

Influencia de los eventos de recarga en la hidrogeoquímica del acuífero del Ventós-Castellar (Alicante)

Influence of the recharge events in the hydrogeochemistry of the Ventós-Castellar aquifer (Alicante)

J.M. Andreu ⁽¹⁾, E. García-Sánchez ⁽²⁾, A. Carratalá ⁽³⁾, M.J. Sanz ⁽⁴⁾, A. Pulido-Bosch ⁽⁵⁾, J. Bellot ⁽⁶⁾ y L. Villacampa ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. Universidad de Alicante (España). Apdo. Correos, 99. E-03080 Alicante. Andreu.Rodes@ua.es

⁽²⁾ Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández (España). Avda. Ferrocarril, s/n Elche (Alicante). ernesto.garcia@umh.es

⁽³⁾ Departamento de Ingeniería Química Universidad de Alicante (España). Apdo. Correos, 99. E-03080 Alicante. A.Carratala@ua.es

⁽⁴⁾ Fundación CEAM, Parque tecnológico. C/ Carles Darwing 14, 46980 Valencia. mjose@ceam.es

⁽⁵⁾ Departamento de Hidrogeología. Universidad de Almería (España). Campus de La Cañada. Almería. apulido@ual.es

⁽⁶⁾ Departamento Ecología. Universidad de Alicante (España). Apdo. Correos, 99. E-03080 Alicante. Juan.Bellot@ua.es

ABSTRACT

The Ventós-Castellar aquifer is a small karstic system situated in Alicante province in the Southeast of Spain. Nowadays this aquifer is exploited by just one well which water is carried to supply a small town. In the last years, this aquifer has been monitored for several parameters, including chemical composition, in order to establish its hydrogeochemistry and also the influence of recharge events on it. The hydrogeochemistry results have shown that calcium and bicarbonates are the main ions, but sulphates and chlorides are high as well. Some rainfall events lead to significant recharge in the aquifer which make a dilution. Dilution is proportional to the entrances in the aquifer. The hydrogeochemical data could be useful in defining of the infiltration rate, the water reserves, the hydrodynamic functioning and, basically, the conceptual model of this aquifer.

Key words: hydrogeochemistry, recharge, karstic aquifer, Ventós, Alicante

Geogaceta, 39 (2006), 91-94
ISSN: 0213683X

Introducción

Las sierras del Ventós y Castellar constituyen un pequeño acuífero kárstico situado aproximadamente a 20 km al noroeste de la ciudad de Alicante (Fig. 1). Desde principio de la década de los ochenta este acuífero se aprovecha mediante un solo punto de extracción. El agua bombeada se emplea para el abastecimiento de la localidad de Agost, cuya población es de aproximadamente 5000 habitantes. Aunque la demanda de esta localidad se cubre, además del agua procedente del Ventós-Castellar, con aguas de diversos orígenes, desde el punto de vista de la gestión hídrica municipal, este acuífero tiene una notable importancia.

Con el objeto de aumentar su grado de conocimiento y poder establecer patrones de optimización de su explotación y gestión, el acuífero está siendo sometido a un seguimiento de diferentes variables hidrológicas. Este seguimiento consiste en la adquisición de parámetros relacionados con la hidrometeorología, piezometría, extracción, así como el muestreo de sus aguas para su posterior determinación analítica. Con respecto a estas últimas, entre los años 1999 y 2004,

se ha llegado a tomar 120 muestras de agua procedente del punto de extracción.

En el presente trabajo se realiza una caracterización geoquímica de las aguas del acuífero del Ventós-Castellar. Asimismo se establecen las posibilidades de la aplicación de la herramienta hidrogeoquímica como apoyo al conocimiento del comportamiento hidrodinámico y de la situación de este tipo de acuíferos kársticos de pequeña extensión en climas semiáridos.

Emplazamiento climático

El emplazamiento climático del acuífero del Ventós-Castellar se caracteriza por ofrecer condiciones típicas de ambientes semiáridos. Así, la estación pluviométrica que presenta la serie más larga en las inmediaciones del acuífero, Agost con 27 años, presenta una precipitación media anual para el periodo 1975/76-2001/02 de 275 mm, con un coeficiente de variación (CV) de 38%. Del intervalo de registro, el año 1994/95, con 105 mm, es el más seco, mientras que el más lluvioso corresponde a 1988/89 con 556 mm (Fig. 2). La distribución anual de las precipitaciones permite establecer como

periodo más lluvioso al comprendido entre septiembre y noviembre, con un 36 % del total. Es frecuente que las lluvias que se producen durante ese periodo sean aguaceros. Estos eventos tormentosos han llegado a alcanzar algún año cantidades de hasta 191 mm/día, suponiendo casi un 60% de la precipitación anual. Además de la época otoñal, existe un máximo pluviométrico relativo primaveral en el mes de mayo con 30 mm. Tal y como era de esperar, el periodo más seco es el estival; los meses de julio y agosto presentan idéntica precipitación, situándose su valor en 10 mm.

El estudio de las precipitaciones diarias permite establecer que el número de días de lluvia al año oscila entre 20 y 70, o lo que es lo mismo, entre el 5 y 19% de los días del año son lluviosos. Sin embargo, si se analizan las cuantías de las precipitaciones es posible establecer que el número de días al año con valores superiores a 15 mm tan sólo oscila entre 2 y 8.

Los escasos valores de precipitación anual, junto con que habitualmente los episodios de precipitación suelen ser inferiores a 15 mm, conlleva importantes implicaciones hidrogeológicas que indican la escasa alimentación de este siste-

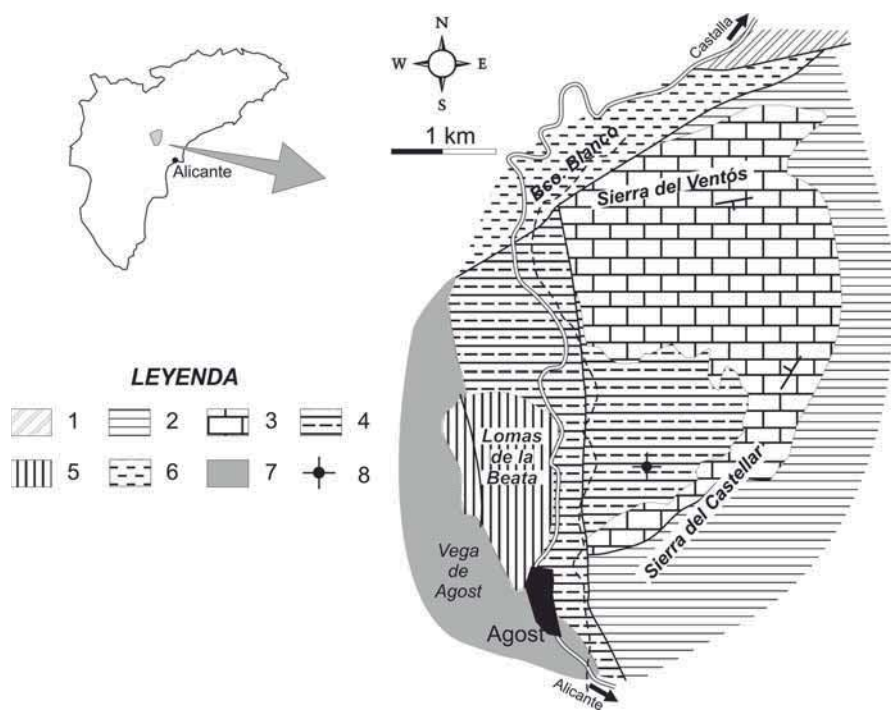


Fig. 1.- Situación geográfica del acuífero del Ventós-Castellar y esquema geológico. Leyenda: 1. Arcillas y yesos (Keuper); 2. Margas (Cretácico Inferior); 3. Calizas (Albiense-Cenomaniense); 4. Calizas y margas (Senoniense); 5. Margas (Paleógeno); 6. Margas (Mioceno); 7. Depósitos recientes; 8. Sondeo de abastecimiento.

Fig. 1.- Location map of the Ventós-Castellar aquifer and geologic scheme. Legend: 1. Argiles and gypsum (Keuper); 2. Marls (Lower Cretaceous); 3. Limestones (Albian-Cenomanian); 4. Limestones and marls (Upper Cretaceous); 5. Marls (Paleogene); 6. Marls (Miocene); 7. Recent deposits; 8. Supply well.

ma. En este sentido, se puede considerar que este pequeño acuífero kárstico se encuentra en una de las zonas más secas del SE de España.

La temperatura media anual es de 18,5 °C, variando entre 11,9 °C del mes enero y 26,5 °C de agosto, mientras que la evapotranspiración potencial anual podría situarse entre 870 y 1122 mm, en función de la metodología empleada para su estimación (Andreu *et al.*, 2001).

Características hidrogeológicas

El acuífero Ventós-Castellar, ubicado en el dominio Prebético de la Cordillera Bética, está constituido por un conjunto de más de 150 m de calizas micríticas pertenecientes al Albiense superior-Cenomaniense (Leclerc y Azema, 1976), y varias decenas de metros de calizas blancas pertenecientes al Cretácico superior.

El acuífero es en gran parte coincidente con el relieve de la Sierra del

Ventós y, a grandes rasgos, presenta una disposición estructural en forma de sinclinal, cuyo eje se inclina hacia el SW. Las calizas cretácicas acuíferas se disponen sobre la misma serie Cretácica inferior que hacia muro se hace margosa y pierde su potencialidad hidráulica. Por su parte, las rocas acuíferas se ponen en contacto con diversas formaciones conformadas por margas, arcillas y yesos cuyas edades están comprendidas entre el Triásico y el Mioceno (Fig. 1).

La alimentación se produce exclusivamente por infiltración de la precipitación sobre los materiales permeables. El grado de tectonización de los materiales junto con la estructura y, por tanto, la geometría de los materiales tiene bastante influencia en el comportamiento hidrodinámico del sistema. Así, la gran abundancia de fracturas observables en los materiales permeables debe facilitar la alimentación del acuífero, mientras que el buzamiento de la serie carbonatada y del muro del acuífero hacia el SW favorece una rápida circulación del agua hacia el sector donde se sitúa el sondeo de captación, aspecto que se traduce en rápidas respuestas de nivel con posterioridad a las lluvias eficaces. Este hecho pone de manifiesto un comportamiento típico de acuífero con elevada karstificación (Bayó *et al.*, 1986; Bakalowicz, 1995).

Las aguas de este acuífero son captadas mediante un sondeo de 250 m profundidad. Esta perforación atraviesa las calizas y margas del Senoniense para alcanzar las calizas del Albiense-Cenomaniense. Los primeros 180 m están entubados con tubería ciega, estando el resto de la perforación sin revestir, por lo que la zona de admisión de agua es la parte inferior de la obra, es decir, por las calizas del Albiense-Cenomaniense. El caudal actualmente es de aproximadamente 20 L/s.

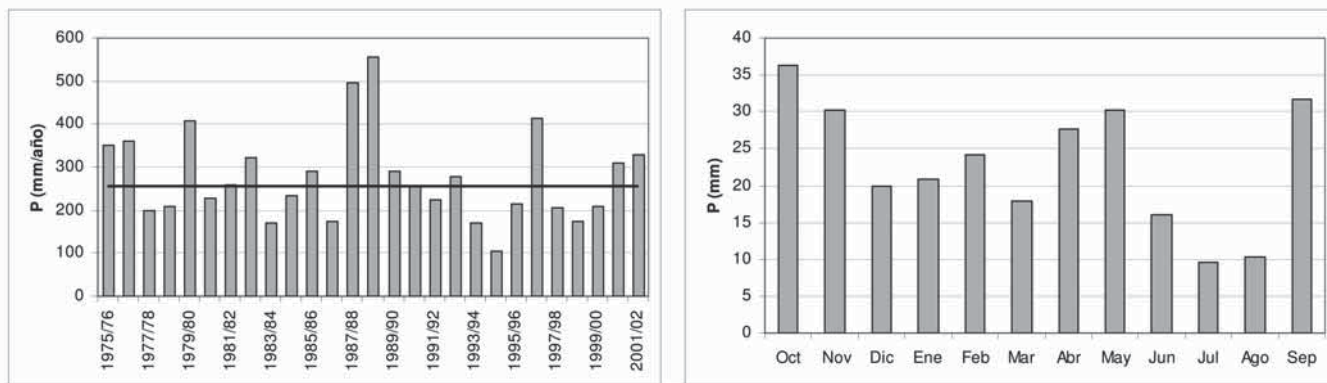


Fig. 2.- Precipitaciones anuales (izquierda) y precipitaciones medias mensuales (derecha) del periodo 1975/76-2001/02 de la Estación de Agost Escuela Nacional. La línea continua del gráfico de las precipitaciones anuales indica el valor de la precipitación media (275 mm).

Fig. 2.- Annual precipitation data (left) and mean monthly precipitation data (right) during 1975/76-2001/02 period in the Agost Escuela Nacional station. The solid line in the annual precipitation plot shows the mean annual precipitation (275 mm).

	Periodo 1999-2004				Periodo 1999-2000	
	Med	DT	Máx	Mín	Med	DT
C.E.	1371	144	1604	889	1458	69
pH	7,3	0,13	7,7	6,6	7,3	0,12
T ^a	23,8	0,44	24,9	23	23,7	0,44
Ca ²⁺	142	38	218	60	180	21
Mg ²⁺	36	7	51	17	43	5
Na ⁺	126	23	176	56	148	13
K ⁺	4	1	6	1	4	1
Cl ⁻	195	30	231	90	201	16
HCO ₃ ⁻	261	27	312	205	294	10
SO ₄ ²⁻	197	33	240	81	213	17
NO ₃ ⁻	10	2	16	7	11	2

Tabla I. Sumario de las características hidrogeoquímicas. Med: media; DT: desviación típica; Máx: máximo; Mín: mínimo. C.E.: conductividad eléctrica en mS/cm; T^a en °C; iones en mg/L.

Table I. Summary hydrochemical characteristics: Med: mean; DT: standard deviation; Máx: maximum; Mín. Minimum: C.E. Electric conductivity in mS/cm; T^a in °C; ions in mg/L.

Hidrogeoquímica

La caracterización geoquímica de las aguas del acuífero del Ventós-Castellar se ha establecido a partir del único sondeo del sistema. El muestreo ha mantenido aproximadamente una frecuencia quincenal, si bien, en el año 2001 existen ciertas lagunas de registro por lo que no se pudo mantener esta pauta. Las medidas de conductividad eléctrica, pH y temperatura se realizaron *in situ*, mientras que los iones calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y nitratos fueron determinados en el laboratorio.

Las muestras se tomaron en el punto de bombeo, en general, tras el funcionamiento del mismo durante varias horas. A partir de la serie obtenida de dicho muestreo, las aguas presentan una conductividad eléctrica media de 1371 mS/cm, un pH de 7,3, y una temperatura de 23,8° C, mientras que los iones que mayores concentraciones ofrecen son el calcio y el bicarbonato, tal y como suele corresponder en este tipo de acuíferos carbonatados. Sin embargo, la presencia de sulfato y cloruro en cantidades relativamente significativas hace que, contrariamente a lo esperado, la facies no sea carbonatada cálcica sino mixta (Fig. 3). Este hecho apunta que además de los procesos de disolución-precipitación de carbonato cálcico, como consecuencia de los procesos de interacción agua-roca en este sistema kárstico, podrían intervenir otros procesos, muy probablemente relacionados con la disolución de rocas evaporíticas presentes en las inmediaciones del acuífero.

Un hecho a destacar es la variación que muestran los valores máximos y mínimos de los parámetros relacionados con la mineralización de las aguas (Tabla I). Tomando como parámetro general la

conductividad eléctrica, se puede apreciar que llega a presentar un rango de amplitud de 715 mS/cm y una desviación típica de 144, lo que responde a oscilaciones de la mineralización del agua en distintos momentos. Estas variaciones del quimismo se han interpretado como respuestas frente a entradas de lluvia eficaz en el acuífero. En la figura 4 es posible observar una perfecta correlación de las bajadas de la conductividad eléctrica y de los iones mayoritarios representados con los picos de mayor magnitud de precipitación. De igual forma, se constata que la respuesta del quimismo es bastante rápida, concordando con el comportamiento del nivel piezométrico. El efecto de dicha disminución del quimismo parece depender de la magnitud de agua que entra en el reservorio. Así, cuando las precipitaciones no son cuantiosas las entradas son pequeñas y su influencia es muy escasa, de manera que incluso podría pasar casi inadvertida, al menos con el intervalo de muestreo seguido hasta el momento, mientras que cuando la entrada comienza a tener cierta magnitud es cuando se producen disminuciones de la concentración significativas como las registradas durante el periodo octubre 2003-mayo 2004.

Debido a que durante el periodo de registro existe un intervalo de tiempo (1999-2000) en el que las entradas en el acuífero fueron muy escasas y de poca magnitud, es posible estudiar las características del agua durante ese tiempo con el propósito de eliminar la influencia de la recarga y poder establecer con mayor detalle la química de las aguas almacenadas con un mayor tiempo de residencia en el seno del acuífero. En este sentido, la tabla I muestra cómo los valores de la desviación típica se reducen considerablemente en casi todos los parámetros, lo que pone de manifiesto una menor oscilación de las variables y,

por consiguiente, unas características químicas mucho más constantes. Además, se trata de aguas ligeramente más mineralizadas a las establecidas para todo el periodo de registro, en donde se aprecia un mayor contenido de todos los iones mayoritarios. Los aumentos más significativos los experimentan el calcio y el bicarbonato, tal y como cabría esperar de un acuífero kárstico. Sin embargo, otros iones como el nitrato y el potasio parecen mantener su concentración, lo que podría apuntar a un origen distinto a los mayoritarios. De cualquier forma, la facies hidrogeoquímica es idéntica a la establecida para todo el periodo de registro.

Discusión

A partir de la información que se tiene actualmente es posible establecer un esquema de funcionamiento hidrogeoquímico preliminar, en el que en el interior del acuífero existen aguas de mineralización relativamente constante y ligeramente superiores a 1400 mS/cm. Esta mineralización es semejante a las aguas analizadas en el acuífero en el año 1979 cuando se inició el bombeo en el sistema, por lo que podrían considerarse como representativas del agua almacenada en su seno, o reservas del acuífero. Estas reservas reciben eventualmente la llegada de agua procedente de precipitación que ocasionan una mezcla de características más diluidas. La dilución está en función de la cantidad de agua que entra en el acuífero. Sin embargo, la dilución alcanzada no da origen a un nuevo quimismo con características pro-

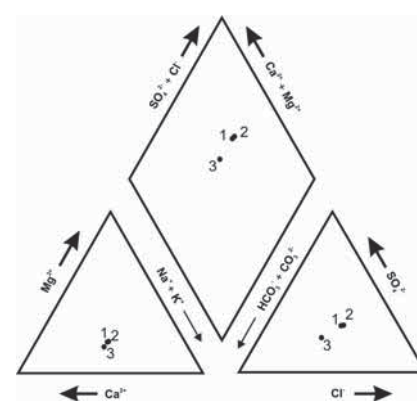


Fig. 3.- Representación en un diagrama de Piper de las muestras: 1: agua media del periodo 1999-2004; 2: agua media del periodo 1999-2000; 3: agua tomada en mayo de 2004, tras un evento de recarga.

Fig. 3.- Piper diagram of the samples. 1: mean water during 1999-2004 period; 2: mean water during 1999-2000 period; 3: water sampled in May of 2004, after a recharge event.

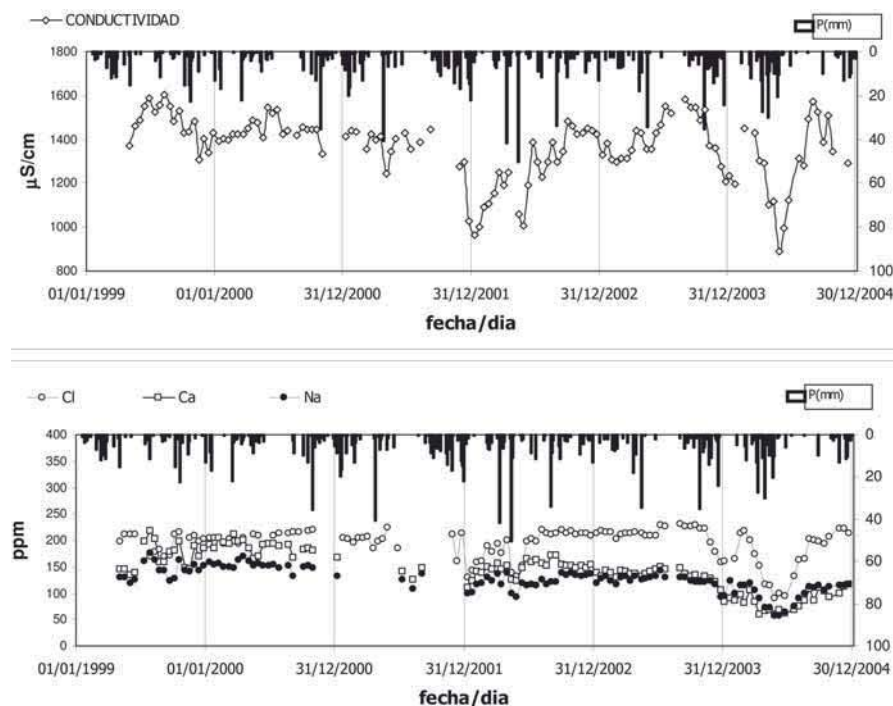


Fig. 4.- Seguimiento de la composición química de las aguas del acuífero del Ventós-Castellar. Se han seleccionado conductividad eléctrica, sulfatos, calcio y cloruros como indicativos de los iones mayoritarios. La precipitación es diaria y se puede observar la coincidencia de los máximos eventos con la bajada de las concentraciones.

Fig. 4.- Evolution of the chemistry composition of the water from Ventós-Castellar aquifer. Electric conductivity, sulphates, calcium and chlorides have been selected as principal ions. Rainfall is diary, and maximum events are correlated with decrease in concentration ions.

pías y perdurables en el tiempo, sino que se ha observado una recuperación de la mineralización hasta alcanzar nuevamente las características iniciales. Una posible explicación de este comportamiento del quimismo podría estar relacionado con una mezcla parcial inicial entre las aguas del acuífero y la lluvia eficaz, de forma que la captación es capaz de bombear esa mezcla parcial. El hecho de que un tiempo después del evento de recarga el quimismo vuelva a su situación de partida induce a pensar que el volumen de entradas de esos eventos no debe ser significativo frente a los volúmenes de agua existentes en el seno del acuífero.

Hasta el momento no se conoce con exactitud la magnitud del umbral a partir del cual las precipitaciones originan un efecto sobre el quimismo. Según el conocimiento que se tiene de la hidrodinámica del sistema, se piensa que el umbral de infiltración o valor de lluvia necesario que tendría que recibir este acuífero para que se produjese recarga está en torno a 17 mm (Andreu *et al.*, 2002). No obstante, sería necesario disminuir el intervalo de muestreo o la instalación de equipamiento que midiese ciertos parámetros fisicoquímicos

(conductividad eléctrica, temperatura) en continuo para tratar de precisar dicho umbral.

Por último, el seguimiento de la evolución de la composición química del agua del acuífero frente a las entradas por lluvias eficaces parece presentarse como una herramienta útil capaz de aportar información sobre el estado de las reservas del acuífero. En este sentido, eventos lluviosos similares que generen semejante recarga podrían provocar una respuesta diferente en función del volumen de agua almacenado.

Conclusiones

El acuífero del Ventós-Castellar es un pequeño sistema kárstico que se destina para abastecimiento urbano. El seguimiento del quimismo realizado en este acuífero ha permitido establecer que sus aguas presentan mineralización media y facies mixta. La mayoría de los parámetros fisicoquímicos muestran variaciones a lo largo del tiempo, las cuales se encuentran bien correlacionadas con entradas de lluvia eficaz en el acuífero. Estas entradas ocasionan una dilución de la mineralización temporal y de rápida

respuesta, la cual es proporcional a la magnitud de la alimentación.

La eliminación del efecto de dilución de las entradas en el acuífero ha permitido establecer el tipo de agua residente en el acuífero. Éstas presentan idéntica facies, si bien, son ligeramente más mineralizadas. Sus características fisicoquímicas son muy semejantes al agua extraída en décadas anteriores con niveles piezométricos más elevados, por lo que todo parece indicar un mantenimiento de sus propiedades a lo largo del tiempo.

Por último, conviene destacar la utilidad de la herramienta hidroquímica en este tipo de sistemas kársticos. En este sentido, el seguimiento de los diversos parámetros fisicoquímicos en el tiempo permitirá llegar a precisar con mayor exactitud el valor del umbral de infiltración, mejorar el conocimiento sobre el modelo de funcionamiento, valorar con mayor exactitud las variaciones de sus reservas, y en definitiva, aportar información sobre el modelo conceptual de acuífero kárstico.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de los proyectos REN2000-0529, CGL2004-03627/HID y REN2002-0417-CO2-01/HID del MCyT y del IGCP-513 de la UNESCO, así como de los grupos de investigación VIGROB2004-102 y S03/085 de la Generalitat Valenciana y la red de muestreo de la deposición atmosférica de la fundación CEAM. Agradecemos la ayuda prestada al Excmo. Ayto. de Agost, a la Excmo. Dip. de Alicante y a la empresa AQUAGEST, S.A.

Referencias

- Andreu, J. M., Ortiz de Urbina, J. M., Chirino, E., Bellot, J., Bonet, A., García-Sánchez, E., Pulido-Bosch, A., Sánchez, J.R. y Vallejos, A. (2001). V SIA-GA, Almería, 33-43.
- Andreu, J.M., Delgado, J., García-Sánchez, E., Pulido-Bosch, A., Bellot, J., Chirino, E. y Ortiz De Urbina, J.M. (2002). *Geogaceta*, 31, 63-66.
- Bakalowicz, M. (1995). *Hydrogeologie*, 4, 3-21.
- Bayó, A., Castiella, J., Custodio, E., Niñerola, S. y Virgós, L. (1986). En: *Jornadas del Karst en Euskadi*, San Sebastián, 255-340.
- Leclerc, J. y Azema, J (1976). *Cuadernos de Geología*, 7, 35-51