

**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.

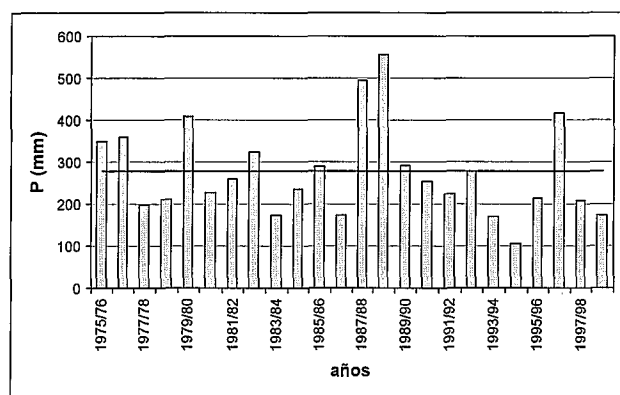
el control de caudales bombeados, registro de niveles y lluvias, etc., con el objeto de aumentar su grado de conocimiento. Debido a que el comienzo de la explotación es relativamente reciente y de que hay una única captación que bombea en todo el acuífero, existen abundantes lagunas de información en 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**

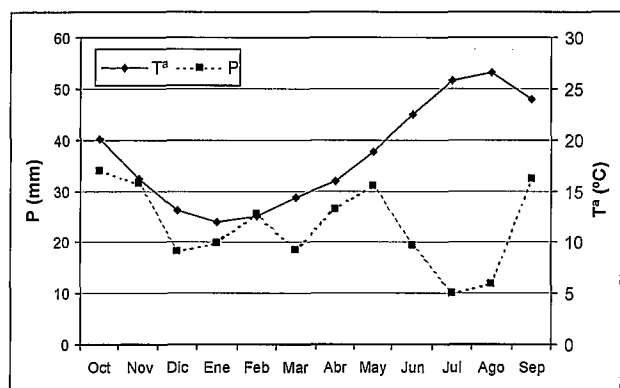
Desde 1997 en la Sierra del Ventós se dispone de estaciones meteorológicas capaces de determinar diversos parámetros climáticos (precipitación, temperatura, radiación, humedad relativa, así como magnitud y dirección del viento), sin embargo, dado el escaso tiempo de funcionamiento, se ha preferido realizar 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	$\Delta h_i$ (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.

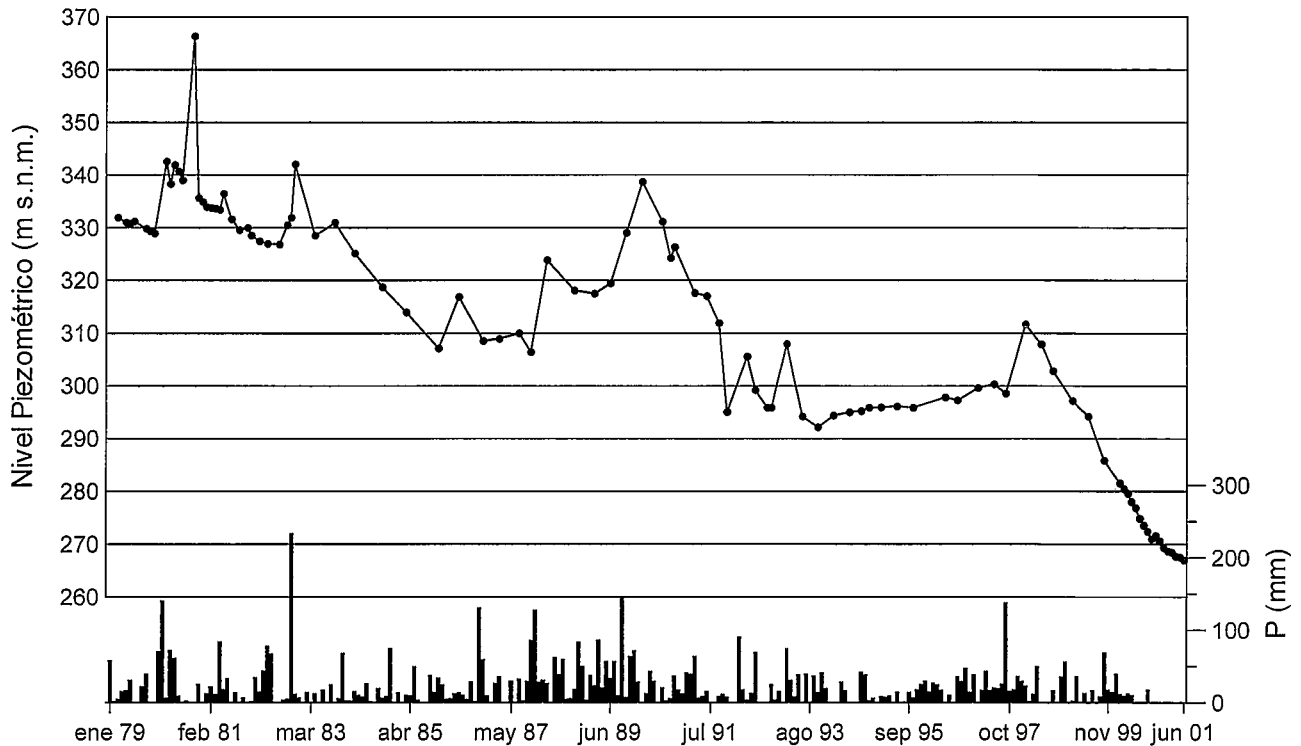


Figura 3.- Evolución piezométrica del acuífero Ventós-Castellar (registro del sondeo nº 1).

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

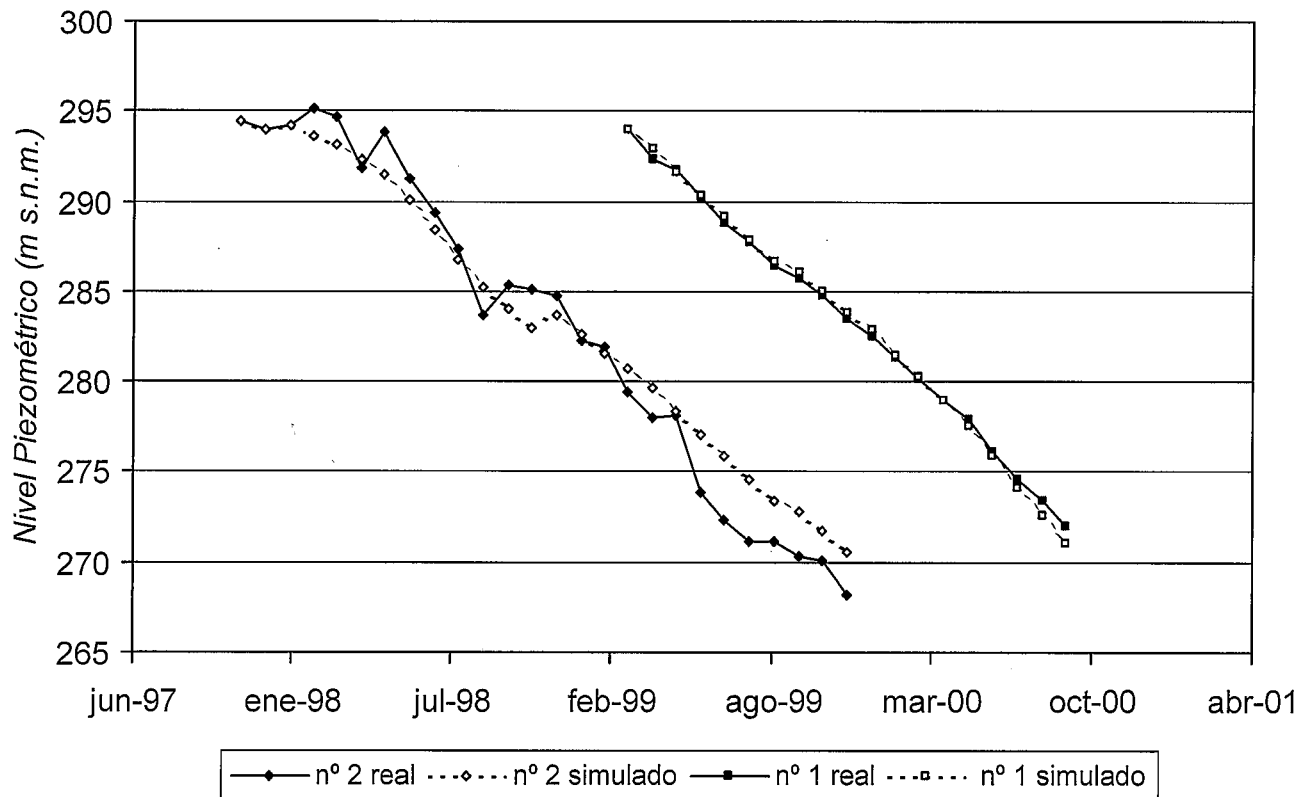


Figura 4.- Calibración del modelo para los sondeos nº 1 y 2.

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 m<sup>3</sup> (Aragón *et al.*, 1992), mientras que en los últimos años (1998-2000) presentan como media 250.000 m<sup>3</sup>/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  $\Delta h_i$  es la variación observada en el nivel del acuífero (en m),  $A$  es el área del acuífero ( $7 \times 10^6$  m<sup>2</sup>), establecida en estudios previos (IGME, 1979) y considera-

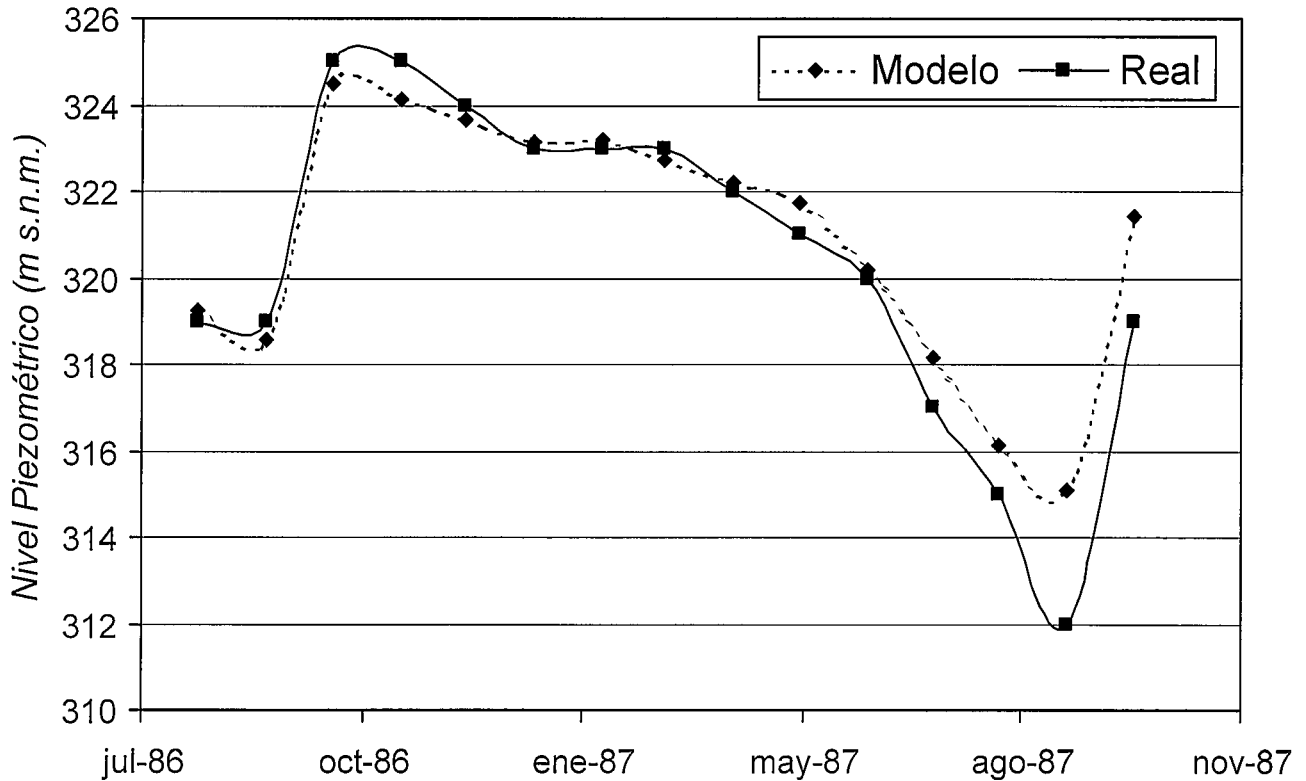


Figura 5. Validación del modelo para el periodo julio 1986-octubre 1987.

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),  $\beta$  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.



