

CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y LA RECARGA DEL ACUÍFERO DEL VENTÓS-CASTELLAR (ALICANTE)

J. M. Andreu¹, J. Delgado¹, E. García-Sánchez², A. Pulido-Bosch³, J. Bellot⁴, E. Chirino⁴ y J. M. Ortiz de Urbina⁴

¹ Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Universidad de Alicante, Apdo. Correos 99, 03080 Alicante.

² Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández, Avda. Ferrocarril s/n, 03020 Elche (Alicante).

³ Departamento de Hidrogeología y Química Analítica, Universidad de Almería, Campus de La Cañada, 04120 Almería.

⁴ Departamento de Ecología, Universidad de Alicante, Apdo. Correos 99, 03080 Alicante.

Resumen: En el presente trabajo se estudia el funcionamiento hidrodinámico y la recarga del acuífero Ventós-Castellar (Alicante). Se trata de un acuífero desarrollado en calizas, ubicado en el sureste peninsular y del que se aprovechan sus aguas para el abastecimiento de la localidad de Agost. A partir de los datos de evolución piezométrica y mediante la aplicación de un modelo matemático, se pone de manifiesto la gran influencia que ejercen los factores climáticos en estos acuíferos mediterráneos con áreas de recarga de pequeña extensión. Así, ante periodos secos las tasas de recarga puede llegar a bajar hasta el 1% de la precipitación total. Únicamente los episodios lluviosos de gran intensidad originan recargas significativas en el acuífero. De forma general, se establece que los recursos de estos sistemas son muy escasos, por lo que la existencia de periodos secos se traducen en descensos en los niveles piezométricos que no son fáciles de recuperar a corto y medio plazo. Es por ello que las extracciones de agua en este tipo acuíferos han de realizarse de forma controlada para evitar posteriores problemas que pueden ser interpretados erróneamente como indicios de sobreexplotación.

Palabras clave: acuífero kárstico, recarga, modelo matemático, Ventós-Castellar, Alicante

Abstract: The aim of this work is to study the flow and recharge of the Ventós-Castellar aquifer (Alicante). This is a small karstic aquifer situated in the south-east part of the Iberian Peninsula, whose waters are used to supply the area around the city of Agost. The dynamic of the aquifer is very rapid, indicating a high degree of karstification. A mathematical model based on data of changes in the piezometric level was applied, which highlighted the enormous influence that climatic factors exert in such Mediterranean aquifers having small recharge areas. It indicated that during dry periods the rates of recharge can fall below 1% of the total precipitation. Only high-intensity rainfall events lead to significant recharge in the aquifer. In general terms, we have established that the resources of these systems are very scarce, and that dry periods lead to falls in water levels that are not easily recovered in the short to medium term. For this reason, water pumping from this sort of aquifer must be made in a controlled way in order to avoid subsequent problems, which could be wrongly interpreted as indicating overexploitation.

Key words: karstic aquifer, recharge, mathematical model, Ventós-Castellar, Alicante

Andreu, J.M., Delgado, J., García-Sánchez, E., Pulido-Bosch, A., Bellot, J., Chirino, E. y Ortiz de Urbina, J.M. (2001): Caracterización del funcionamiento y la recarga del acuífero del Ventós-Castellar (Alicante). *Rev. Soc. Geol. España*, 14(3-4): 247-254.

El acuífero Ventós-Castellar corresponde a un pequeño sistema kárstico situado al noroeste de la ciudad de Alicante, en las inmediaciones de la localidad de Agost (Fig. 1). Hasta finales de la década de los setenta funcionó en régimen natural. Su descarga tenía lugar por el manantial de Agost, del que se abastecía la población del mismo nombre. Debido a la incapacidad de cubrir de manera continua las necesidades de agua con la surgencia, se realizó un sondeo con el objeto de cubrir el déficit existente. Los bombeos en ese único punto han permanecido hasta la actualidad. A pesar de que las extracciones no parecen demasiado elevadas a priori, los escasos recursos del sistema originan pérdidas de

niveles semejantes a las encontradas en otros acuíferos con problemas de sobreexplotación en la región (p. ej. Pulido-Bosch, 1991; Rico, 1994).

El principal objetivo del presente trabajo es intentar profundizar en el conocimiento de la recarga y del comportamiento hidrodinámico de este embalse subterráneo de gran importancia para el abastecimiento de Agost. Este tipo de acuíferos kársticos de pequeña extensión ubicados en el sureste peninsular presentan una gran sensibilidad a las posibles variaciones de los factores climáticos y/o antrópicos.

En los últimos años el acuífero Ventós-Castellar está siendo sometido a un seguimiento exhaustivo mediante

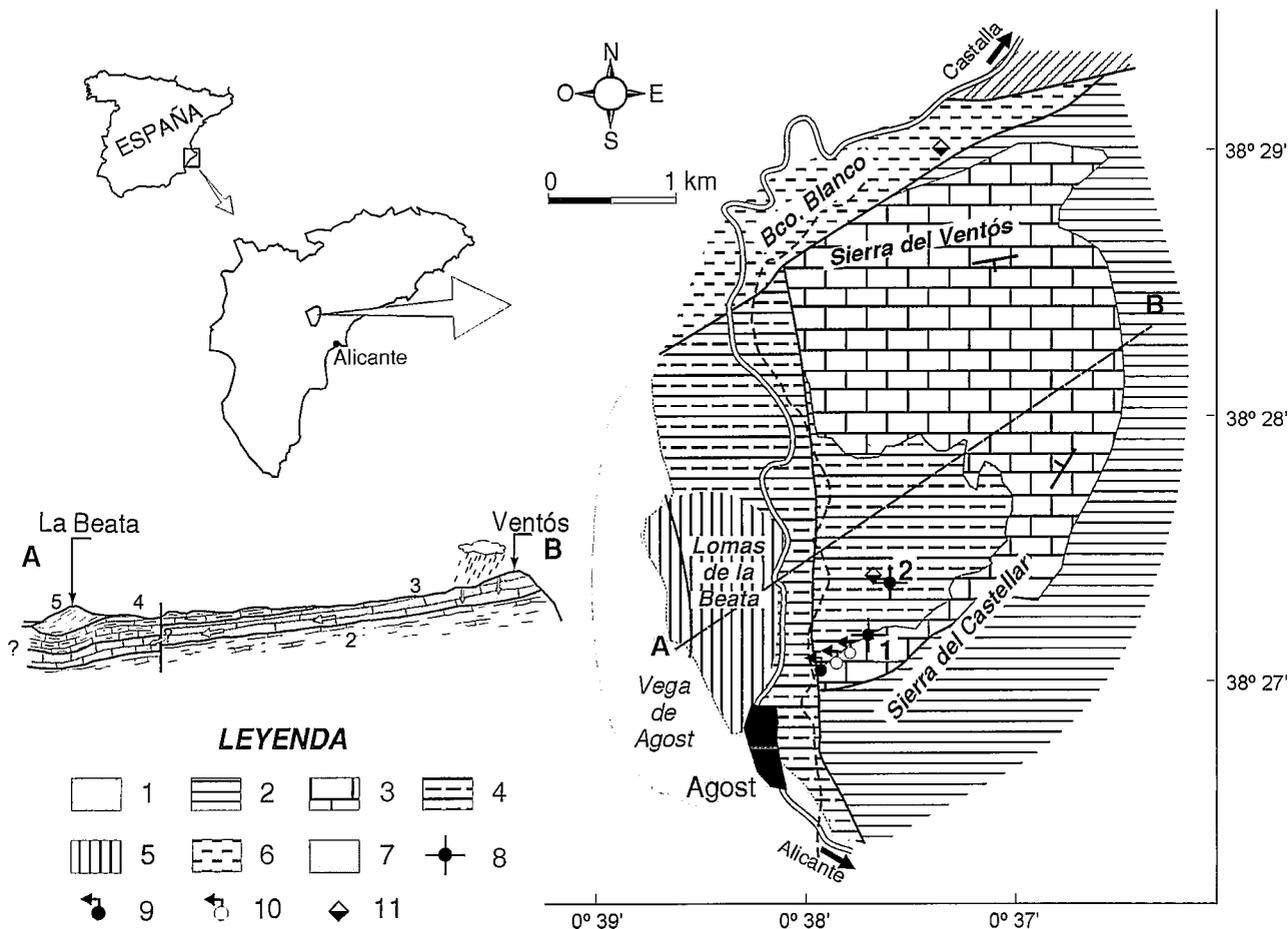


Figura 1.- Situación geográfica del Acuífero de Ventós-Castellar. Estructura del acuífero y esquema de funcionamiento. Leyenda: 1 Arcillas y yesos (Keuper); 2 Margas (Cretácico Inferior); 3 Calizas (Albiense-Cenomaniense); 4 Calizas y margas (Senoniense); 5 Margas (Paleógeno); 6 Margas blancas (Mioceno); 7 Depósitos recientes; 8 sondeo; 9 Manantial de descarga; 10 Trop plein; 11 Estación meteorológica.

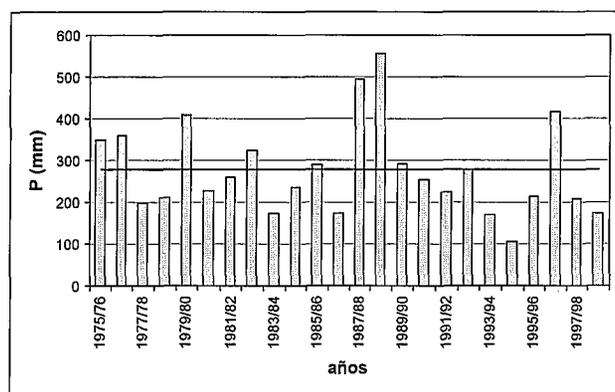
el control de caudales bombeados, registro de niveles y lluvias, etc., con el objeto de aumentar su grado de conocimiento. Debido a que el comienzo de la explotación es relativamente reciente y de que hay una única captación que bombea en todo el acuífero, existen abundantes lagunas de información en las series de datos históricos de carácter hidrogeológico, datos fundamentales e imprescindibles para establecer su funcionamiento. Aprovechando los periodos con mayor número de datos se ha utilizado un modelo matemático capaz de reproducir el comportamiento de los niveles piezométricos teniendo en cuenta las distintas variables que afectan la dinámica del sistema.

Emplazamiento climático del acuífero

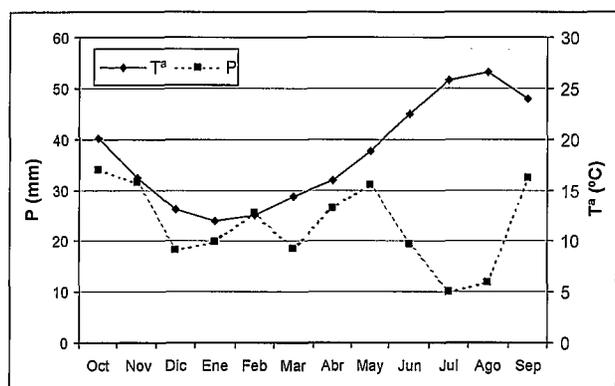
Desde 1997 en la Sierra del Ventós se dispone de estaciones meteorológicas capaces de determinar diversos parámetros climáticos (precipitación, temperatura, radiación, humedad relativa, así como magnitud y dirección del viento), sin embargo, dado el escaso tiempo de funcionamiento, se ha preferido realizar la caracterización del régimen climático a partir de los datos correspondientes al observatorio termopluiométrico de Agost Escuela-Nacional perteneciente al Instituto Nacional de Meteorolo-

gía. Esta estación se encuentra también situada en las inmediaciones del área de estudio y presenta una serie de precipitación desde 1975 y de temperatura desde 1980.

La precipitación media anual para el periodo 1975/76-1998/99 es de 274 mm, con un coeficiente de variación (CV) de 40. De los 24 años 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. 2a). Estos valores de precipitación indican que el acuífero del Ventós se sitúa en una de las zonas más secas de la provincia de Alicante. Respecto a la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, la Fig. 2b muestra cómo el periodo entre los meses de septiembre y noviembre es el más lluvioso, con un 37% de la lluvia anual, que se reparte igualmente entre los tres meses. Generalmente, las lluvias que se producen en este periodo corresponden a aguaceros de gran intensidad y de corta duración. Estos eventos tormentosos han llegado a alcanzar 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 en 10 mm (Andreu *et al.*, 2001)



a



b

Figura 2.- (a) Distribución de la precipitación en la estación Agost Escuela-Nacional, durante el periodo 1975/76-1998/99. (b) Diagrama ombrotérmico de dicha estación.

La temperatura media anual es de 18,5 °C, variando entre 11,9 °C del mes enero y 26,5 °C de agosto (Fig. 2b). Las temperaturas medias máximas se registran en el mes de agosto con valores de 33,3 °C, aunque se ha llegado a alcanzar como valor extremo 44 °C en julio. En cuanto a las temperaturas medias mínimas se producen en el mes de enero con 6,8 °C, si bien han llegado a descender hasta -4 °C.

De forma aproximada, dado el escaso periodo de registro de algunas variables en el área de estudio, se puede estimar que la humedad relativa media anual está en torno al 66%, con máximos en los meses de septiembre y octubre (80 y 71 % respectivamente) y un mínimo de 56% en marzo. En cuanto los vientos, generalmente son flojos (<25 km/h) y presentan orientaciones preferentes NE-SO y E-O (Andreu *et al.*, 2001).

Finalmente, estudios recientes a partir de los datos obtenidos en la propia área de estudio muestran variaciones de la evapotranspiración potencial anual entre 870 y 1122 mm, en función de la metodología empleada para su estimación (Andreu *et al.*, 2001).

Según la clasificación de Thornthwaite, el clima es del tipo E1 B'3 d a', lo que corresponde a un clima árido, mesotérmico, con poco o nada de superávit en invierno. Otros índices climáticos corroboran las características semiáridas de la región (índice de aridez de Martonne= 9,6; Dantín-Revenga= 6,8; Lang = 14,9).

Características hidrogeológicas

Los materiales sobre los que se desarrolla el acuífero de Ventós-Castellar pertenecen al dominio Prebético Meridional o de Alicante (Azema, 1977; Rodríguez Estrella, 1977) de las Zonas Externas de la Cordillera Bética.

El acuífero desarrollado en una serie compuesta por calizas micríticas de colores beige o grises con abundantes *Pithonellas* (Fig. 1). Hacia techo presentan numerosos nódulos de sílex, que a veces suelen concentrarse formando capas centimétricas. La potencia de este tramo puede llegar a sobrepasar 150 m. La edad de estos materiales está comprendida entre el Albiense Superior y el Cenomaniense (Leclerc, 1971; Leclerc y Azema, 1976). Sobre los materiales anteriores, se encuentra el conjunto litológico perteneciente al Cretácico Superior. Tan sólo su tramo basal representado por calizas blancas con abundantes *Globotruncanas* presenta comportamiento acuífero y formaría parte del sistema Ventós-Castellar. Hacia techo la serie se hace progresivamente más margosa, por lo que pasa a constituir un impermeable de techo.

La geometría del acuífero es en gran parte coincidente con el relieve de la Sierra del Ventós (Fig. 1). Así, su límite norte coincide con la vertiente septentrional del relieve al ponerse en contacto con las arcillas y yesos del triásico (Keuper) y las margas blancas miocenas (Leret *et al.*, 1976). Los límites meridional y oriental quedan constituidos por las margas del Cretácico Inferior, mientras que el occidental ha sido situado en el Valle de Agost al ponerse en profundidad las calizas cretácicas con los yesos del Keuper (IGME, 1979). No obstante, existe la posibilidad de que la falla del Barranco Blanco provoque la desconexión entre el bloque de la Sierra del Ventós-Castellar y el de las Lomas de la Beata. La falta de información de carácter hidrogeológico hasta el momento deja la hipótesis abierta.

Por último, el impermeable basal viene dado por la misma serie acuífera albiense-cenomaniense, ya que hacia muro se pierde el carácter carbonatado en favor del margoso. Como se apuntó con anterioridad, el impermeable de techo está definido por las margas y margocalizas del Senoniense.

Desde el punto de vista tectónico las sierras del Ventós y Castellar constituyen a grandes rasgos un sinclinal de dirección NE-SO, cuyo eje se hunde hacia el suroeste (Fig. 1). En los flancos de esta estructura se advierten algunos pliegues menores, a veces muy apretados, que en numerosas ocasiones están acompañados de pequeñas fallas normales. La estructura queda rodeada por fallas en los sectores septentrional y meridional, así como a lo largo del barranco Blanco en su parte occidental.

Respecto a las características hidráulicas, todo parece indicar que las calizas de Ventós-Castellar muestran unas buenas condiciones acuíferas, ya que los ensayos de bombeo efectuados cuando se realizaron las

Periodo	Δh_i (m)	Bombeo (m^3)	S (%)
22-Abr-99/14-Oct-99	-7,16	123570	0,25
4-Nov-99/13-Ene-00	-2,63	47440	0,26
21-Ene-00/4-Oct-00	-11,33	216890	0,27
		Media	0,26

Tabla 1.- Estimación del coeficiente de almacenamiento (S) del acuífero Ventós-Castellar a partir de los periodos sin recarga.

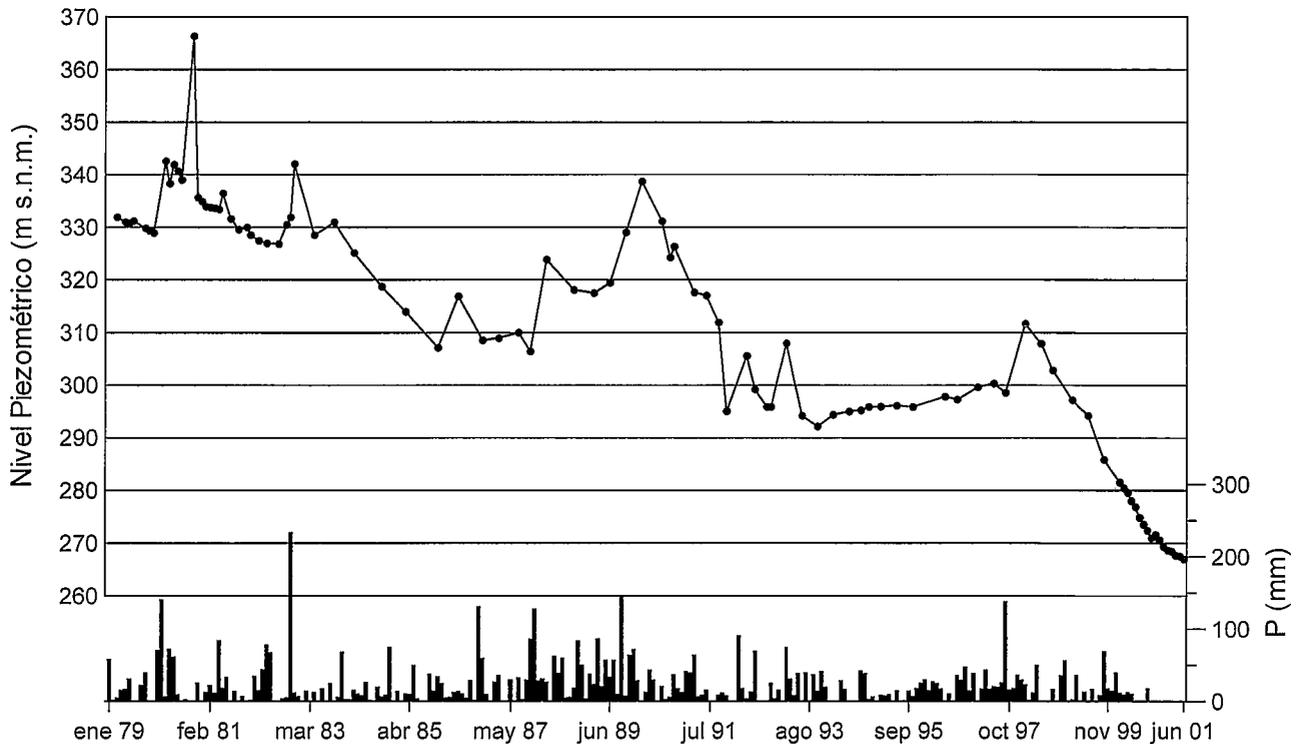


Figura 3.- Evolución piezométrica del acuífero Ventós-Castellar (registro del sondeo nº 1).

captaciones, obtuvieron transmisividades comprendidas entre 2.900 y 4.800 $m^2/día$ (IGME, 1979). En cuanto a los valores del coeficiente de almacenamiento obtenidos a partir de la desaturación del volumen de acuífero entre varios periodos sin entradas se sitúa en torno al 0,26% (Tabla 1), valores semejantes a los estimados por Abdelli (1999). Se desconoce con exactitud la causa de estos bajos valores del coeficiente de almacenamiento, ya que la situación del nivel piezométrico induce a pensar que el acuífero se encuentra en estado libre.

Funcionamiento hidrodinámico

Hasta 1979 el acuífero funcionó en régimen natural. La alimentación se produce exclusivamente debido a la infiltración de la precipitación sobre los materiales permeables, aproximadamente 7 km^2 según estudios anteriores (Aragón *et al.*, 1992), mientras que las salidas tenían lugar por del manantial de Agost situado en la parte suroeste del sistema. El grado de tectonización de

los materiales junto con la estructura y, por tanto, la geometría del acuífero tenían bastante influencia en el comportamiento hidrodinámico de la surgencia. Por un lado 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, por tanto, del muro del acuífero hacia el punto de descarga favorece una rápida circulación del agua hacia dicho punto. En este sentido, el manantial presentaba una respuesta generalmente rápida, en ocasiones de escasas horas, frente a las precipitaciones aumentando su caudal considerablemente después de éstas. Este comportamiento es característico de acuíferos con elevado grado de karstificación (Schuster y White, 1971; Mangin, 1984; Bayó *et al.*, 1986). Además, dicho comportamiento suele verse amplificado en ambientes mediterráneos (Lastennet y Mudry, 1997; Vázquez *et al.*, 2001). Otro hecho característico de su funcionamiento y que evidencia la existencia de karstificación es que, ante eventos pluviométricos de gran magnitud capaces

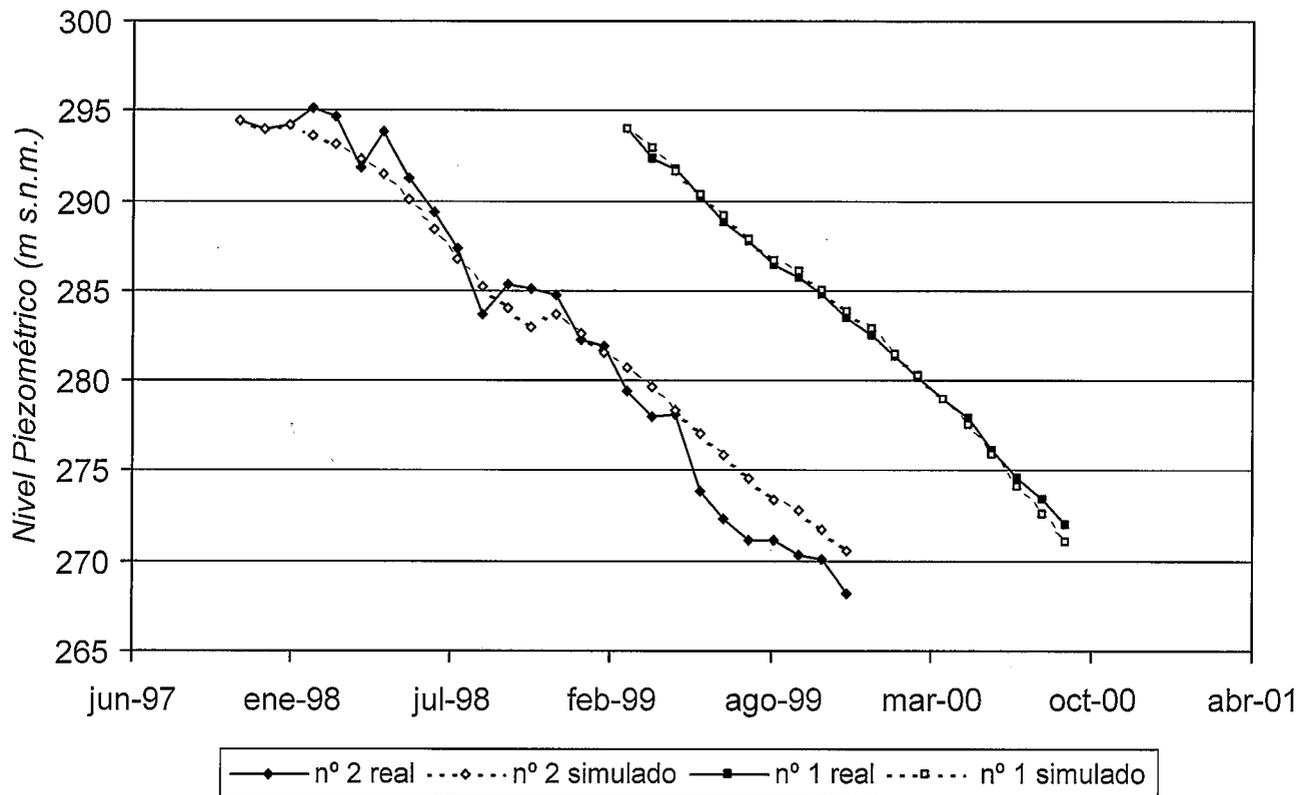


Figura 4.- Calibración del modelo para los sondeos nº 1 y 2.

de originar notables volúmenes de recarga, se producía la activación de nuevas surgencias situadas en el entorno del manantial de Agost a cota topográfica más elevada (trop plein), las cuales dejaban de funcionar poco tiempo después, tras la desaturación de la franja superior a las mismas. Este hecho parece evidenciar la existencia de vías preferenciales de circulación.

Aunque el manantial no solía agotarse, debido a las variaciones de caudal que sufría de forma estacional, se perforó un sondeo a escasa distancia del mismo con el objeto de conseguir su regulación (IGME, 1979). A partir de entonces comenzaron los bombeos, lo que provocó una bajada del nivel y el secado del manantial. Algunos problemas en la captación obligaron a abandonar este primer sondeo (nº 1) y trasladar las extracciones a un nuevo sondeo (nº 2) (Fig. 1) en el año 1997, situación que ha permanecido hasta nuestros días.

Las extracciones se destinan en su totalidad al abastecimiento público de la localidad de Agost. Desgraciadamente, no se conocen con exactitud los volúmenes extraídos desde el inicio de la explotación. Los bombeos medios anuales estimados durante el periodo 1979-92 se situaron en torno a 390.000 m³ (Aragón *et al.*, 1992), mientras que en los últimos años (1998-2000) presentan como media 250.000 m³/año. Si bien las extracciones cuantitativamente no son muy elevadas, los niveles han descendido más de 60 m desde el inicio de la explotación. La evolución piezométrica refleja la existencia de periodos de descenso continuado con periodos de subidas de nivel, generalmente producidos como consecuencia de eventos lluviosos otoñales (Fig. 3). En este sentido, se

puede destacar que las fuertes precipitaciones registradas en octubre de 1982 recuperaron el nivel por encima de la cota del manantial de Agost. Por otro lado, las escasas precipitaciones durante los periodos secos ha facilitado unos descensos más o menos continuados. En este sentido, las escasas precipitaciones que se han producido en los últimos años no han sido suficientes para originar recuperaciones significativas de nivel.

Modelización del comportamiento hidrodinámico y de la recarga

Como una parte más del estudio del acuífero se ha procedido a aplicar un modelo empírico que reproduzca el comportamiento del mismo. De igual forma, el modelo presenta la utilidad de poder estimar de forma aproximada la recarga del acuífero. Otra de las ventajas del empleo de estos modelos es que ayudan a predecir el comportamiento del sistema en el futuro, bajo determinadas condiciones climáticas y de explotación.

El modelo empleado está basado en el desarrollado por el ITGE con éxito en otros acuíferos kársticos de pequeño tamaño y en condiciones climáticas semejantes a las del presente (Murillo y De la Orden, 1996). En él se considera que toda variación del volumen de agua almacenada en el acuífero en el periodo i (DV_i) viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta V_i = \Delta h_i \cdot A \cdot S \quad (1)$$

donde Δh_i es la variación observada en el nivel del acuífero (en m), A es el área del acuífero (7×10^6 m²), establecida en estudios previos (IGME, 1979) y considera-

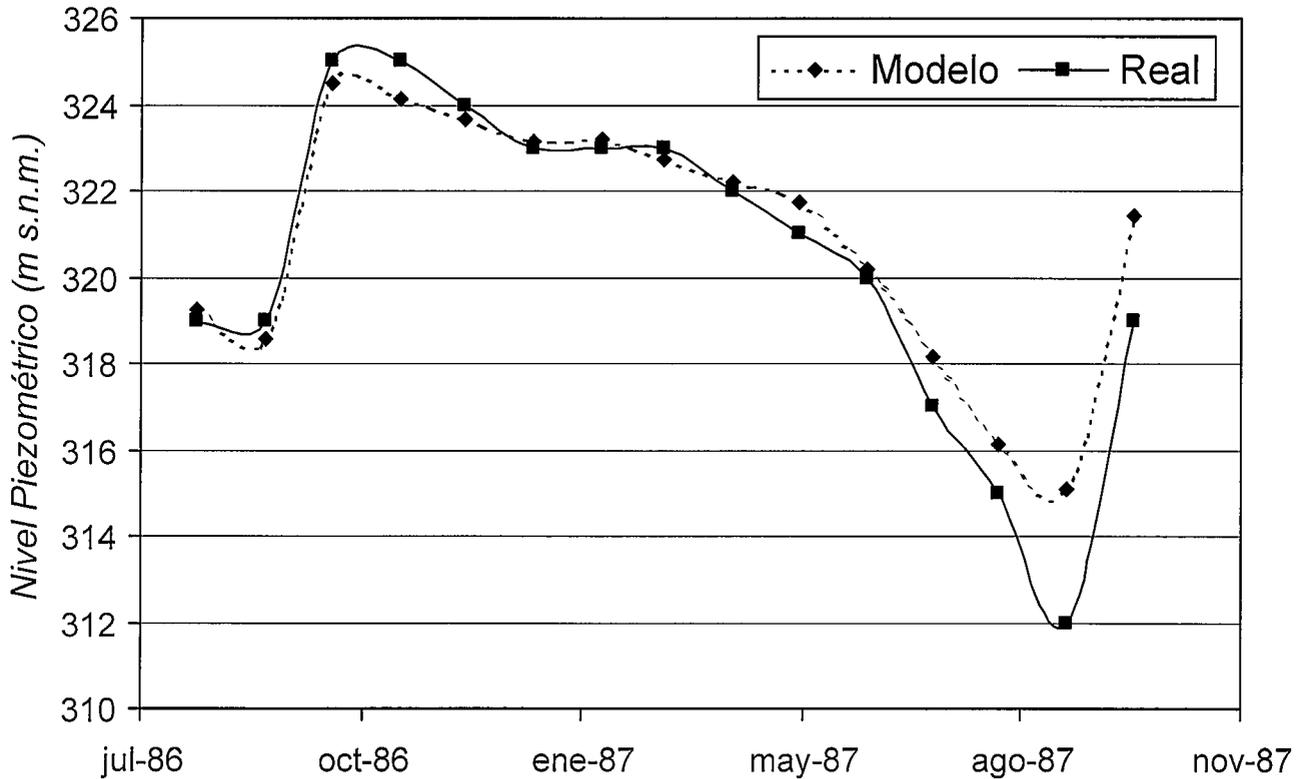


Figura 5. Validación del modelo para el periodo julio 1986-octubre 1987.

da invariable con la profundidad, tal y como se deduce de la estructuración geológica, ya que se asume que techo y muro del acuífero no muestran variaciones a medida que se adentran bajo la superficie, y finalmente, S que es el coeficiente de almacenamiento. La variación de volumen es función de los volúmenes de agua extraídos por bombeos (B_i) y de la alimentación, en este caso la recarga natural por infiltración sobre el afloramiento permeable (R_i):

$$\Delta V_i = R_i - B_i \quad (2)$$

La recarga está controlada por las precipitaciones en la superficie del acuífero y por la temperatura media durante el periodo i . Matemáticamente dicha recarga viene dada por la siguiente expresión (Murillo y De la Orden, 1996):

$$R_i = \frac{M(P_i - T_i^\beta)^N}{1000} A \quad (3)$$

donde P_i es la precipitación (en mm), T_i es la temperatura media (en °C), β es el factor de lluvia útil, que toma el valor de 1,4 en el área de estudio, y A es la superficie del acuífero. Los coeficientes M y N son parámetros característicos del modelo, que deben determinarse para caracterizar plenamente la zona de estudio. La expresión representa que la cantidad de agua infiltrada en cada periodo de tiempo i corresponde tan sólo a una fracción de la lluvia útil. En meses en que la precipitación es baja o nula, la expresión anterior puede dar va-

lores negativos de recarga; dado que ello no es físicamente posible, en tal caso se considera que R_i es nula.

Combinando las expresiones (1) a (3) resulta:

$$\Delta h_i = \frac{\frac{M(P_i - T_i^\beta)^N}{1000} A - B_i}{S \cdot A} \quad (4)$$

expresión fundamental del modelo, que permite calcular la evolución del acuífero en función de la precipitación, temperatura y bombeos en el mismo.

Ajuste del modelo

Los parámetros necesarios para el presente modelo, coeficiente de almacenamiento y coeficientes M y N , se han determinado a partir de las series históricas de precipitación, temperatura, bombeos y evolución piezométrica correspondientes al periodo junio de 1997 hasta diciembre de 2000, tiempo desde que se viene controlando de manera continua el acuífero, por lo que la serie de datos es más completa y fiable. En concreto se han utilizado los siguientes datos:

1. Series de precipitación (mayo-75/septiembre-00) y temperatura (julio-80/septiembre-00) correspondientes a la estación Agust Escuela-Nacional. Precipitación (junio-97/septiembre-00) de la estación nº 2 situada en la ladera septentrional de la Sierra del Ventós.
2. Bombeos totales diarios en el pozo nº 2 durante el periodo 1 junio-97 al 31 diciembre-00.

3. Evolución piezométrica diaria en el sondeo de bombeo nº 2 (1 junio-97/31 diciembre-00) y semanal en el piezómetro nº 1 (marzo-99/junio-01)

Determinación del coeficiente de almacenamiento

Para su estimación se han utilizado los datos correspondientes a periodos secos, donde a partir de la curva de niveles se constata que no ha habido recarga en el acuífero. En tal caso, la expresión (4) se simplifica notablemente dado que la evolución piezométrica del acuífero está únicamente controlada por los bombeos: $S = -B_i / (\Delta h_i A)$. A partir de los datos disponibles se ha determinado un valor medio del 0,26% para el acuífero (Tabla I).

Determinación de los coeficientes M y N

Su cálculo se ha realizado a partir de los valores mensuales de las tres variables que intervienen en la expresión (4). Para ello hemos reordenado los elementos de dicha expresión de la siguiente forma:

$$V_i = M(P_i - T_i^\beta)^N \frac{A}{1000} \quad (5)$$

donde V_i representa la suma de la variación de volumen almacenado (ΔV_i) y los bombeos (B_i) durante el periodo i . A partir de un ajuste de mínimos cuadrados de los datos ha resultado $M = 0,0059$ y $N = 1,22$.

En la figura 4 se presentan los resultados del modelo y la evolución real observada. En ella la cota absoluta del agua en cada punto modelado está referida a la observada en cada punto al comienzo del periodo de estudio (jun-97 y mar-99, respectivamente), de ahí el salto observado en las gráficas en la piezometría. Puede comprobarse que el ajuste es excelente para el caso de los niveles medidos en el piezómetro nº 1, con errores inferiores a 1 m. En cambio, la diferencia entre los niveles observados en el sondeo nº 2 y los resultados de la simulación son mayores, del orden de 5-6 m. Esta diferencia es atribuible, en gran parte, al comportamiento más irregular de la piezometría en este punto, dado que en él se realiza tanto el bombeo como la medida de niveles, por lo que los datos están más sujetos a error.

Validación del modelo

Al objeto de comprobar la bondad del modelo, hemos comparado la evolución piezométrica correspondiente a un periodo diferente al de ajuste. Para ello hemos utilizado los datos aportados por Aragón *et al.*, (1992) correspondientes a los años 1986 y 87 (Fig. 5). Puede comprobarse que la correspondencia entre resultados es notable, mostrando los resultados del modelo la misma tendencia que las variaciones reales observadas. El error medio es del orden de 1 m, con un valor máximo observado de 2,5.

Conclusiones

El acuífero del Ventós-Castellar está desarrollado fundamentalmente en calizas del Cretácico. Todo apunta a que se trata de un sistema con elevado grado de karstificación a pesar de las escasas formas exokársticas existentes. Presenta una dinámica de funcionamiento bastante rápida, de forma que las entradas por infiltración se manifiestan, actualmente en la recuperación de niveles y anteriormente por notables aumentos de caudal en el manantial de descarga.

Las dimensiones reducidas de su área de alimentación, escasamente 7 km², unidas su emplazamiento geográfico y climático en medio semiárido con valores de precipitaciones medias inferiores a 300 mm/año y con elevada irregularidad anual, hacen que los recursos del sistema sean muy reducidos y, por tanto, muy vulnerables a posibles cambios en la señal de entrada. Así, aumentos temporales del caudal de explotación o periodos secos con ausencia de lluvias intensas originan pérdidas de nivel piezométrico que no consiguen recuperarse a corto y medio plazo.

La aplicación del modelo matemático a los últimos años de seguimiento en el acuífero reflejan las bajas tasas de recarga que ha experimentado. Así, el periodo 1997-2000 establece valores de infiltración entre el 1 y 4% de la precipitación total. Estos valores quedan por debajo del 12% de la recarga media anual establecido en estudios anteriores (Aragón *et al.*, 1992). Ello constata la influencia de la sequía que está padeciendo esta región en los últimos años. Este hecho explicaría la bajada prácticamente continua de los niveles piezométricos. De igual forma, el modelo verifica que las mayores entradas de agua al acuífero se producen en episodios lluviosos de gran intensidad.

Las extracciones de agua en este tipo acuíferos, muy abundantes en el sureste español deben realizarse de forma controlada mediante un seguimiento exhaustivo, ya que los periodos secos son frecuentes y pueden durar bastante tiempo. A pesar de que los caudales extraídos puedan parecer pequeños, si se realizan de forma constante e incontrolada, se pueden producir problemas semejantes a los que presentan los acuíferos sobreexplotados.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del marco de los proyectos HID97-1047 y REN2000-0529 HID financiados por la CICYT, así como IGCP-488 de la UNESCO y del grupo de investigación GR00-22. Asimismo queremos agradecer la ayuda prestada por la Excma. Diputación de Alicante, Excmo. Ayto. de Agost y AQUAGEST, S.A.

Referencias

- Abdelli, F. (1999): *Análisis comparativo de la contribución de distintas comunidades vegetales a la distribución del agua de lluvia a la conservación del agua en el suelo y la recarga de acuíferos en climas semiáridos*. Tesis de Maestrado. CIHAM-IAM, Zaragoza, 177 p.

- 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): Análisis comparativo entre algunos métodos de estimación de la ETP en la Sierra del Ventós (Alicante). En: *V Simposio del Agua en Andalucía*, Almería: 33-43.
- Azema, J. (1977): *Étude géologique des Zones Externes des Cordillères bétiques aux confins des provinces d'Alicante et de Murcie (Espagne)*. Tesis doctoral, Univ. Pierre et Marie Curie París, 395 p.
- Bayó, A., Castiella, J., Custodio, E., Niñerola, S. y Virgós, L. (1986): Ensayo sobre las diversas tipologías de acuíferos en rocas carbonatadas de España. Identificación técnicas de estudio y formas de captación y explotación. En: *Jornadas del Karst en Euskadi*. San Sebastián: 255-340.
- IGME (1979). *Informe sobre la captación de aguas subterráneas para el abastecimiento urbano de Agost (Alicante)*, 62 p. (informe interno).
- Aragón, R., Rodríguez, L, Barba-Romero, J., Orejudo, E., García-Sánchez, E, Vázquez, E., Martí, E. y Catalán, J. M. (1992). *Normas de explotación del Acuífero de Ventós-Castellar*. Instituto Tecnológico Geominero de España-Excma. Diputación Provincial de Alicante, 117 p. (informe interno).
- Lastennet, R. y Mudry, J. (1997): Role of karstification and rainfall in the behavior of a heterogeneous karst system. *Environmental Geology*, 32: 114-123.
- Leclerc, J. (1971): *Étude géologique du massif du Maigmo et de ses abords (province d'Alicante-Espagne)*. Tesis doctoral, Univ. de París, 128 p.
- Leclerc, J. y Azema, J (1976): Le Crétacé dans la région d'Agost, province d'Alicante-Espagne et ses accidents sédimentaires. *Cuadernos de Geología Universidad de Granada*, 7: 35-51
- Leret, G., Nuñez, A., Colodrón, I., y Martínez del Olmo, W. (1976): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja 871 (Elda)*. IGME, Madrid.
- Mangin, A. (1984): Écoulement en milieu karstique. *Annales des Mines: Mai-Juin* : 1-8
- Murillo, J.M. y De la Orden, J.A. (1996): Sobreexplotación, alternativas de gestión y evaluación del efecto del cambio climático en la recarga natural del acuífero kimmeridgiense de Cabezón de Oro (Alicante). En: *Recursos Hídricos en Regiones Kársticas*, Vitoria-Gasteiz: 73-88.
- Pulido-Bosch, A. (1991): The overexploitation of some karstic aquifers in the province of Alicante (Spain). En: *XXIII Congreso A.I.H. Sobreexplotación de acuíferos*: 557-561.
- Rico, A.M. (1994): *Sobreexplotación de aguas subterráneas y cambios agrarios en el Alto y Medio Vinalopó (Alicante)*. Tesis. Doctoral, Univ. Alicante, 276 p.
- Rodríguez Estrella, T. (1977): Síntesis geológica del Prebético de la provincia de Alicante I. Estratigrafía. *Boletín Geológico y Minero*, 88: 183-214.
- Schuster E.T. y White, W.B. (1971): Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: a possible means for characterizing carbonate aquifer. *Journal of Hydrology*, 14: 93-128.
- Vázquez M., Martín M. y Díaz, A. (2001): Respuesta de un acuífero kárstico mediterráneo a un ciclo climático húmedo-seco: el caso de la Sierra de Estepa, Sevilla. *Boletín Geológico y Minero*. 112: 65-76.

Manuscrito recibido el 25 de octubre de 2001

Aceptado el manuscrito revisado el 18 de diciembre de 2001