiblemente, de condicionar también la geometría del sustrato, con el riesgo de error que ello conlleva a la hora de inferir información areal a partir de datos puntuales.

Con los datos disponibles de potencia del acuífero aluvial se efectuó un tratamiento geoestadístico mediante krigage (Chica et al., 1981) del que se concluyó la posible existencia de un sustrato compartimentado en bloques,

aunque también se acusaba la carencia de un número mayor de datos para pronunciarse con más claridad al respecto.

En relación con la distribución litológica de los diferentes sedimentos que constituyen el acuífero, cabe señalar los resultados de una campaña de sondeos eléctricos verticales realizados en 1977, en la que se determinó que, bajo un recubrimiento superficial de tipo limoso con abundante materia vegetal, cuyo espesor oscilaba entre 0 y 10 m según los sectores, se halla una segunda capa más resistiva constituida por material detrítico grueso con un espesor de 20 - 30 m en la parte norte del acuífero, y entre 10 y 30 m en los tres kilómetros más cercanos a la costa. En esta última zona, donde el espesor de aluviones es mayor (60 - 90 m), bajo la capa resistiva se encuentra una tercera formación geoelectrónica con valores intermedios en dicho parámetro. Se observa que en estas dos últimas capas la resistividad decrece con la proximidad al borde costero, lo que puede interpretarse como una disminución de la granulometría de los materiales. En el área más próxima al mar, se identifican alternancias de niveles finos caracterizados por valores de baja resistividad (IGME, 1985).

De hecho, las mencionadas intercalaciones de materiales más finos han sido localizadas mediante sondeos mecánicos con espesores que, en algunos puntos, alcanzan valores de 5 m o ligeramente superiores.

Las variaciones litológicas detectadas en la campaña geoelectrónica a que hemos aludido, también lo fueron en sentido transversal. A este respecto, se identificaron enclaves de granulometría más gruesa que constituían vías preferenciales de circulación del agua subterránea. En la interpretación del carácter de paleocanal de tales enclaves, ha influido notablemente la información procedente de detallados reconocimientos fotogeológicos previos (Fernández-Rubio, 1972).

En lo relativo a la estimación de la porosidad eficaz, la ausencia de antecedentes era aún más manifiesta. Como se señala en Benavente (1982), no existían datos fiables al respecto procedentes de ensayos de bombeo. Cabe señalar, incluso, que en una de las pruebas más rigurosas realizadas, el valor obtenido experimentalmente para este parámetro, del orden del 2%, hubo de modificarse hasta el 9%, tras realizar una simulación matemática que tuviera en cuenta las peculiaridades del entorno hidrogeológico del lugar donde se efectuó el ensayo (García García et al., 1981).

No obstante lo anterior, tras admitir un valor medio general para la porosidad eficaz del 10%, y de manera forzosamente tentativa, se cuantificó (Benavente, 1982) el volumen de agua gravífica en el acuífero durante la situación de niveles altos en unos 20 - 25 Hm³. El mismo cálculo para la situación de estiaje condujo a unos valores del orden de 10 - 15 Hm³. La cantidad de agua almacenada en el acuífero por debajo del nivel del mar se estimaba próxima a 5 - 7 Hm³.

DATOS DE PARTIDA

Hemos partido de las columnas litológicas establecidas por el sondista que realizó los citados piezómetros de la Comisaría de Aguas del Sur, cuya situación se indica en la figura 1. En el caso del piezómetro 13, hemos dispuesto de la testificación realizada por un geólogo del MOPU.

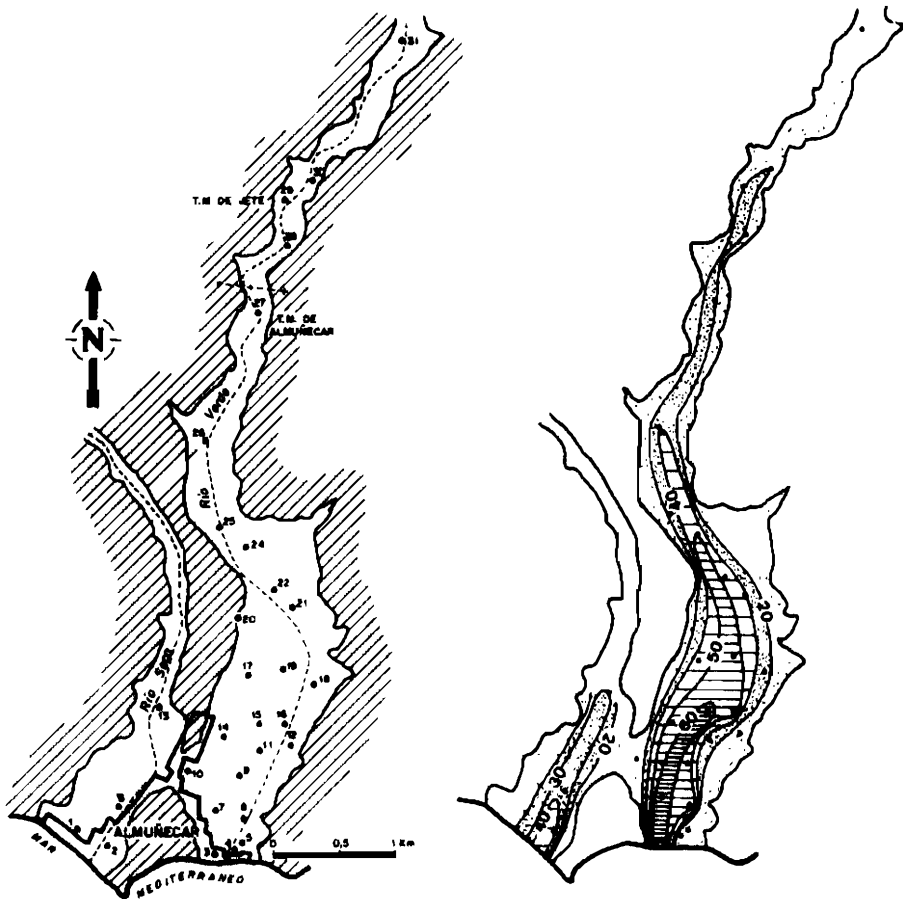


Figura 1. Situación de los piezómetros de la CASE y estimación de los espesores del acuífero (valores en m).

Los datos piezométricos, que han permitido establecer la profundidad y cota del nivel del acuífero asimilable a las situaciones de aguas altas y de estiaje, también proceden de los controles que en la correspondiente red de control realiza el organismo antes citado. En concreto, se han tomado los registros correspondientes a los meses de Marzo y Agosto de 1987.

METODOLOGIA

En una primera aproximación, hemos agrupado los datos de las diferentes columnas litológicas con objeto de identificar las principales características granulométricas de los materiales y su distribución general en sentido tanto horizontal como vertical.

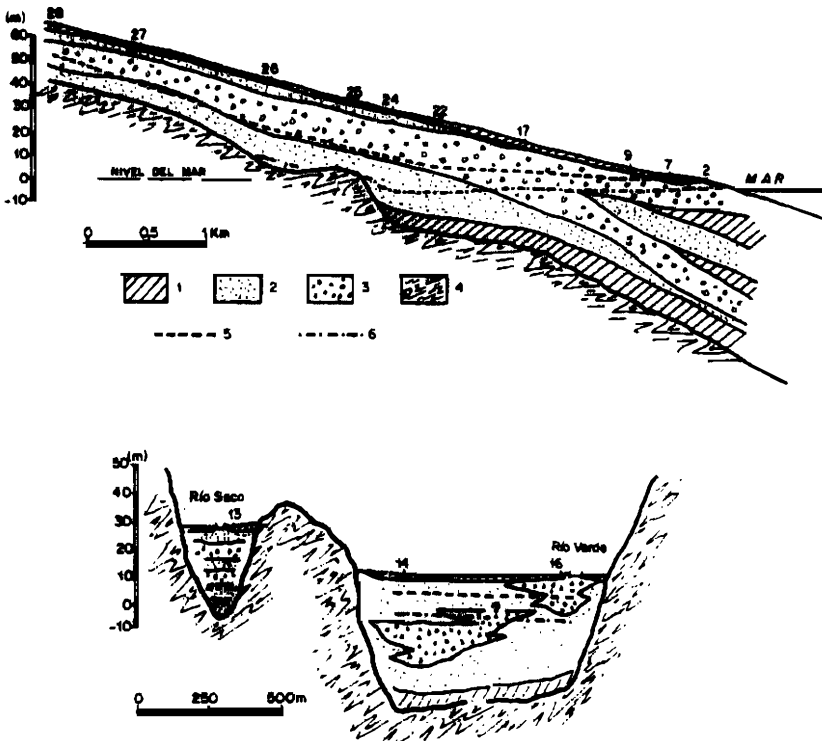


Figura 2. Cortes hidrogeológicos esquemáticos en el acuífero de Almolécar. 1: materiales con predominio de limos y arenas finas; 2: arenas medias predominantes; 3: arenas gruesas y gravas; 4: sustrato metapelítico; 5: nivel piezométrico en aguas altas; 6: nivel piezométrico en estiaje. Los números representan sondeos piezométricos.

Los resultados se esquematizan en la figura 2. En definitiva, concuerdan aceptablemente y complementan lo expuesto anteriormente en relación con los resultados de la campaña de prospección geoelectrica.

Es apreciable, en dicha figura, las intercalaciones de materiales más finos que predominan en el sector más próximo al borde costero del aluvial del río Verde; también lo es, la existencia de niveles con granulometría relativamente más gruesa que la de su entorno, lo que podría reflejar la presencia de paleocanales.

La citada figura 2 ofrece una idea general de la geometría del acuífero y también del espesor correspondiente a la desaturación anual entre los niveles piezométricos máximos y mínimos. Estos últimos, debido a la situación actual de sobreexplotación del acuífero, se localizan frecuentemente bajo el nivel del mar.

Además de los datos litológicos, hemos considerado la profundidad a que se alcanzan los materiales impermeables basales en cada uno de los sondeos de la red, con objeto de establecer las características topográficas del sustrato y calcular el espesor del recubrimiento aluvial, lo que se ilustra en el esquema de la figura 3.

En una segunda etapa, se han considerado detalladamente los registros litológicos de cada sondeo y se han asignado valores de porosidad eficaz a los diferentes tramos identificados, de acuerdo con sus características granulométricas, según el criterio de Johnson (1967; en Custodio, 1983) en la manera que se relaciona a continuación:

arenas	27 %
gravas	25 %
gravas con arenas	25 - 23 %
arenas con gravas	25 %
arenas finas	21 %
arenas limosas	15 %
gravas arcillosas y limos arenoso	10 %
limos	7 %
arcillas y margas	0 %

En función de estos valores y del espesor que cada tramo alcanza dentro del sondeo, se calcula la porosidad eficaz media que caracteriza a cada captación.

Por último, se ha dividido la superficie del acuífero en una serie de áreas (figura 3). En cada área se ha considerado un espesor medio representativo de acuífero saturado, a partir de la información de la figura 1 y de los datos piezométricos, y un valor medio de la porosidad eficaz, que resulta, también, de la estimación anteriormente comentada. Con ello se han calculado los volúmenes aproximados de agua almacenados en diferentes situaciones piezométricas.

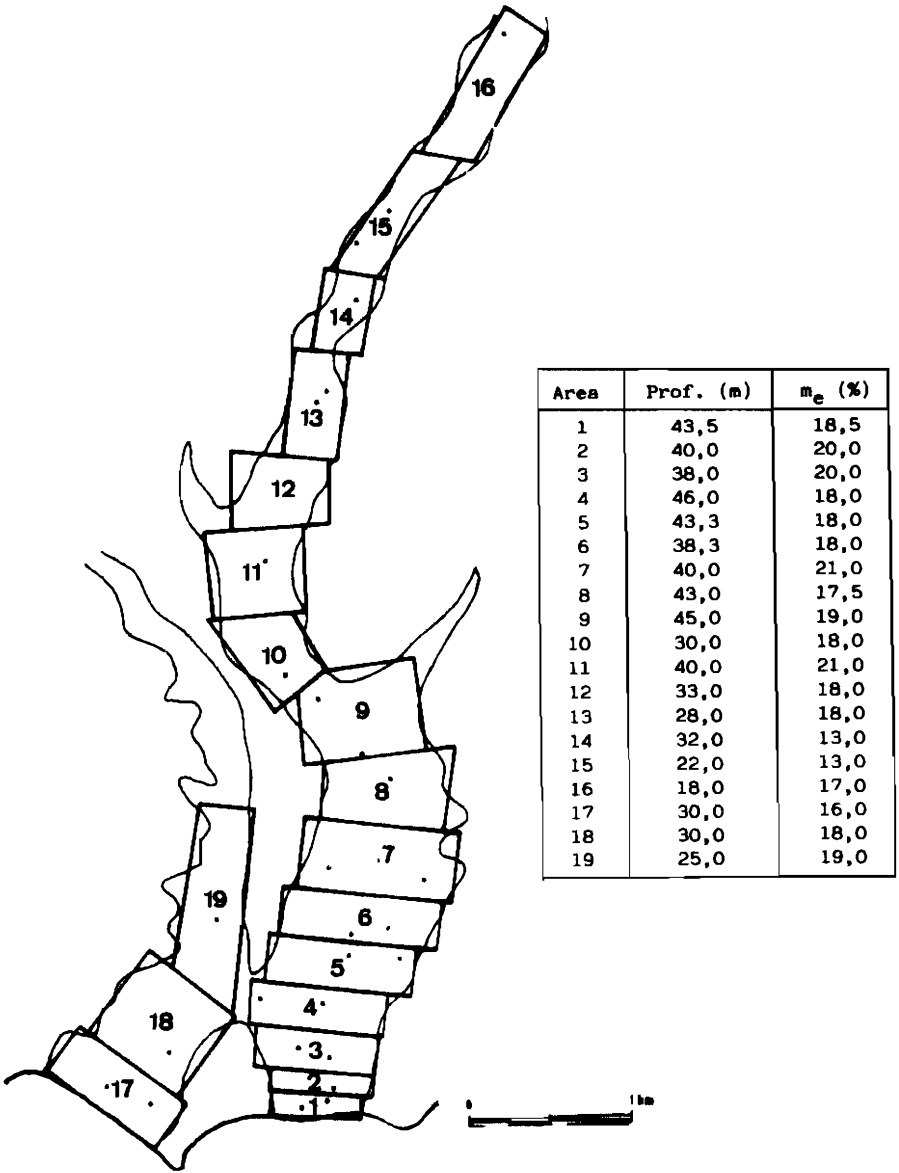


Figura 3. Valores medios de la profundidad del sustrato impermeable y de la porosidad eficaz del acuífero.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En la figura 2 se aprecia que la geometría obtenida para el sustrato no difiere sensiblemente de la que se conocía por investigaciones anteriores, en el sentido de que los máximos espesores se encuentran ligeramente desplazados hacia el Oeste respecto al trazado actual del río Verde. No obstante, permite precisar notablemente la información que, a este respecto, se ofrecía en Benavente (1982), particularmente en el tramo comprendido entre los 40 y 60 m de profundidad, que ocupa buena parte del sector de la vega de Almuñécar.

El espesor mayor de acuífero se corta en el sondeo número 3, donde casi se alcanzan los 80 m, aspecto que no difiere de los resultados obtenidos en la citada investigación previa.

La ganancia de información ha sido particularmente significativa en el sector del río Seco, donde se ha identificado un mayor espesor de relleno, alcanzando los 40 m en el punto número 2, que coincide aproximadamente con el trazado actual del río; también en el sector de cabecera del río Verde, entre Jete y la confluencia de la rambia de Torrecuevas, donde los datos precedentes ofrecían una información dispersa y poco representativa.

Por otra parte, es patente la existencia de notables pendientes en el sustrato que pueden tener su origen en accidentes tectónicos. A este respecto, coincidiendo aproximadamente con la traza actual del río Verde en su tramo final, parece identificarse una fractura de dirección aproximada N 30-40 E, modificada por otra de dirección N 50-60 W. También el borde occidental de la vega de Almuñécar parece estar claramente condicionado por otra fractura de dirección subparalela a la anterior. Igualmente, se identifica un incremento apreciable de espesor entre los sondeos 24 y 25, a la entrada de la vega, que indicaría, tal vez, la influencia de otra fractura sin que sea posible precisar su dirección.

Se trataría, en definitiva, de una confirmación de lo que a nivel general ya fue apuntado en investigaciones anteriores (Fernández-Rubio et al., 1972; López López, 1974) en base a la interpretación de fotogramas aéreos.

En cuanto a los valores de porosidad eficaz, en la tabla I se resumen las cifras medias obtenidas para el sector del río Verde, dividido en cabecera (A) y vega (B), y para el río Seco. Los valores medios están comprendidos entre el 17 y 19 %. la variabilidad, sin embargo, es muy superior en el caso del sector de cabecera del río Verde.

En la tabla I también se incluyen los valores medios de profundidad del sustrato impermeable. Como es lógico, la cifra más alta corresponde al sector de la vega. Sin embargo, la variabilidad que los valores individuales registran, debe traducir el efecto, antes comentado, de una apreciable compartimentación en el detalle.

El cálculo del volumen de agua gravífica entre las situaciones de niveles máximos y mínimos, arroja una cifra de $9,4 \text{ Hm}^3$. En parte, los niveles más bajos se localizan, como ya ha sido apuntado, por debajo de la cota cero. Esta cifra resulta sensiblemente igual a la de 10 Hm^3 que obtenía

Benavente (1982). Dicho volumen debe corresponder a la cantidad de agua que se extrae anualmente por bombeo y también, cuando la situación piezométrica así lo permite, a la descarga al mar a lo largo del borde costero. De dicha cifra, la práctica totalidad corresponde al acuífero del río Verde y solo una pequeña fracción, 0,6 Hm³, correspondería al río Seco.

Sector		N	Prof. (m)	m ₀ (%)	V ₁ (Hm ³)	V _{1a} (Hm ³)	V _{1b} (Hm ³)	V ₂ (Hm ³)	V _{2a} (Hm ³)
Río Verde	A	7	27,4 (23%)	17,2 (20%)	3,7	3,7	0,0	1,6	5,3
	B	12	42,0 (46%)	18,8 (9%)	5,1	3,7	13,5	12,4	17,5
Río Seco		4	30,0 (24%)	17,3 (9%)	0,6	0,6	2,9	3,4	4,0
TOTAL					9,4	8,0	16,5	17,4	26,8

Tabla I. Distribución por sectores de los valores medios de los parámetros calculados. V: volumen de agua en el acuífero; 1: entre aguas altas y estiajes; 1a: Idem sobre cota cero; 1b: bajo cota cero; 2: en estiaje; 2a: en aguas altas.

El dato anterior puede matizarse teniendo en cuenta las explotaciones calculadas en el acuífero que, para el año 85 - 86, son del orden de 8,9 Hm³/año (IGME, 1987). Ello implica que las salidas naturales al mar deben ser poco importantes, tal vez entre 0,5 y 1 Hm³/año. Estas salidas se producirían, para el caso del río Verde, tan solo durante los meses en que las características piezométricas así lo permitieran. En el río Seco, debe producirse de manera más o menos continua a lo largo de todo el año. Hay que tener en cuenta que, según la citada fuente, la explotación en el sector del río Seco es ligeramente inferior a 0,2 Hm³/año, lo que viene a confirmar que la mayor parte de las salidas naturales del acuífero deben producirse, de hecho, en ese sector.

El volumen total de reservas almacenados bajo los niveles piezométricos más altos totaliza la cifra de 26,8 Hm³, de los cuales 16,5 quedan bajo la cota cero. Comparando estos valores con los obtenidos por Benavente (1982), se observa una clara coincidencia en la estimación del volumen almacenado en aguas altas (20 - 25 Hm³), aunque no ocurre lo mismo con la segunda cifra, para la que el citado autor obtiene unos valores de 5 - 7 Hm³. Las diferencias que se pueden observar entre ambos grupos de valores,

se deben a la disponibilidad de datos que ha permitido, en esta investigación, llevar a cabo un estudio más riguroso de los parámetros hidráulicos y, por tanto, una estimación más exacta de los volúmenes de agua gravífica que ocupan el acuífero de Almuñécar.

De lo anterior se desprende que se podría captar anualmente un volumen de unos 10 Hm³ de agua sin que existiese riesgo de intrusión marina, en el hipotético caso de que la explotación se repartiese homogéneamente a lo largo de todo el año y no existiese la importante desproporción en favor de los meses de estiaje, como es precisamente el caso del acuífero investigado.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro reconocimiento a la Comisaría de Aguas del Sur de España por la amable cesión de los datos sobre los que se ha desarrollado este estudio. En particular, nuestro agradecimiento a D. Antonio Molina Cobos, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de dicho organismo; también a D. Juan Rosillo, con el que hemos compartido, además, gratas jornadas de campo.

REFERENCIAS

- BENAVENTE, J. (1982). Contribución al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 435 p.
- CHICA, M. (1981). Aplicaciones de la Geoestadística a la Hidrogeología. Tesis Licenciatura (inédita). Universidad Granada. 151 p.
- CUSTODIO, E. y LLamas, M.R. (1983). Hidrología Subterránea. Ed. Omega. Barcelona.
- FERNANDEZ-RUBIO, R. (1972). Estudio hidrogeológico de la captación existente en el cortijo de Fuentepiedra (Almuñécar, Granada). Informe (inédito). Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Granada. 27p.
- GARCIA GARCIA, J.L., OLLERO, E. y BENAVENTE, J. (1981). Aplicación de un modelo matemático para comprobar las características hidráulicas de un acuífero aluvial (Las Angosturas, Jete, Granada). Simp. Agua Andalucía, II: 975 - 987. Granada.
- IGME (1985). Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Guadalfeo y sectores adyacentes. Informe (inédito). Málaga.
- IGME (1987). Cálculo de las explotaciones en el acuífero de Almuñécar (año 1985 - 86). Nota técnica nº 293. Málaga.
- LOPEZ LOPEZ, J.F. (1974). Estudio hidrogeológico de los ríos Seco y Verde (Almuñécar, Granada). Trabajo monográfico (inédito). Cátedra de Hidrogeología. Universidad de Granada.