

# Caracterización hidrogeológica de la Sierra de la Horna (Alicante)

## *Hydrogeologic characterization of the Sierra de la Horna (Alicante)*

J. M. Andreu (\*), E. García-Sánchez (\*\*), A. Pulido-Bosch (\*\*\*) y A. Hernández(\*\*\*\*)

(\*) Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Univ. de Alicante 03080 Alicante.

(\*\*) Dpto. Agroquímica y Medio Ambiente, Univ. Miguel Hernández 03202 Elche (Alicante).

(\*\*\*) Dpto. Hidrogeología y Química Analítica, Univ. de Almería 04120 La Cañada. Almería.

(\*\*\*\*) Dpto. Ingeniería Química, Univ. de Alicante 03080 Alicante.

### ABSTRACT

*In this paper we present the preliminary results of the study of Sierra de Horna aquifer. There is a connection between Horna aquifer and the detrital aquifer of Rambla del Tarafa deduced from the piezometric data. The hydrochemistry results have shown that most saline waters lie in the deepest parts of the aquifer, while those of lowest mineralization occupy the area of the saturated zone closest to the surface.*

**Key words:** karstic aquifer, hydrogeochemistry, vertical zonation, Horna, Alicante

*Geogaceta*, 27 (1999), 7-10  
ISSN: 0213683X

### Introducción

El acuífero de la Horna corresponde a un pequeño relieve alargado y estrecho de aproximadamente 3 km<sup>2</sup> de superficie que, con una orientación NW-SE, se encuentra en las proximidades de la localidad de Aspe, al S de la provincia de Alicante, entre las depresiones que originan los ríos Tarafa y Vinalopó.

Dada su pequeña extensión y escasos recursos con respecto a otros sistemas de mayor entidad situados en la comarca, este acuífero ha pasado prácticamente inadvertido hasta hace poco tiempo. En este sentido, no existen trabajos hidrogeológicos monográficos sobre la Sierra de la Horna; tampoco se incluye en el Mapa del Agua de la provincia de Alicante (ITGE, 1991). Su catalogación en la relación de acuíferos de la Comunidad Valenciana no se produce hasta el año 1996 (ITGE, 1996). No obstante, existen algunas referencias al acuífero de la Horna en informes técnicos y trabajos locales (Pulido-Bosch y Fernández Rubio, 1980; Pulido-Bosch y Padilla, 1986; CGS, 1986) en donde se describen algunos aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos. El objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización hidrogeológica preliminar en la que se analice su situación hidrodinámica actual, así como el quimismo de sus aguas.

El clima del área de estudio es semiárido. La precipitación media regis-

trada en la estación de Aspe durante el periodo 1961-90 ha sido de 298 mm, con cantidades extremas comprendidas entre 636 mm en el año 1971 y 122 mm en 1983. Valores de desviación típica en torno a 120 y coeficiente de variación de 40% corroboran la fuerte irregularidad pluvio-métrica interanual de este área. La temperatura media para el mismo periodo en La Romana es de 15,8° C, siendo el mes más cálido julio con temperaturas medias de 24,1° C y el mes más frío enero con 8,9° C. En cuanto a los valores medios de ETP, calculados por el método de Thornthwaite superan los 800 mm/año, mientras que el porcentaje de lluvia que se evapotranspira se estima entre 73 y 87% (Andreu, 1997).

### Encuadre geológico

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio pertenece al dominio Prebético de la Cordillera Bética (Fig. 1). La serie estratigráfica de la Sierra de la Horna se inicia con un tramo inferior, de al menos 80 m de espesor, constituido esencialmente por calizas (a veces brechificadas) y margocalizas con niveles margoso-arenosos alternantes. Esporádicamente se encuentran bancos decimétricos muy ricos en Nummulites. La edad de estos materiales es Eoceno (Azema, 1977). Por encima, y de forma concordante, prosigue la serie con un conjunto bien estratificado de calizas bioclásticas

y margocalizas, arenosas y nodulosas, con bancos más calcáreos con nódulos de sílex. Las calizas bioclásticas muestran gran abundancia de *Lepidocyclinas*, de ahí que a veces se les denomine «Calizas de *Lepidocyclinas*», así como de algas, políperos y otros organismos formadores de arrecifes, cuya edad es Oligoceno. La potencia de este tramo supera 120 m en la parte meridional de la sierra. En este mismo sector, sobre las calizas de *Lepidocyclinas* se disponen unos bancos de calizas arenosas del Mioceno inferior; su potencia no sobrepasa la decena de metros. Finalmente, en el borde oriental de la sierra aflora un conjunto de margas blancas de más de 200 m de espesor que corresponde al Burdigaliense-Langhiense. Otros materiales aflorantes en los alrededores de la Horna son las arcillas y yesos del Keuper, así como las margas del Cretácico inferior cuyo afloramiento más significativo se encuentra en la depresión del Tarafa, al NW de la Sierra de la Horna.

La disposición estructural que presenta este relieve es de un sinclinal de dirección NW-SE; se trata de una estructura relativamente suave en su parte meridional, mientras que hacia la parte septentrional sus flancos se verticalizan hasta llegar a invertirse (Azema, 1977). El pliegue está cortado por algunas fracturas de dirección E-W más o menos perpendiculares al eje, así como otras paralelas a su dirección que rompen la estructura.

### Encuadre hidrogeológico

Desde el punto de vista hidrogeológico el conjunto carbonático Eoceno-Oligoceno se comporta como acuífero, si bien, dada la presencia de margocalizas y margas, presenta unas características hidrogeológicas irregulares y complejas. Los tramos calizos, calcareníticos y pararecificales pueden considerarse como acuífero bueno, que en algún caso muestran una elevada porosidad y permeabilidad, mientras que los tramos con alternancias de margocalizas o margas presentan un comportamiento de acuífero pobre. Prueba de ello son los escasos caudales que se extraen de la mayor parte de sus captaciones meridionales, ya que por lo general son inferiores a 5 L/s.

En cuanto a sus límites, el NW está bien definido al ponerse en contacto los materiales acuíferos con las margas miocenas impermeables; el resto de sus límites presenta incertidumbre al encontrarse la estructura cubierta por los depósitos cuaternarios, también de características acuíferas. En este sentido, todo parece indicar la existencia de una posible conexión con los materiales detríticos recientes por la parte meridional de la sierra. El impermeable basal está formado por margas pertenecientes a la serie terciaria, si bien, no se puede descartar la existencia de las arcillas y yesos del Keuper.

Para establecer el comportamiento hidrodinámico de este sistema se ha realizado una campaña de piezometría en julio de 1998. La altitud de cada punto acuífero se ha establecido a partir de un mapa a escala 1:10.000. El flujo general presenta una componente NW-SE, si bien las diferencias de nivel suelen ser muy escasas. De forma general, el gradiente

entre la parte septentrional y meridional es de 0,7%; dicho sentido del flujo es consecuencia de las mayores extracciones de la parte meridional donde se concentran más captaciones. El sentido de flujo NW-SE se ha mantenido, al menos, durante los últimos años, ya que los datos de niveles en octubre de 1995 también presentaban un gradiente semejante (0,6%). La existencia de un conoide de depresión entre los sondeos 10, 31 y 32 apunta a la existencia de partes menos transmisivas debido a la heterogeneidad del medio, ya que los caudales de los puntos de este sector son semejantes o inferiores a los de otras partes del acuífero.

Al comparar los niveles medidos en los puntos que captan el acuífero de la Horna en la parte meridional (31, 32, 34 y 10) y los que captan el detrítico cuaternario en este mismo sector (33 y 5), se constata una gran similitud de niveles con escasos gradientes y convergencia de flujos, por lo que se puede explicar como una conexión hidráulica entre ambos acuíferos. Así, en la actualidad es el acuífero detrítico el que alimenta al de Horna por este sector, situación contraria a la encontrada al comienzo de la explotación del carbonatado antes de 1985 (CGS, 1986; Pulido-Bosch y Padilla, 1986) en que las calizas descargaban hacia el cuaternario.

### Características fisicoquímicas de las aguas

Para establecer una caracterización geoquímica de las aguas del área de estudio se tomaron 14 muestras repartidas entre las captaciones existentes en el acuífero carbonatado de la Sierra de Horna (9) y el detrítico del Tarafa (5), a

las cuales se les determinaron 12 parámetros. En campo se procedió a la medida de temperatura, pH y conductividad eléctrica, mientras que en laboratorio se determinaron calcio, magnesio, sodio, potasio, estroncio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y nitratos. Los resultados de las determinaciones se muestran en la tabla 1.

A grandes rasgos, resulta difícil establecer una diferenciación en función de la mineralización entre las aguas del acuífero de la Horna y las del sector muestreado en el detrítico del Tarafa. Las aguas procedentes de Horna presentan conductividades comprendidas entre 2990 y 6650  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , mientras las aguas del detrítico han mostrado valores entre 2110 y 5300  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

A pesar del carácter carbonatado del acuífero de la Sierra de la Horna predomina la facies clorurada sódica (Fig. 2) con valores de cloruro comprendidos entre 0,6 y 2,2 g/L. Las relaciones iónicas  $r\text{Cl}^-/r\text{HCO}_3^-$  (entre 5 y 11) y  $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{HCO}_3^-$  (entre 1,8 y 2,5) indican un predominio de los procesos de disolución de sales evaporíticas (yeso y halita). La existencia de dichas sales se relaciona con los materiales de facies Keuper, los cuales afloran en la parte oriental del acuífero y a lo largo del Valle del Vinalopó al E de Horna. La disolución de las evaporitas provoca un elevado enriquecimiento en cloruros bien correlacionado con la conductividad, por lo que será este ion el principal responsable del aumento de la mineralización (Fig. 3a).

La mineralización de las aguas presenta una elevada relación con la profundidad; así, los sondeos 14 y 35 con cloruro superior a 1,5 g/L corresponden a las captaciones que alcanzan las mayores profundidades aunque se encuentran muy alejados entre sí. Paralelamente, las aguas de ambos puntos registran los valores más elevados en Sr y más bajos en nitratos. El contenido en cloruro en estos dos puntos es muy superior al resto y parece seguir otra recta de mayor pendiente y, por consiguiente, con otro patrón de enriquecimiento en cloruro. Los puntos, más superficiales no sobrepasan los 0,8 g/L, a pesar de poder estar emplazados a escasa distancia de los puntos de elevada salinidad. Este hecho apunta a que existe una diferenciación gravitatoria de las aguas, con las más mineralizadas en los niveles más profundos del acuífero. Dado que las elevadas mineralizaciones se han detectado en puntos emplazados en diferentes sectores del acuífero, se descarta el carácter local de esta zonación, extendiéndose a todo el acuífero. Esta disposición de aguas de salinidad elevada en la

nº	C	T	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Sr <sup>2+</sup>
35	6100	21	7,4	174	138	1005	12,4	200	1614	393	33	15,9
20	4720	22,3	7,3	273	122	630	8,3	244	1133	398	48	8,9
31	2990	21	7,4	185	106	338	7,8	200	656	228	77	6,5
21	3200	21	7,2	235	94	390	5,4	233	775	275	74	7,8
34	3250	21	7,3	220	116	342	6	215	705	333	95	5,8
32	3000	23,2	7,4	180	108	408	7,7	201	770	270	92	7,1
10	4170	22,4	7,4	250	130	467	7,2	183	944	383	99	6,8
14	6650	-	7,3	337	184	920	11,4	273	2185	357	43	11,6
22	2480	21,3	7,4	178	82	304	4,7	199	552	263	52	3,8
5	2450	21	7,4	178	83	307	4,3	205	556	308	67	3,3
9	3400	20,5	7,5	135	138	456	7,1	317	671	318	163	6,2
30	5300	21	7,2	136	146	890	8,4	333	1242	381	169	6,8
12	3220	23	7,3	223	109	348	5,1	220	690	340	97	4,5
33	2110	22,4	7,5	125	55	265	6,6	233	345	268	56	2,7

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua. Temperatura (°C); Conductividad en  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ; iones en  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1. Physical and Chemical parameters analyzed in the water samples. Temperature (°C); Conductivity in  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ; ions in  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

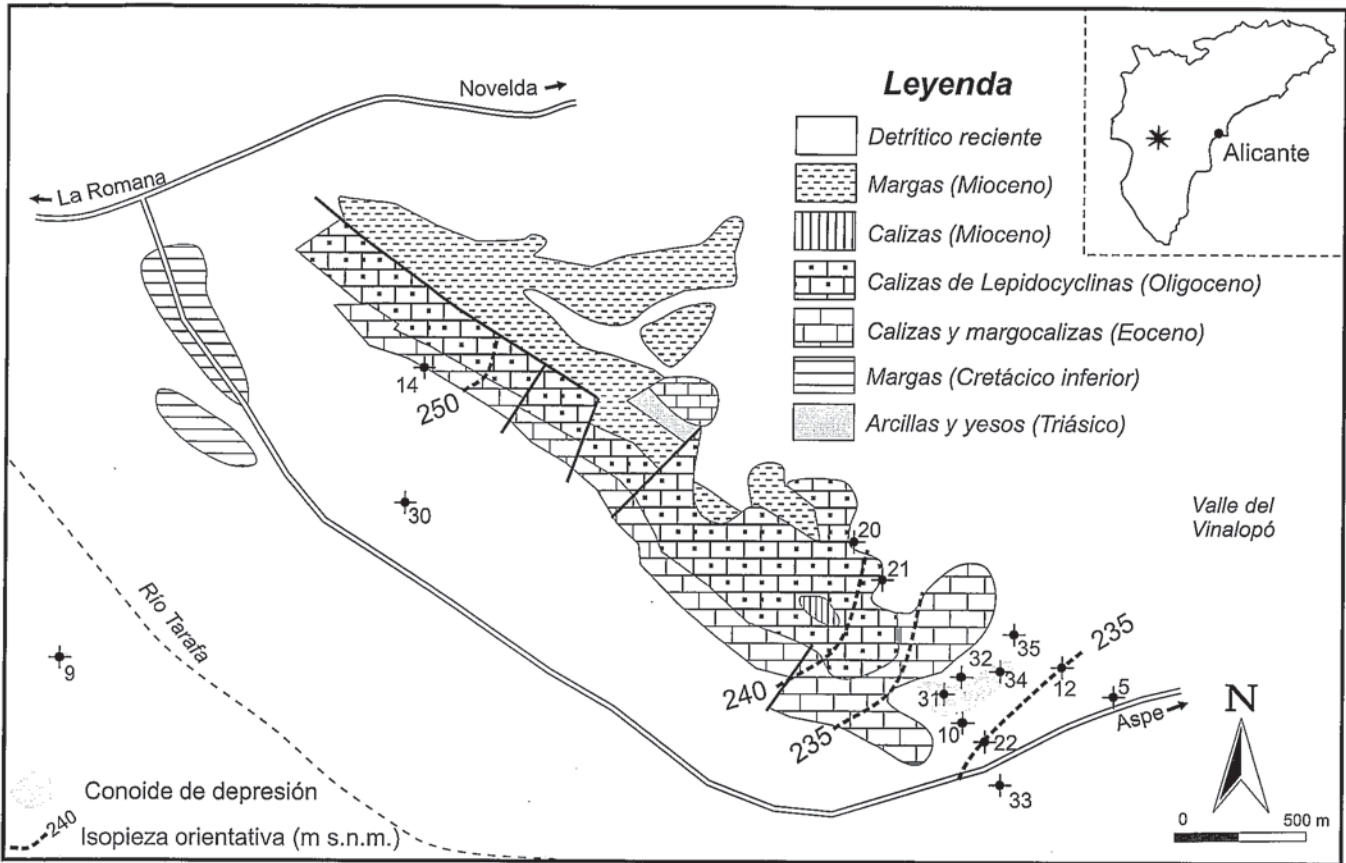


Figura 1.- Situación y encuadre hidrogeológico del acuífero de la Sierra de Horna.

Figure 1.- Location and hydrogeological setting of the Sierra de Horna aquifer.

parte basal del reservorio ha sido puesta de manifiesto en acuíferos carbonatados próximos a la zona, concretamente en el acuífero del Cid, al otro lado del Río Vinalopó (Pulido-Bosch *et al.*, 1997). La diferenciación por densidad como consecuencia de la presencia de materiales salinos en la base, o bien la existencia de flujos regionales más mineralizados y profundos podrían ser la causa de esta zonación.

Otro de los aspectos a destacar a tenor de los resultados analíticos obtenidos en este muestreo, es la semejanza entre las aguas pertenecientes a captaciones menos profundas del sector meridional del acuífero de Horna con las muestreadas en el acuífero del detritico del Tarafa. También la facies de las aguas del detritico es clorurada sódica (Fig. 2), si bien su mineralización suele ser menor y presentan valores más bajos de la relación  $rCl/rHCO_3^-$  (entre 3,6 y 6,4) Tal semejanza en el quimismo parece confirmar la posible conexión hidráulica interpretada a partir de los datos piezométricos.

Finalmente, se puede destacar la elevada concentración en nitratos que muestra la mayor parte de las muestras recogida.

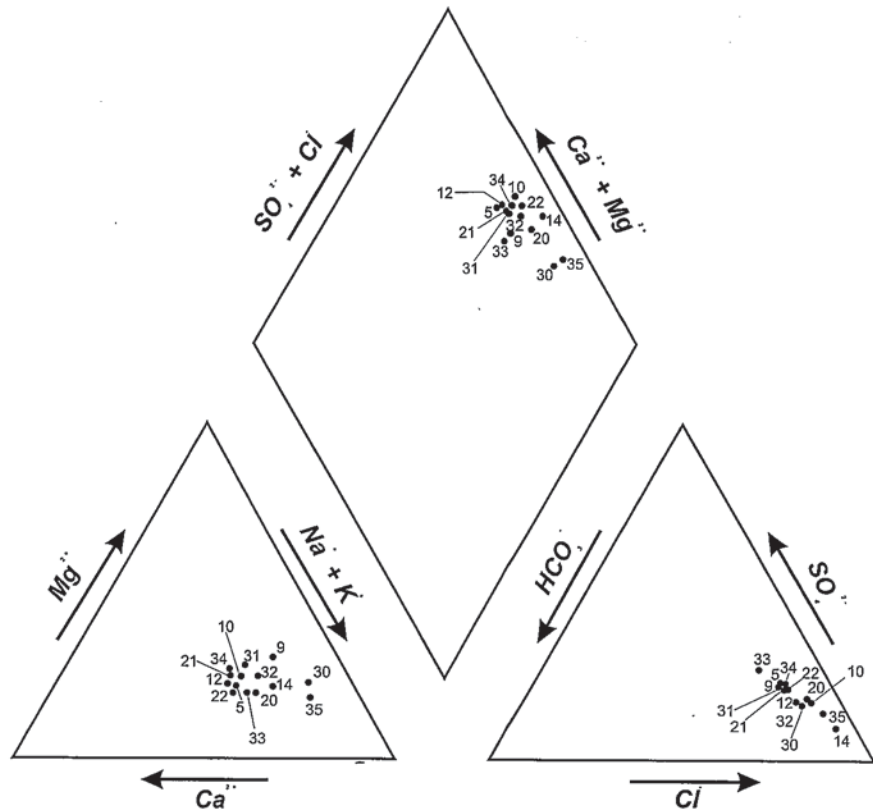


Figura 2. Diagrama de Piper de los puntos muestreados.

Figure 2. Piper diagram of sampled points.

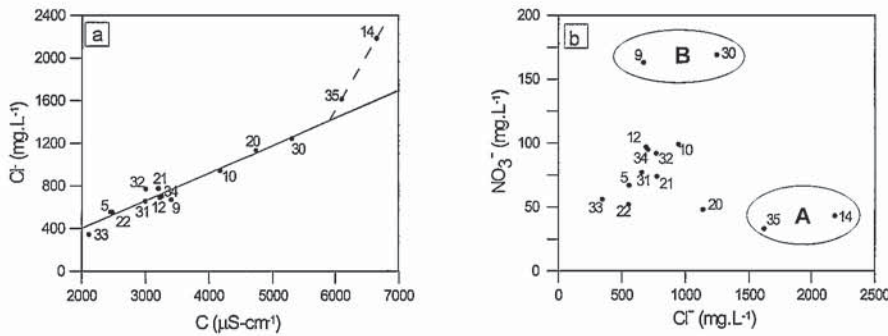


Figura 3. Representación de la conductividad frente al contenido en cloruros (a). Representación del cloruro frente al nitrato.

Figure 3. (a) Conductivity versus chloride plot (3), chloride versus nitrate contents plot.

das, con valores por encima de los 50 mg/L. A grandes rasgos, no se observa una buena correlación entre la mineralización y el contenido en nitratos (Fig 3b), por lo que el aumento de salinidad y nitratos tiene su origen en procesos independientes. Las aguas más mineralizadas y profundas (grupo A) presentan las menores concentraciones en nitratos y difieren bastante de las aguas tomadas en la parte NW del detrítico (grupo B). La existencia de contenidos en nitratos superiores en los sondeos que tan sólo captan el acuífero de la Horna con respecto al detrítico, se ha interpretado debido a la influencia de las actividades agrícolas que en los últimos años han ascendido en cota alcanzado las calizas, conjuntamente con un aporte de origen orgánico procedente de las urbanizaciones que no disponen de red de saneamiento.

**Conclusiones**

El pequeño acuífero de la Horna está constituido fundamentalmente por calizas, biocalcarenitas y margocalizas terciarias. Se trata de un sistema donde las captaciones no suelen sobrepasar los 5 L/s. Actualmente, presenta un flujo NW-SE con gradientes del 0,7%, situación que se viene manteniendo en los últimos años. A tenor de los datos piezométricos e hidrogeoquímicos se confirma la conexión entre el acuífero carbonatado y el detrítico de la depresión del Tarafa. En las condiciones presentes, es el acuífero detrítico el que alimenta al carbonatado. Las aguas

muestreadas en ambos presentan facies clorurada-sódica, siendo los procesos de disolución de sales evaporíticas los principales responsables de la salinidad. La mineralización del agua está influenciada por la profundidad. Así, se ha detectado una zonación hidroquímica en la vertical en donde las aguas más salinas se encuentran en aquellas captaciones que alcanzan mayores profundidades.

**Agradecimientos**

El presente trabajo se ha realizado parcialmente en el marco del proyecto HID97-0689 financiado por la CICYT.

**Referencias**

Andreu, J.M. (1997): *Tesis doctoral*. Universidad de Alicante, 477 p.  
 Azema, J. (1977): *Tesis doctoral*. Universidad de París VI, 395p.  
 CGS (1986): *Estudio hidrogeológico del término municipal de Aspe y sus alrededores (Alicante)*. (Mem. inédita), 134 p y anexos  
 ITGE (1991): *Mapa del Agua de la provincia de Alicante*, 42 p.  
 ITGE (1996): *Los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana*. C.A.M.A. Generalitat Valenciana, 77p.  
 Pulido-Bosch, A. y Fernández Rubio, R. (1981): *Estudio hidrogeológico preliminar del sector Aspe-Macisbenda-Pinoso-Monóvar (prov. Alicante)*. (Mem. inédita), 42 p.  
 Pulido-Bosch, A. y Padilla, A. (1986): *Mediterránea*, 5: 105-128.  
 Pulido-Bosch, A., Andreu, J.M. y Estévez, A. (1997): *IAHS Publ.* n° 247, 137-144.