



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**Esta tesis doctoral contiene un índice que enlaza a cada uno de los capítulos de la misma.**

**Existen asimismo botones de retorno al índice al principio y final de cada uno de los capítulos.**

**[Ir directamente al índice](#)**

**Para una correcta visualización del texto es necesaria la versión de [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriores**

**Aquesta tesi doctoral conté un índex que enllaça a cadascun dels capítols. Existeixen així mateix botons de retorn a l'índex al principi i final de cadascun dels capítols .**

**[Anar directament a l'índex](#)**

**Per a una correcta visualització del text és necessària la versió d' [Adobe Acrobat Reader 7.0](#) o posteriors.**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS

Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**CONTRIBUCIÓN DE LA SOBREEXPLOTACIÓN AL  
CONOCIMIENTO DE LOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS DE  
CREVILLENTE, CID Y CABEÇÓ D'OR  
(PROVINCIA DE ALICANTE)**

JOSÉ MIGUEL ANDREU RODES

Tesis doctoral

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

1997





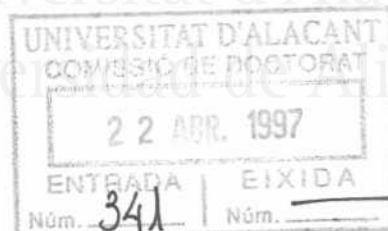


Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS

Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



**CONTRIBUCIÓN DE LA SOBREEXPLOTACIÓN AL  
CONOCIMIENTO DE LOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS DE  
CREVILLENTE, CID Y CABEÇÓ D'OR  
(PROVINCIA DE ALICANTE)**

Vº Bº de los directores

Fdo. D. Antonio Estévez Rubio

Fdo. D. Antonio Pulido Bosch

Memoria que presenta D. José Miguel Andreu Rodes para optar al grado de Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Alicante.

Fdo. José Miguel Andreu Rodes

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

1997



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



## ÍNDICE

Agradecimientos

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1. Justificación del estudio	3
2. Objetivos	3
3. Organización de la memoria	4
4. Utilización del término "sobreexplotación de acuíferos"	5
5. Localización geográfica	5
5.1. Acuífero de Crevillente	6
5.2. Acuífero del Cid	8
5.3. Acuífero del Cabeço d'Or	9
6. Necesidades hídricas de la región	10
7. Problemas y limitaciones del estudio	14
8. Metodología de trabajo	14
8.1. Métodos de campo	15
8.2. Métodos de laboratorio	16
8.3. Métodos de gabinete	17
9. Antecedentes	17
9.1. Antecedentes geológicos	17
9.1.1. Acuífero de Crevillente	19
9.1.2. Acuífero del Cid	21
9.1.3. Acuífero del Cabeço d'Or	22
9.2. Antecedentes hidrogeológicos	23
9.2.1. Acuífero de Crevillente	24
9.2.2. Acuífero del Cid	26
9.2.3. Acuífero del Cabeço d'Or	27
<b>II. HIDROMETEOROLOGÍA</b>	<b>29</b>
1. Introducción	31
2. Encuadre climático regional	32
2.1. Aspectos meteorológicos	32
2.2. Caracteres climatológicos	34
3. Pluviometría	34
3.1. Acuíferos de Crevillente y del Cid	38
3.1.1. Distribución temporal de las precipitaciones	39
3.1.2. Distribución espacial de las precipitaciones	46
3.1.3. Cuantificación de las precipitaciones recibidas	49
3.2. Acuífero del Cabeço d'Or	50
4. Temperatura	53
4.1. Acuíferos de Crevillente y del Cid	53
4.1.1. Distribución temporal	53
4.1.2. Distribución espacial	56
4.2. Acuífero del Cabeço d'Or	59
5. Evapotranspiración	60
5.1. Evapotranspiración potencial	60
5.1.1. Acuíferos de Crevillente y del Cid	61

5.1.2. Acuífero del Cabeço d'Or	62
5.2. Evapotranspiración real	63
5.2.1. Acuíferos de Crevillente y del Cid	63
5.2.2. Acuífero del Cabeço d'Or	68
6. Repercusiones del clima en los acuíferos	69
<b>III. GEOLOGÍA</b>	<b>71</b>
1. Localización geológica	73
2. Acuífero de Crevillente	75
2.1. Litoestratigrafía	75
2.2. Tectónica	81
2.3. Geomorfología kárstica	84
2.3.1. Modelado	84
2.3.2. Evolución del relieve y fases de karstificación	88
3. Acuífero del Cid	89
3.1. Litoestratigrafía	89
3.2. Tectónica	92
3.3. Geomorfología kárstica	96
3.3.1. Modelado	96
3.3.2. Evolución del relieve y fases de karstificación	98
4. Acuífero del Cabeço d'Or	98
4.1. Litoestratigrafía	98
4.2. Tectónica	103
4.3. Geomorfología kárstica	106
4.3.1. Modelado	106
4.3.2. Evolución del relieve y fases de karstificación	109
<b>IV. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DE CREVILLENTE</b>	<b>111</b>
1. Inventario de puntos de agua	113
2. Comportamiento hidrogeológico de los materiales	117
3. Geometría y límites	119
4. Características hidráulicas	123
4.1. Piezometría	123
4.1.1. Red de control piezométrico	123
4.1.2. Evolución piezométrica	124
4.1.3. Variaciones estacionales	127
4.1.4. Comportamiento hidrodinámico del acuífero	129
4.2. Parámetros hidráulicos	130
4.2.1. Introducción	130
4.2.2. Bombeos de ensayo	131
5. Hidrogeoquímica	136
5.1. Introducción	136
5.2. Sistemática del muestreo hidrogeoquímico y análisis	136
5.3. Caracterización hidroquímica de la lluvia	138
5.4. Facies hidroquímica de las aguas subterráneas	139
5.5. Variaciones espaciales y temporales	141
5.5.1. Parámetros no específicos	141
5.5.2. Constituyentes mayoritarios	146

5.5.3. Constituyentes minoritarios y trazas	153
5.6. Relaciones iónicas de interés	160
5.7. Análisis multivariantes entre los parámetros fisicoquímicos	163
5.8. Condiciones de equilibrio-desequilibrio: índices de saturación	166
5.9. Características isotópicas	168
5.9.1. Isótopos estables de la molécula del agua	168
5.9.2. Tritio	173
5.9.3. Radiocarbono y carbono-13	175
5.9.4. Azufre-34	179
5.9.5. Nitrógeno-15	182
5.9.6. Radón	184
5.10. Factores que controlan la hidrogeoquímica	187
5.11. Calidad del agua	187
6. Funcionamiento hidrogeológico	190
6.1. Funcionamiento en régimen natural	190
6.2. Funcionamiento en régimen influenciado	195
7. Componentes del balance	196
7.1. Salidas	196
7.2. Entradas	197
7.2.1 Infiltración en los terrenos carbonáticos	197
7.2.2. Infiltración cedida por los materiales detríticos	202
7.2.3. Recarga	203
8. Ajuste del balance y estado del acuífero	203
9. Reservas	204
10. Algunas medidas para tratar de reducir la sobreexplotación	204
<b>V. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL CID</b>	<b>207</b>
1. Inventario de puntos de agua	209
2. Comportamiento hidrogeológico de los materiales	210
3. Geometría y límites	211
4. Características hidráulicas	214
4.1. Piezometría	214
4.1.1. Red de control piezométrico	214
4.1.2. Evolución piezométrica	214
4.1.3. Variaciones estacionales	215
4.1.4. Comportamiento hidrodinámico del acuífero	216
4.2. Parámetros hidráulicos	217
5. Hidrogeoquímica	218
5.1. Caracterización hidroquímica de la lluvia	218
5.2. Facies hidroquímica de las aguas subterráneas	219
5.3. Variaciones espaciales y temporales	220
5.3.1. Parámetros no específicos	220
5.3.2. Constituyentes mayoritarios	224
5.3.3. Constituyentes minoritarios y trazas	229
5.4. Relaciones iónicas de interés	233
5.5. Análisis multivariantes entre los parámetros fisicoquímicos	235
5.6. Condiciones de equilibrio-desequilibrio: índices de saturación	237
5.7. Características isotópicas	238
5.7.1. Isótopos estables de la molécula del agua	238
5.7.2. Tritio	240

5.7.3. Radiocarbono y carbono-13	240
5.7.4. Azufre-34	241
5.7.5. Nitrógeno-15	242
5.7.6. Radón	243
5.8. Calidad del agua	243
6. Funcionamiento hidrogeológico	245
6.1. Funcionamiento en régimen natural	245
6.2. Funcionamiento en régimen influenciado	246
7. Componentes del balance	247
7.1. Salidas	247
7.2. Entradas	248
7.2.1. Infiltración en los terrenos carbonáticos	248
7.2.2. Infiltración cedida por los materiales detríticos	251
7.2.3. Recarga	252
8. Ajuste del balance y estado del acuífero	252
9. Reservas	253
<b>VI. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR</b>	<b>255</b>
1. Inventario de puntos de agua	257
2. Comportamiento hidrogeológico de los materiales	258
3. Geometría y límites	260
4. Características hidráulica	262
4.1. Piezometría	262
4.1.1. Red de control piezométrico	262
4.1.2. Evolución piezométrica	262
4.1.3. Variaciones estacionales	263
4.1.4. Comportamiento hidrodinámico del acuífero	264
4.2. Parámetros hidráulicos	264
5. Hidrogequímica	267
5.1. Caracterización hidroquímica de la lluvia	267
5.2. Facies hidroquímica de las aguas subterráneas	268
5.3. Variaciones espaciales y temporales	268
5.3.1. Parámetros no específicos	268
5.3.2. Constituyentes mayoritarios	273
5.3.3. Constituyentes minoritarios y trazas	277
5.4. Relaciones iónicas de interés	282
5.5. Análisis multivariantes entre los parámetros fisicoquímicos	283
5.6. Relaciones isotópicas	285
5.6.1. Isótopos estables de la molécula del agua	285
5.6.2. Tritio	287
5.6.3. Radiocarbono y Carbono-13	287
5.6.4. Azufre-34	288
5.6.5. Radón	288
5.7. Calidad química	289
6. Geotermometría	290
6.1. Modelización de los estados de equilibrio en profundidad	295
7. Funcionamiento hidrogeológico	296
7.1. Funcionamiento en régimen natural	296
7.2. Funcionamiento en régimen influenciado	299
8. Componentes del balance	300

8.1. Salidas .....	300
8.2. Entradas .....	301
9. Ajuste del balance y estado del acuífero .....	304
10. Reservas .....	304

**VII. LA SOBREEXPLOTACIÓN EN ACUÍFEROS KÁRSTICOS .....** 305

1. Contribución al conocimiento de la karstificación: variación de los parámetros hidráulicos con el vaciado .....	307
1.1. Variación de los caudales .....	308
1.1.1. Acuífero de Crevillente .....	309
1.1.2. Acuífero del Cid .....	311
1.1.3. Acuífero del Cabeço d'Or .....	312
1.2. Variación de la transmisividad .....	312
1.2.1. Acuífero de Crevillente .....	312
1.2.2. Acuífero del Cabeço d'Or .....	313
1.3. Variación de la porosidad .....	313
1.3.1. Acuífero de Crevillente .....	313
1.3.2. Acuífero del Cabeço d'Or .....	316
1.4. Pruebas de permeabilidad .....	317
1.5. Información cualitativa .....	317
1.5.1. Acuífero de Crevillente .....	318
1.5.2. Acuífero del Cid .....	318
1.5.3. Acuífero del Cabeço d'Or .....	321
2. Consecuencias de la sobreexplotación en la calidad química .....	321
2.1. Acuífero de Crevillente .....	322
2.1.1. Características fisicoquímicas originales .....	322
2.1.2. Repercusión de la sobreexplotación en la calidad química .....	323
2.2. Acuífero del Cid .....	327
2.2.1. Características fisicoquímicas originales .....	327
2.2.2. Repercusión de la sobreexplotación en la calidad química .....	328
2.3. Acuífero del Cabeço d'Or .....	329
2.3.1. Características fisicoquímicas originales .....	329
2.3.2. Repercusión de la sobreexplotación en la calidad química .....	330
3. Posibilidad de zonación hidroquímica en la vertical de los acuíferos kársticos .....	331
3.1. Acuífero de Crevillente .....	332
3.2. Acuífero del Cid .....	336
3.3. Acuífero del Cabeço d'Or .....	340
4. Efectos de la sobreexplotación sobre la economía del agua .....	341

**RESUMEN Y CONCLUSIONES .....** 345

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....** 355

<b>ANEJO I</b>	<b>INVENTARIO</b>
<b>ANEJO II</b>	<b>ANÁLISIS QUÍMICOS</b>
<b>ANEJO III</b>	<b>RELACIONES ISOTÓPICAS</b>





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## Agradecimientos

*Durante los años que ha durado este trabajo he tenido la fortuna de recibir la ayuda de gran número de personas a los que en estas líneas deseo dirigir mi más sincero agradecimiento:*

*En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de tesis Antonio Estévez y Antonio Pulido-Bosch el haberme introducido en la investigación geológica e hidrogeológica, así como su apoyo y ánimo incondicional durante todo este tiempo.*

*A los profesores y amigos Ignacio Morell, Manolo López, Juan Carlos Cerón, Alberto Padilla y Tomás Rodríguez que siempre estuvieron dispuestos a discutir, corregir y aportar ideas sobre los distintos aspectos hidrogeológicos.*

*A los profesores Alain Mangin, Michel Bakalowicz del Laboratoire Souterrain de l'eau de Moulis-Saint Giron (Francia), y Lazlo Kiraly, François Zwahlen y Pierre-Yves Jeannin del CHYN de la Université de Neûchatel (Suiza), así como a otros compañeros de estos centros que tan amablemente me atendieron. Sus conocimientos sobre hidrogeología kárstica me sirvieron de gran ayuda para desarrollar esta investigación.*

*A Luís Rodríguez de la Excma. Diputación de Alicante por haberme facilitado el acceso a la base de datos y, sobre todo, por apostar por mi investigación y conseguir la instalación de las sondas de nivel automáticas. También quiero hacer mención a la empresa que se encargó de su instalación Talleres Llorca que tan amablemente me atendieron tras los numerosísimos problemas que presentó la instalación y calibración de las sondas.*

*A Adoración Carratalá y Nuria Boluda por sus innumerables aclaraciones del complicado mundo de la química analítica. También a Angela Vallejos y Younes Ben Sbih con quienes realicé las determinaciones de elementos traza en Granada.*

*A Francisco Bartolomé Pina quien me corrigió el capítulo de hidrometeorología y, a Juan Rafael Sánchez, Daniel Soria y Mariano Ortega que me suministraron los datos de precipitación de las estaciones de Hondón de los Frailes y Masía Velón.*

*A Jesús Díaz de la ETS de Minas de Madrid y Costanza Saavedra del Instituto del Agua de la Universidad de Murcia quienes efectuaron las testificaciones geofísicas.*

*A Jose M<sup>a</sup> Vinuesa de PROGNOSIS, y Javier Obartí y Santos de EVREN, S.A. que amablemente me facilitaron informaciones históricas valiosísimas de los acuíferos del Cabeçó d'Or y Crevillente.*

*A mis colegas y amigos José Manuel Castro, Luís Nieto y Rosario Jiménez de la Universidad de Jaén con quienes compartí jornadas de campo y me ayudaron en aspectos estratigráficos y estadísticos.*

*A Juan Ayanz y Agustín Plaza de Aguas Municipalizadas de Alicante por la ayuda prestada tanto en aspectos de campo como informáticos.*

*A mis amigos Pedro Mateo, M<sup>a</sup> del Mar, Ana, Toñi, Joaquí, Rafa, Ernesto y José González que siempre estuvieron atentos a cualquier ayuda que necesitara.*

*A Francisco Corchón y Cesar de la Confederación Hidrográfica del Júcar.*

*Al ITGE por haberme suministrado la información de su base de datos.*

*A los centros meteorológicos zonales de Valencia y Guadalupe (Murcia).*

*A los usuarios de los acuíferos que tan amablemente me facilitaron multitud de datos,*

*acceso a sus captaciones y cualquier tipo de requerimiento que les solicitó. Sin su apoyo y colaboración este trabajo no habría sido posible. Entre estos se encuentran:*

- *SAT 3819 Virgen de las Nieves de Aspe, y en especial a Vicente Mira, quien muy concienciado con el grave problema del agua, siempre se ofreció para ayudarme en la obtención de datos, en la realización de pruebas y en la instalación de la sonda de nivel.*
- *SAT 3539 de Hondón de las Nieves, y en especial a José Miguel Martín.*
- *Comunidad de Regantes El Canalillo, particularmente a José M<sup>a</sup> Belda.*
- *Comunidad de Regantes de Monforte del Cid, sobre todo a Paco Limiñana.*
- *Santiago Navarro, propietario de una captación en la Sierra del Cid quien además de ofrecerme numerosos datos, me facilitó la realización de la campaña de muestreo en la vertical en el Acuífero del Cid.*
- *Aguas de Muchavista y en particular a Vicente Alberola.*
- *Excmo. Ayto. de Busot, especialmente a sus alcaldes y a Vicente el electricista.*
- *Excmo. Ayto. de Aigües, particularmente a Paco Valero y José Ivorra.*
- *Excmo. Ayto. de Hondón de los Frailes, en especial al concejal Aurelio Cremades.*
- *Excmo. Ayto. de Albatera, en la persona del concejal Salvador Molina, así como a los trabajadores de la Galería de los Suizos Vicente y Paco que siempre estuvieron atentos para facilitar mi trabajo en el interior de la Galería.*
- *Aguas Municipalizadas de Alicante.*
- *Comunidad de Regantes de San Pascual.*
- *Comunidad de Regantes de San Enrique.*
- *Comunidad de Regantes de Novelda en la persona de Luís Alted.*

*Además, quiero reseñar la disposición y ayuda prestada durante todo este tiempo por mis compañeros de trabajo del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente Carlos Auernheimer, José Antonio Pina, Salvador Ordoñez, Jesús Soria, Mariano López, Miguel Rodríguez, Pedro Jáuregui, José Giner, Carlos Láncis y Enrique Aparicio. También al personal técnico y administrativo: Manolo, Lucién, Domingo, Fátima y Floren de quienes tuve una gran ayuda en las tareas de campo, laboratorio y gabinete.*

*En estas últimas líneas quiero agradecer a mis padres, hermanos y Fina la paciente espera durante estos "largos" años, así como a mis amigos Pedro Alfaro y José Delgado por su inestimable apoyo y sugerencias, muchas de ellas plasmadas en la presente investigación. A todos ellos dedico esta tesis.*

*Esta investigación ha sido financiada por una beca de la Generalitat Valenciana.*



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **I. INTRODUCCIÓN**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

A lo largo de la historia, el hombre no se ha conformado con aprovechar el agua que la naturaleza le proporcionaba libremente (ríos, lagos y manantiales), sino que ha buscado en el interior de la tierra para encontrar más cantidad de agua y satisfacer todas sus necesidades creadas. Las peculiaridades hidrogeológicas que presentan los sistemas kársticos les confieren gran interés para el aprovechamiento de sus recursos hídricos; por tanto, han sido y son cada vez más los acuíferos kársticos utilizados para cubrir dichas demandas. La gran abundancia de materiales carbonáticos junto con la carencia de otro tipo de acuíferos importantes en el SE de España, ha provocado que sean los que han sufrido mayor presión. Como consecuencia de ello, se han desencadenado una serie de problemas, entre los que se puede destacar los efectos de la sobreexplotación.

Simultáneamente al aprovechamiento de los recursos hídricos de los acuíferos kársticos, la Hidrogeología Kárstica ha tomado gran auge dentro de la comunidad científica, constituyéndose prácticamente como una auténtica disciplina en el seno de la Hidrogeología. La juventud de la misma, junto con la complejidad y la heterogeneidad del medio, hace que la hidrogeología del karts tenga planteadas aún numerosas incógnitas sobre las que se está investigando. El estudio del fenómeno de la sobreexplotación y de sus consecuencias en estos sistemas puede contribuir a aportar mayor información sobre su comportamiento y, por tanto, ayudar a la confección de los modelos conceptuales de acuífero kárstico.

## 2. OBJETIVOS

Aprovechando la situación de sobreexplotación que padecen algunos acuíferos kársticos de la provincia de Alicante, he estudiado tres ejemplos que han tenido una historia bastante similar. Con ello he pretendido cumplir tres objetivos básicos:

- un primer objetivo de carácter general, ha sido ampliar y actualizar los conocimientos hidrogeológicos de estos acuíferos: determinar el comportamiento hidrogeológico de los distintos materiales, la geometría de los sistemas, la calidad química de sus aguas, establecer sus funcionamientos hidrogeológicos y confeccionar balances hídricos lo más ajustados posible.
- un segundo objetivo, de carácter algo más específico, enfocado a obtener información sobre ciertos aspectos producidos por la sobreexplotación, tales como las variaciones sufridas por los parámetros hidráulicos con el vaciado de los acuíferos, conocer la distribución de la karstificación en la vertical, las consecuencias hidroquímicas que conlleva

la sobreexplotación y la importancia de las características geométricas del acuífero. Asimismo, también he pretendido mostrar brevemente las repercusiones económicas y sociales que origina este fenómeno.

- el tercer objetivo es eminentemente aplicado; se trata de que este estudio sirva de base para posteriores actuaciones que pretendan disminuir o erradicar el problema de la sobreexplotación, así como servir de partida para estudios venideros de aspectos hidrogeológicos de detalle.

### **3. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA**

La estructuración del texto intenta adaptarse a los objetivos que se plantean. El hecho de que sean tres acuíferos totalmente independientes de los que se persigue obtener una información similar ha contribuido a que la estructuración de esta memoria sea algo diferente a la de los estudios hidrogeológicos clásicos. La memoria se divide en siete capítulos más uno de resumen y conclusiones.

El presente capítulo consiste en una introducción del entorno geográfico y social que ha llegado a generar estos problemas de sobreexplotación en la región. Se plantean los objetivos de esta investigación y se expone el estado de conocimiento de cada uno de los acuíferos.

En los capítulos II y III se exponen las características climáticas del área que los encuadra y las particularidades geológicas de cada uno de ellos.

Los capítulos IV, V y VI son monográficos sobre las características hidrogeológicas de cada acuífero. En ellos analizo y actualizo el conocimiento que de ellos se tiene. Se basan fundamentalmente en datos obtenidos durante algo más de dos años de seguimiento. El esquema seguido, con sus variaciones particulares, es común en los tres; se recoge una actualización hidrodinámica, hidroquímica, así como, una propuesta de régimen de funcionamiento; finalmente, se elaboran algunos balances en los que he intentado acercarme lo máximo posible a los valores de infiltración en este tipo de acuíferos kársticos.

En el capítulo VII se compara a título de síntesis las repercusiones y consecuencias que en ellos ha generado la sobreexplotación. Los principales aspectos abordados son la influencia de la sobreexplotación en la calidad química y los aspectos relacionados con el grado de karstificación que presentan este tipo de acuíferos de gran espesor.

El estudio se centra en los tres acuíferos que han sufrido sobreexplotación, los

sistemas adyacentes con posibles relaciones tan sólo se tratan de una forma muy somera, y únicamente como apoyo o contribución al conocimiento de los objetivos planteados. Este es el caso de algunos materiales detríticos cuaternarios que están en contacto con los acuíferos en cuestión.

#### 4. UTILIZACIÓN DEL TÉRMINO "SOBREEXPLORACIÓN DE ACUÍFEROS"

A pesar de que el uso del término sobreexplotación suele ser frecuente en la literatura hidrogeológica, y en los últimos años se han celebrado diversos foros en los que se ha tratado específicamente este tema, aún no existe un acuerdo total a la hora de establecer su definición (Margat, 1977 y 1991; Margat y Saad, 1982; Erhard-Cassegrain y Margat, 1983; Custodio, 1989 y 1991; Navarro, 1989; Llamas, 1992; Villarroya y Rebollo, 1993).

En el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986) que desarrolla la Ley de Aguas, se recoge "*Se considerará que un acuífero está sobreexplotado o en riesgo de estarlo cuando se está poniendo en peligro inmediato la subsistencia de los aprovechamientos existentes en el mismo, como consecuencia de venirse realizando extracciones anuales superiores o muy próximas al volumen medio de los recursos anuales renovables, o que produzcan un deterioro grave de la calidad del agua*".

Tal y como recomienda Naciones Unidas (1991) no quisiera comenzar este trabajo sin especificar cómo he utilizado el término "sobreexplotación", y de esta forma evitar posibles confusiones. Queda entendido sobreexplotación como la extracción de agua de un acuífero en cantidad superior a su alimentación y que origina un déficit en su balance, todo ello referido a un periodo de tiempo suficientemente largo como para diferenciar las consecuencias similares que tendrían periodos anómalamente secos. Por tanto, el efecto más inmediato que ocasiona la sobreexplotación es el descenso continuado de los niveles piezométricos, que acompaña normalmente al agotamiento de los manantiales. Se trata del mismo sentido utilizado por Pulido-Bosch (1993) y, en cierto aspecto, similar a la "*sobreexplotación sensu lato*" propuesta por Llamas (1992).

#### 5. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

Los acuíferos analizados en el presente estudio se sitúan en el SE de España, concretamente en la parte centro-meridional de la provincia de Alicante (figura 1). Las particularidades geológicas de la terminación NE de la Cordillera Bética son responsables de que, por lo general, los acuíferos de esta región no sean demasiado grandes. En este sentido y a excepción del Acuífero de Crevillente, se puede decir que son sistemas de



reducida extensión, constituidos en su mayor parte por el relieve que les confiere su nombre. A continuación se detallan los aspectos fundamentales de su localización geográfica.



Figura 1. Localización geográfica de los acuíferos estudiados.

### 5.1. ACUÍFERO DE CREVILLENTE

El sistema acuífero de Crevillente se ubica, dentro de la Comarca del Medio Vinalopó, al SW de la provincia de Alicante y limita prácticamente con la provincia de Murcia (figura 2). Ocupa una superficie cercana a 140 km<sup>2</sup>, quedando cubierto por parte de las hojas del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50000 de Elche (913), Fortuna (912) y Pinoso (870).

Comprende un conjunto de relieves montañosos entre los que se encuentran la Sierra de Crevillente (de la que toma nombre), sierras de Algayat, de la Cava, del Rollo, Sierra del Reclot, de la Ofra, de Orts, Pelada, de los Frailes, así como el Cerro de la Cruz y el Collado del Coto. Entre los vértices más importantes se encuentran Peña Gorda (1099 m), Peña de la Mina (1053 m) y Alto de la Solana (952 m) en el complejo Sierra de Algayat-Cava-Rollo; Algarejo (1043 m) y La Quitranera (975 m) en Reclot; y Crevillente (835 m) y Alto de San Cayetano (817 m) en la Sierra de Crevillente. Además, se incluyen dentro del perímetro del sistema las depresiones intramontañosas de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes y de Algueña-La Romana.

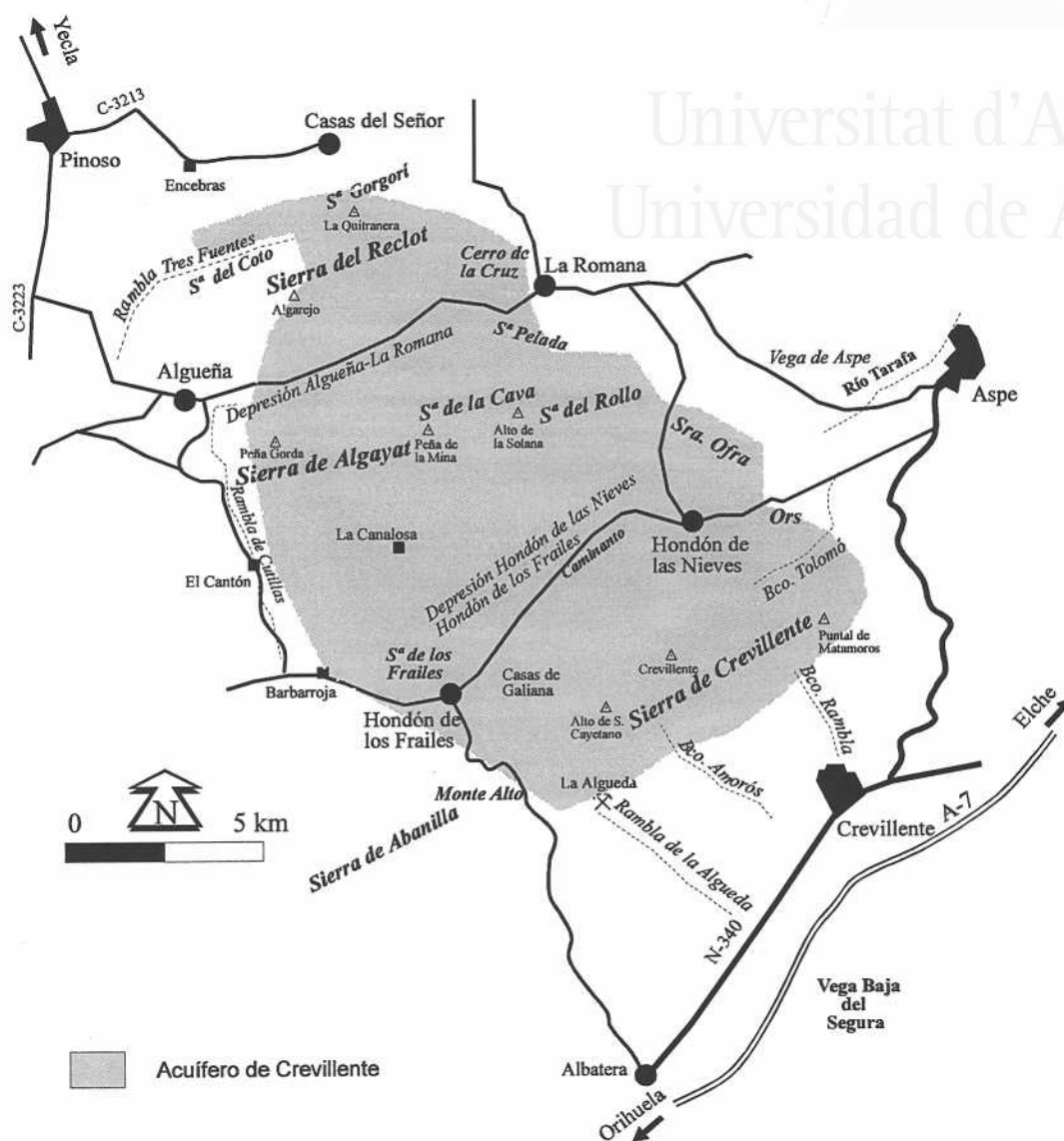


Figura 2. Localización geográfica y accesos al Acuífero de Crevillente.

Los núcleos de población que se sitúan sobre el acuífero son Hondón de las Nieves y Hondón de los Frailes, así como las pedanías de La Canalosa y Barbarroja. En sus inmediaciones se encuentran las localidades de Albaterra, Algueña, Aspe, Casas del Señor, Crevillente, La Romana y Pinoso.

Las vías de comunicación son buenas, puesto que las distintas poblaciones quedan enlazadas por carreteras comarcales. También existe una buena red de caminos vecinales y forestales que ascienden por las laderas de los relieves hasta cotas elevadas; la Sierra de Crevillente tiene una pista forestal que llega a alcanzar el pico de Crevillente.

## 5.2. ACUÍFERO DEL CID

El acuífero kárstico del Cid constituye un relieve que se alza en la parte central de la provincia de Alicante (figura 3). Como en el caso de Crevillente, se encuentra dentro de la Comarca del Medio Vinalopó. Este acuífero queda contenido íntegramente dentro de la hoja de Elda (871) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50000.

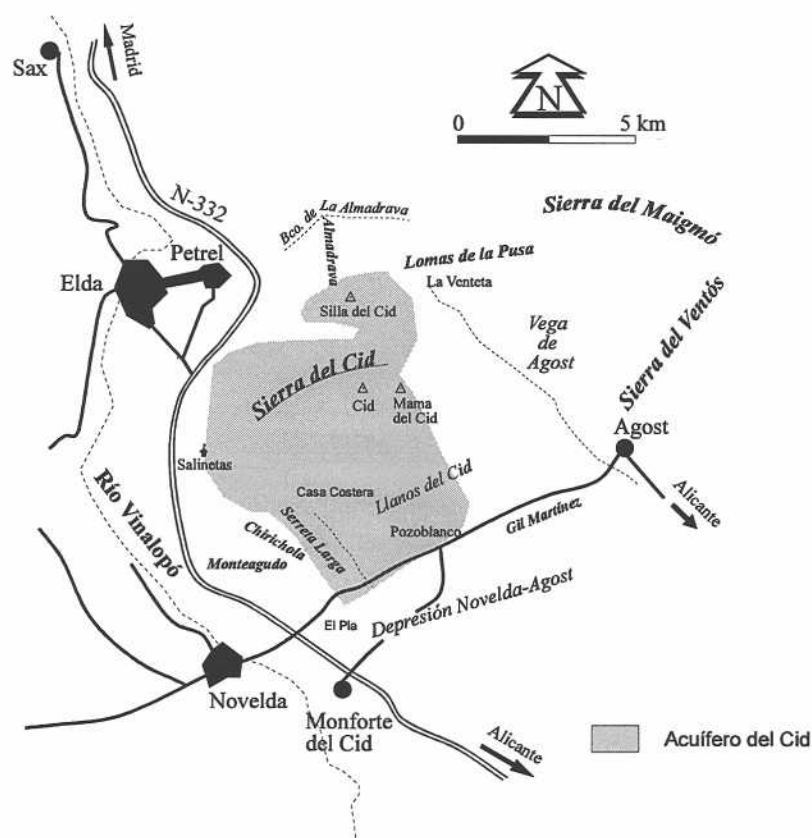


Figura 3. Localización geográfica y accesos al Acuífero del Cid.

El área sobrepasa los 33 km<sup>2</sup> de extensión abarcando los relieves de la Sierra del Cid, Silla del Cid y Serreta Larga. Destacan como cotas más altas los vértices de La Silla del Cid (1127 m), El Cid, (1103 m) y La Mama del Cid (839 m). Anexo a la sierra aparecen, al NE, las Lomas de Pusa que sirven de unión entre la Sierra del Cid y la del Maigmó. La parte occidental pierde cota progresivamente y enlaza con pequeños montes y lomas hasta alcanzar el cauce del Río Vinalopó. En la parte meridional, bordeando las faldas del Cid, se encuentran las depresiones de Novelda-Agost y Vega de Agost.

No existen asentamientos urbanos dentro del área que comprende el acuífero. Las principales localidades, Agost, Elda, Monforte del Cid, Novelda y Petrel se encuentran en la periferia del macizo, ocupando las partes deprimidas.

El acceso principal al área se realiza por la Carretera Nacional N-330 Madrid-Alicante (Autovía del Levante), concretamente mediante las salidas de Agost y Petrel. Además, existen carreteras comarcales entre los diferentes núcleos de población, así como otra serie de carreteras y caminos locales que permiten acceder con cierta facilidad a la mayor parte de los sectores. Hay que destacar que la sierra tiene varios caminos forestales que recorren prácticamente la totalidad del macizo. Mediante ellos, se puede acceder con vehículo todo terreno a las cotas más altas.

### 5.3. ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

La Sierra del Cabeço d'Or es un pequeño relieve que, con una dirección N-S y una extensión aproximada de 15 km<sup>2</sup>, se sitúa entre las comarcas de La Marina y del Alacantí, en la parte centro-oriental de la provincia de Alicante (figura 4). En las inmediaciones de la sierra se sitúan las poblaciones de Busot y Aigües, ubicándose en esta última el antiguo Balneario de Aguas de Busot.

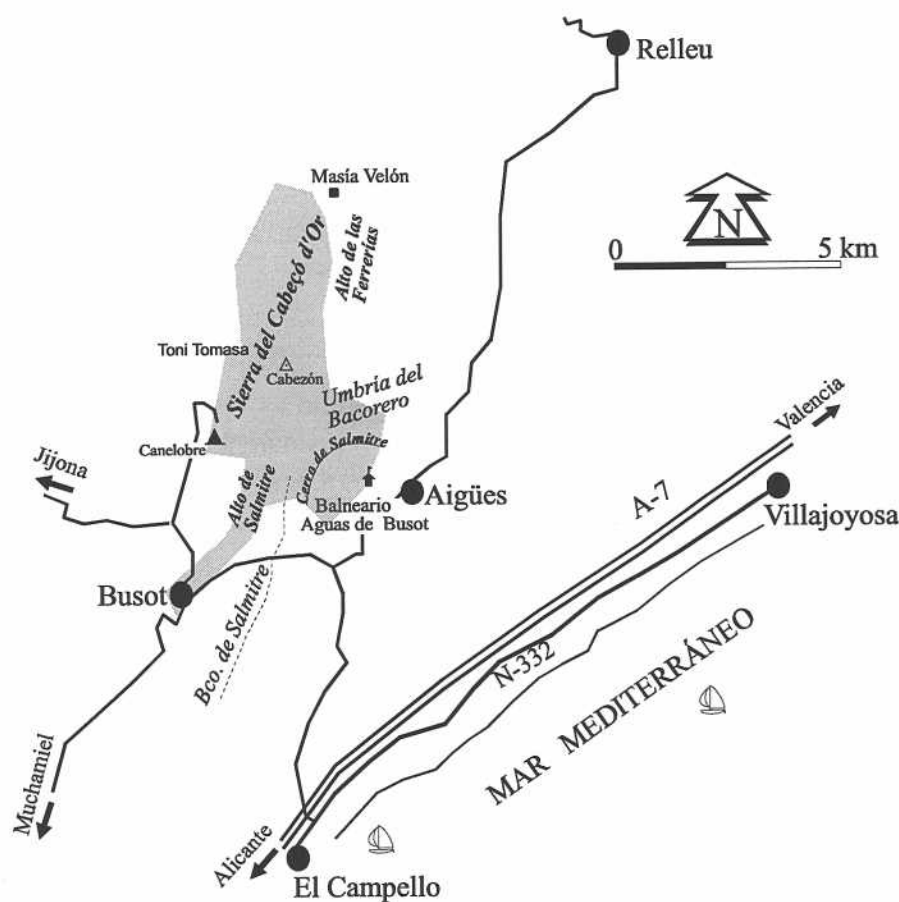


Figura 4. Localización geográfica y accesos al Acuífero del Cabeço d'Or.

El sistema acuífero ocupa aproximadamente la parte oriental de la Hoja 847 III (Jijona) y algo de la parte NW de la 872 I (El Campello) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000.

El acceso al mismo se realiza a través de la red de comunicaciones existentes entre las localidades del área de estudio. A pesar de lo abrupto de la sierra, es posible acceder a su cumbre con vehículo por la parte N, tomando un camino que parte de la carretera existente entre Aigües y Relleu.

## **6. NECESIDADES HÍDRICAS DE LA REGIÓN**

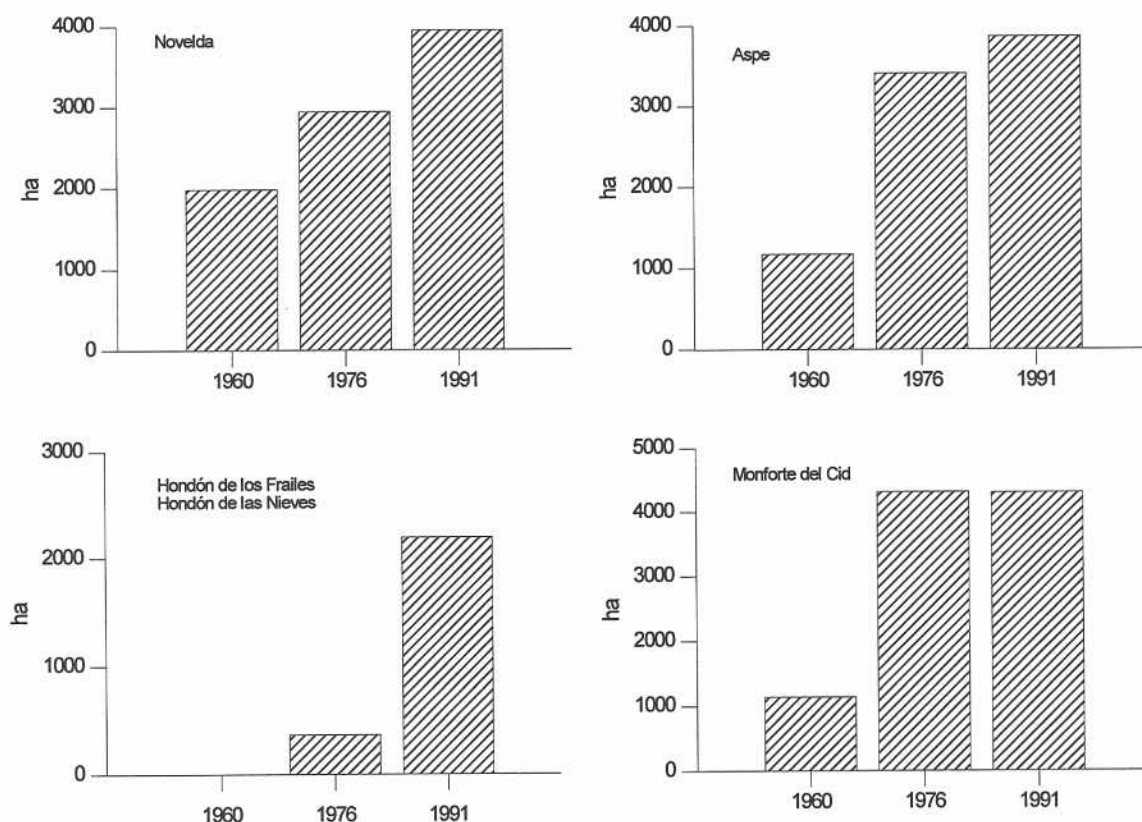
La ubicación geográfica de estos tres acuíferos ha permitido tener una historia con grandes similitudes. Las comarcas Medio Vinalopó y Alacantí, donde se sitúan los sistemas acuíferos de Crevillente, Cid y Cabeço d'Or, son afortunadas desde el punto de vista geográfico y geoambiental. En este entorno se han ido desarrollando importantes actividades agrícolas, industriales y turísticas, -la mayor parte de las mismas en la segunda mitad del presente siglo- que han aumentado considerablemente el avance económico de esta región.

Sin embargo, las precipitaciones no son demasiado abundantes en el área. Ello ha originado una cultura de la economía del agua, que se inició con los primeros asentamientos humanos, relacionados siempre con la proximidad de agua (manantiales, arroyos, ríos), y posteriormente con los diferentes aprovechamientos realizados por los diversos pueblos. Se tiene constancia de que fueron los romanos quienes pusieron en práctica los sistemas de captación, derivación, conducción y acopio de aguas en las márgenes de los cursos de agua. Más tarde, los árabes desarrollaron, reorganizaron y ampliaron estas técnicas (Bru, 1992). También existen actuaciones importantes como la construcción de embalses para regular las aguas superficiales, la perforación de minados para alumbrar aguas subterráneas y los acondicionamientos de lechos y vertientes durante la edad media y la época moderna.

Durante muchos siglos, la economía de esta región había estado sustentada fundamentalmente por una agricultura tradicional, basada en la adaptación al medio, con predominio del secano y autoconsumista. Los recursos hídricos disponibles eran los autóctonos, mayoritariamente superficiales y en menor medida subterráneos procedentes de los acuíferos mas superficiales, cuyas extracciones eran escasas y a poca profundidad. Tal situación, sólidamente configurada, fue paulatinamente abandonada a partir de los años cincuenta, cuando comenzó la transformación de las explotaciones clásicas, poco productivas, en nuevos sistemas de explotación intensivos capaces de producir mayores rendimientos (Limiñana, 1983; Bru, 1990; Rico, 1994).

La agricultura pasó a estar caracterizada por un conjunto de explotaciones intensivas

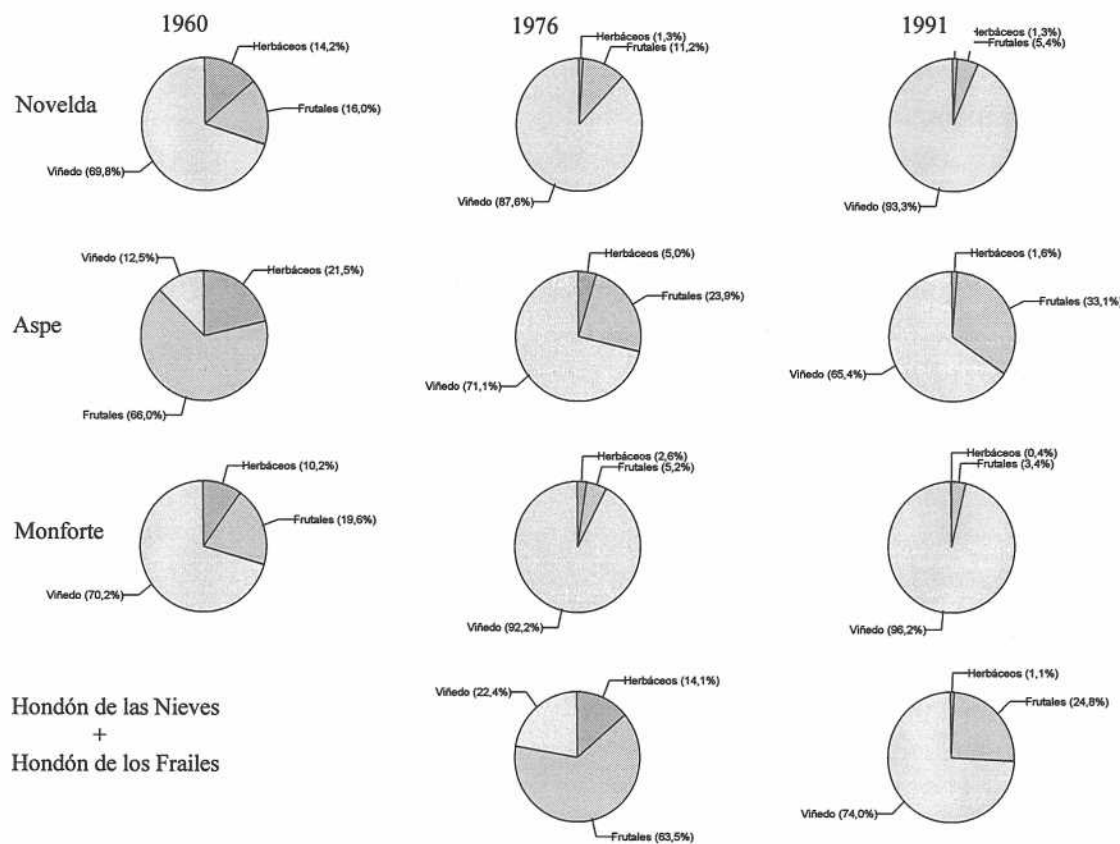
de corta duración, que requerían abundante mano de obra, y necesitaban agua en cantidades suficientes para soportar frecuencias de riego elevadas, aplicadas por el clásico sistema de inundación. En pocos años se desató una espectacular ampliación de los regadíos tradicionales (figura 5), arrancando los antiguos campos de arbolado de olivos, algarrobos, higueras y almendros, para ser de inmediato transformados en regadío, y organizados según las estrategias de explotación de la agricultura moderna. En el sector central del Medio Vinalopó se llegaron a transformar aproximadamente 21000 ha de secanos, eriales y montes, (Rico, *op. cit.*) en los que se ha desarrollado principalmente la uva de mesa embolsada del Vinalopó (figura 6). En la Comarca del Alacantí, aunque fueron las actividades del sector terciario las que experimentaron los mayores incrementos, la agricultura también presentó un crecimiento significativo; así, poblaciones como Agost que tenían 20 ha de riego a principios de siglo pasó a tener 1950 ha en 1988, o Muchamiel que con 1966 ha duplicó sus tierras de riego en el mismo periodo. Otras poblaciones como Aigües, Busot o El Campello también han experimentado incrementos en los regadíos (Canales y Palazón, 1990). Los cultivos predominantes suelen ser los leñosos frente a los herbáceos, excepto en El Campello.



**Figura 5.** Evolución de las tierras de regadío en algunos municipios de la Comarca del Medio Vinalopó (a partir de datos de Rico, 1994).



Estas transformaciones provocaron que los sistemas clásicos de utilización y extracción de agua fuesen insuficientes, por lo que se inició una nueva etapa en la búsqueda de más recursos. Esta búsqueda fue encaminada al alumbramiento de los recursos subterráneos, puesto que los avances técnicos en el campo de la prospección, perforación y equipamiento de las captaciones ya permitían bombear aguas de mayores profundidades. Estas actuaciones estaban amparadas por rentabilidades económicas muy ventajosas capaces de amortizar las inversiones requeridas para la construcción de sondeos, estaciones de bombeo, canalizaciones y otros bienes de equipo necesarios en la explotación agraria. Inicialmente fueron los acuíferos detríticos próximos a las áreas de regadío los que se comenzaron a explotar. Sin embargo, debido a que estos acuíferos son muy limitados y de pequeña entidad, pronto serían insuficientes para cubrir unas necesidades que día tras día seguían experimentando un fuerte crecimiento.



**Figura 6.** Distribución de los cultivos en las tierras de regadío de algunos municipios de la Comarca del Medio Vinalopó (a partir de datos de Rico, 1994).

A finales de la década de los cincuenta, principio de los sesenta, se empieza a perforar y extraer agua de los acuíferos emplazados en relieves montañosos fuera de los espacios de cultivo. Es cuando se inicia la explotación de los acuíferos de Crevillente, Cid y Cabeçó d'Or. Los elevados rendimientos de las captaciones, las buenas calidades iniciales de las aguas de estos sistemas y la situación legislativa, según la cual las aguas

subterráneas pertenecían a quienes las alumbraban, pudiendo satisfacer sus necesidades e incluso comercializarlas, provocó un notable desarrollo del número de captaciones que contribuían a la ampliación de tierras de riego. Entre otras, las transformaciones de secano en regadío que tuvieron lugar en Aspe, donde la superficie regable pasó de 1174 ha en 1960 a 3400 en 1976, gracias a los caudales extraídos en los pozos construidos por el Grupo de Colonización en la Sierra de la Ofra y Barranco del Tolomó.

Todo este desarrollo agrícola provocó un exceso de explotación de los recursos naturales que rápidamente se tradujo en una clara afección a los mantos acuíferos, que en los primeros años de la década de los setenta los tres sistemas estudiados ya mostraban claros indicios de sobreexplotación (IGME-IRYDA, 1978a; Pulido-Bosch, 1985 y 1986).

Sin embargo, la superficie de regadío en estos últimos años ha quedado estancada, e incluso se está produciendo el abandono de numerosas explotaciones agrarias, como sucede en el Medio Vinalopó, al no poder hacer frente a la crisis que padecen (Ramón *et al.*, 1990; Rico, 1994). Los principales factores que intervienen en ese cambio de tendencia son la pérdida de rentabilidad económica del cultivo del viñedo, que ha provocado la descapitalización de las explotaciones, y la falta de perspectivas a corto plazo para solucionar los problemas de la escasez de recursos hídricos; a ello se le unen también algunos programas y líneas de actuación de las Políticas Agrarias Comunitarias (Rico *op. cit.*).

Aunque la agricultura ha sido la máxima consumidora de agua subterránea de estas comarcas, hay que hacer constar que la industria, los servicios, y en especial el turismo, también han experimentado un fuerte crecimiento. El dinamismo de estos sectores ha contribuido en buena parte a un aumento de las necesidades hídricas.

El incremento de la población en la Cuenca Media del Vinalopó tiene una relación directa con la evolución de la agricultura y el desarrollo industrial, principalmente en los sectores del calzado y de las rocas ornamentales. Todo ello favoreció la inmigración de manchegos, andaluces y murcianos, así como de gente de otras partes de la provincia que, estacional o permanentemente, se fueron asentando en

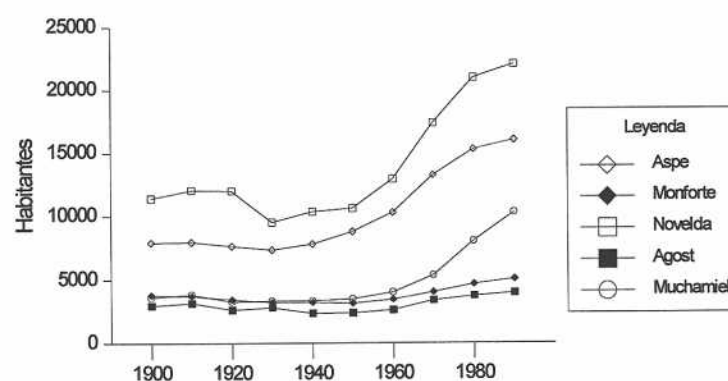


Figura 7. Evolución de la población en algunas poblaciones de la provincia de Alicante.



localidades como Novelda, Aspe o Monforte del Cid. Similar comportamiento, aunque en menor cuantía, se produjo en algunas localidades del Alacantí, como Muchamiel o El Campello, donde el cultivo del tomate necesita abundante mano de obra (figura 7).

## 7. PROBLEMAS Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Han sido varias las limitaciones que ha tenido este trabajo. Uno de los principales aspectos limitantes ha sido la falta de datos hidrogeológicos previos, en especial los anteriores al Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PNIAS) desarrollado por el IGME entre 1972 y 1977. Éste, que suele ser un problema frecuente en multitud de trabajos de este tipo, se agrava considerablemente en estos acuíferos, donde la intervención antrópica ha sido tan fuerte que han variado completamente los regímenes naturales de los sistemas. En este sentido se carece de registros de aforos, ensayos de bombeo y volúmenes de extracción detallados. También son escasos los registros de niveles piezométricos y los existentes son mayoritariamente posteriores a la aparición del fenómeno de sobreexplotación.

Las infraestructuras de estos sistemas en la actualidad han influido notablemente en la recogida de datos. El diseño de las redes de muestreo ha estado condicionado previamente por la irregularidad en la distribución espacial de los puntos acuíferos (aspecto común con la mayoría de los estudios hidrogeológicos), por las condiciones de infraestructura de cada punto (existencia de sondeos instalados carentes de piezómetro, falta de sondeos instalados, imposibilidad de muestreo en ciertas captaciones a pesar de estar instaladas, etc...) y, finalmente, por la irregularidad temporal del régimen de explotación que presentan estos acuíferos. La elevada profundidad a la que se sitúa el agua origina unos costes de extracción bastante elevados, por lo que para obtener las muestras de agua he tenido que adecuarme a las pautas de extracción de cada punto. Los bombeos son abundantes en verano y escasos en invierno, por lo que los muestreos hidroquímicos presentan lagunas.

## 8. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología empleada se ha basado en las técnicas convencionales de este tipo de investigaciones. No obstante, tales procedimientos han debido ser adaptados al caso específico de sistemas hidrogeológicos kársticos con problemas de sobreexplotación.

A continuación expongo de forma esquemática, las principales técnicas utilizadas. Posteriormente, algunas de estas técnicas serán detalladas con mayor profundidad en epígrafes específicos. Como es habitual, las actividades se pueden agrupar en métodos de

campo, de laboratorio y de gabinete.

### 8.1. MÉTODOS DE CAMPO

- *Revisión geológica.* He realizado varias campañas con el objetivo de reconocer las particularidades geológicas que contribuyeran a un mejor conocimiento hidrogeológico. Inicialmente conté con el apoyo de las cartografías del Plan MAGNA, y de las incluidas en otros trabajos (Azéma, 1977; Pulido-Bosch y Fernández Rubio, 1980; Solís *et al.*, 1983; IGME, 1987; Nieto, 1996). La revisión ha consistido en el reconocimiento de las distintas litologías, toma de muestras para la confección de láminas delgadas, levigados de microfósiles, láminas de nanoplancton, levantamiento de algunas columnas estratigráficas y el establecimiento de la disposición y estructuración de las diferentes unidades litoestratigráficas. Para ello, he utilizado los fotogramas del vuelo nacional a escala aproximada 1:18000 que cubren el área. Fruto de este trabajo ha sido la revisión de las cartografías a escala 1:25000 de los sistemas acuíferos de la Sierra del Cid y Cabeço d'Or, así como de la ya existente a escala 1:50000, del Acuífero de Crevillente. En el presente estudio se incluyen mapas sintéticos de tal trabajo.

- *Cartografía geomorfológica.* Simultáneamente a la revisión geológica, y debido a la importancia que en los sistemas kársticos tiene el modelado, he procedido al reconocimiento de aspectos geomorfológicos del paisaje, realizando varios esquemas geomorfológicos.

- *Inventario de puntos de agua.* A partir del Inventario Nacional (IGME), he actualizado y completado los datos existentes. El inventariado ha consistido en la ubicación del punto de agua sobre el mapa y en la apertura de una ficha que recoge toda la información del punto; en ella se incluyen el estado en que se encuentra la obra, aspectos técnicos de su construcción, y toda la información de carácter hidrogeológico (niveles piezométricos, aforos, análisis químicos,...).

- *Control piezométrico.* Sobre la base de la información suministrada por el inventario de puntos de agua, diseñé una red de control de niveles piezométricos. El control tuvo una periodicidad mensual, efectuando las mediciones con una sonda *Meyer* de 500 m de longitud. Hice los registros mayoritariamente en sondeos carentes de equipos de bombeo, aunque también utilicé las sondas dispuestas en los tubos piezométricos de algunas captaciones con instalación eléctrica. A partir de enero de 1994, empecé a obtener datos mediante dos limnógrafos de lectura automática en los acuíferos de Crevillente y Cabeço d'Or. Estos fueron programados para obtener registros piezométricos a nivel diario.

- *Control de calidad de las aguas.* Al igual que la red piezométrica, diseñé esta red de muestreo con periodicidad mensual. No obstante, la frecuencia en la recogida de cada

muestra ha venido condicionada por el propio régimen de funcionamiento de las captaciones. Durante algo más de dos años de funcionamiento he recogido más de 500 muestras de agua. En campo, procedí a la medición de la conductividad y temperatura mediante un conductivímetro y un termómetro portátiles.

- *Control isotópico.* Entre septiembre de 1993 y abril de 1994 procedí, de manera regular y simultáneamente al muestreo fisicoquímico, a recoger agua para conocer su contenido isotópico. En total fueron siete los sondeos seleccionados para este fin. Las muestras fueron enviadas al *Institute of Nuclear Research of Debrecen* (Hungría), donde se determinaron los siguientes isótopos:  $^{18}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ . De igual forma, procedí a la recogida de agua de precipitación, con el objeto de controlar su contenido en  $^{18}\text{O}$ ; para ello diseñé una pequeña red, repartiendo varios tomamuestras a diferentes altitudes en el Cabeço d'Or. Desgraciadamente, la época durante la cual funcionó esta red resultó bastante escasa en precipitaciones y tan sólo se pudieron muestrear tres episodios lluviosos. Otros isótopos como tritio,  $^{14}\text{C}$  y deuterio fueron muestreados en una ocasión.

- *Pruebas de bombeo.* También durante el transcurso del estudio he realizado algunas pruebas de bombeo. Todas ellas han estado condicionadas a las particularidades del punto y su entorno, es decir, los ensayos se han efectuado en sondeos que tenían su propia bomba instalada y, por tanto, bombeaban un caudal determinado sin posibilidad de regulación. Las variaciones de nivel mayoritariamente se midieron en otros sondeos próximos carentes de instalación eléctrica.

## 8.2. MÉTODOS DE LABORATORIO

- *Determinaciones analíticas.* Estas técnicas las he realizado en el *Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante*, y en el *Servicio de Análisis de Aguas del Instituto Andaluz de Geología Mediterránea de la Universidad de Granada*. Las técnicas analíticas utilizadas han sido diversas: volumetría, cromatografía, espectrometría y fotometría, dependiendo del parámetro determinado. El análisis se iniciaba inmediatamente a la entrada de la muestra en el laboratorio, varias horas después de su recogida. El procedimiento comenzaba con la medición del pH y la valoración del contenido en bicarbonatos; posteriormente se procedía a la división de la muestra en dos alícuotas, una de las cuales se acidificaba con  $\text{HNO}_3$  para los análisis de cationes, permaneciendo la otra en las mismas condiciones de su recogida. Dichas alícuotas eran guardadas en cámara frigorífica a  $4^\circ\text{C}$  para su buena conservación, a la espera de entrar en las tandas de análisis.

- *Visualización de cintas de video.* La posibilidad de disponer de cintas de video rodadas en el interior de varios de los sondeos ha servido de gran utilidad para realizar una estimación del grado de fracturación y karstificación que presentaban.

- *Otras técnicas de laboratorio.* Se incluyen bajo este epígrafe el resto de técnicas que de forma más ocasional he realizado; son éstas las de apoyo al trabajo de campo, como la fotointerpretación geológica y geomorfológica, y el estudio de láminas delgadas y análisis de muestras sólidas.

### 8.3. MÉTODOS DE GABINETE

- *Recopilación bibliográfica.* Simultáneamente a la realización del estudio he ido recopilando y revisando aquellos trabajos bibliográficos relacionados con el tema del presente estudio.

- *Base de datos.* Con similar metodología a la recopilación bibliográfica, he ido recogiendo toda la información hidrogeológica existente. Fundamentalmente se trata de inventario de puntos de agua, series de niveles piezométricos, caudales, aforos, columnas litológicas y análisis químicos procedentes de SATs (*Sociedades Agrarias de Transformación*), ITGE (*Instituto Tecnológico y Geominero de España*), *Excma. Diputación de Alicante* y CHJ (*Confederación Hidrográfica del Júcar*), así como de propietarios privados. También he recogido datos climáticos procedentes del *Instituto Nacional de Meteorología* (INM) y de entidades privadas. Toda esta información, conjuntamente con la obtenida de las propias redes de muestreo, ha sido almacenada en una base de datos, para su posterior tratamiento.

- *Tratamiento de datos.* Con toda la información obtenida procedí a su posterior tratamiento informático, análisis e interpretación. Efectué la corrección y tratamiento de los datos climáticos, interpretación de los ensayos de bombeo, análisis de los datos hidroquímicos y tratamiento de las series piezométricas.

- *Elaboración de la memoria.* Por último, y tras la interpretación de todos los resultados, procedí a la elaboración de tablas y gráficos, digitalización de los mapas y redacción y mecanografiado de la presente memoria.

## 9. ANTECEDENTES

### 9.1. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

Existe abundante bibliografía que de una forma u otra aporta información geológica sobre las áreas objeto del presente estudio. La revisión de la misma permite hacer una primera diferenciación entre trabajos concretos y específicos de cada una de las áreas, y otros que por su carácter más global y de conjunto se incluyen dentro de un marco más general. Estos últimos, aunque menos específicos, presentan gran interés y deben ser

tenidos en cuenta en cualquier investigación. Expongo previamente aquellos trabajos pertenecientes a este segundo grupo, para posteriormente abordar los más específicos en función de cada sistema acuífero.

Probablemente el primer autor que aportó datos con carácter geológico fue el sacerdote y botánico Cavanilles. En su obra "*Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia*" (1795-1797) realiza descripciones físicas del entorno y, en concreto, de la constitución litológica de ciertos parajes. Posteriormente, en el siglo XIX Madoz (1842-50) recoge y amplía alguna de las investigaciones realizadas por Cavanilles.

Pero los primeros estudios propiamente geológicos aparecen a principios del presente siglo cuando Jiménez de Cisneros, durante los años 1904-1935, desarrolla una importante investigación sobre todo en la parte meridional de la provincia de Alicante, plasmándose en diversas publicaciones. Sus trabajos recogen numerosas observaciones geológicas y paleontológicas que sirven para establecer las edades de ciertos conjuntos litológicos. A pesar de no incluir cartografías ni cortes geológicos, las excelentes descripciones de los yacimientos llegan a tener vigencia hasta nuestros días.

En 1915 Novo realizó la primera cartografía geológica de la totalidad de la provincia de Alicante a escala 1:400.000, adjuntando una memoria descriptiva de la misma. A los relieves que comprenden el Acuífero de Crevillente se les asigna una edad jurásica, mientras que los del Cid y Cabeço d'Or corresponden al Cretácico.

Con el inicio de la década de los setenta proliferan los estudios regionales de la Cordillera Bética, entre los que se pueden citar los realizados por Paquet (1969), Fourcade (1970), Champetier (1972) y Montenat (1973). Todos ellos se desarrollan en regiones vecinas a los sectores objeto del presente estudio, pero su consulta ofrece una visión de conjunto de las Zonas Externas del extremo oriental de la Cordillera Bética. En esta misma línea se encuentra el estudio geomorfológico realizado por Dumas (1977), quien estudia el relieve estableciendo que gran parte del modelado paisajístico actual se debe a procesos tectónicos recientes.

La abundancia de estudios en áreas concretas de las Zonas Externas ha creado la necesidad de realizar otros de carácter global que unifiquen las diferentes nomenclaturas y extensión de los dominios. Entre éstos, cabe citar los realizados por Azéma *et al.* (1971), Azéma (1975), Rodríguez-Estrella (1977 a y b) y Jerez (1979) los cuales tratan de dar una visión regional de la Zonas Externas del SE de España. En este mismo sentido, Jerez (1981) elabora una síntesis sobre el Prebético, donde correlaciona de forma directa las series estratigráficas perteneciente a este dominio, entre las cuáles se incluyen las pertenecientes a los sistemas acuíferos objetos del presente estudio. Además, se propone un modelo



paleogeográfico para este dominio.

También se convierten en trabajos de obligada consulta, aquellos de carácter regional que abarcan temas tectónicos y neotectónicos, debido a la presencia del singular accidente tectónico que bordea la parte meridional de la Sierra de Crevillente. La actividad de esta falla denominada como Falla de Crevillente por Focault (1971), Falla de Crevillente-Elche por Rodríguez Estrella (1977 b y c) y Accidente Cádiz-Alicante por Sanz de Galdeano (1983) ha sido puesta de manifiesto por estos mismos autores, y por Estévez *et al.* (1986) y López Casado *et al.* (1987).

### 9.1.1. Acuífero de Crevillente

Expongo aquí los trabajos más relevantes, en los que la Sierra de Crevillente y sus alrededores han sido tratados de forma más directa.

Las primeras referencias geológicas precisas se tienen cuando Botella (1854) *in* Azéma (1977) confecciona su obra sobre la geología del Reino de Valencia. Este autor constata la existencia de rocas eruptivas asociadas a los materiales triásicos en las denominadas Ventanas de Albuera -estudiadas posteriormente por Vilanova (1889)- y situadas al SW de la Sierra de Crevillente. También en el siglo pasado, D'Archiac (1857) *in* Azéma (1977) y Nickles (1896) reseñaron la presencia del Oxfordiense de Crevillente. No obstante, los primeros trabajos monográficos pertenecen a Jiménez de Cisneros, quien entre 1906 y 1935 efectuó una importante investigación sobre los terrenos jurásicos de la Sierra de Crevillente y los relieves adyacentes. En 1912 definió por primera vez el Lías en la provincia de Alicante, concretamente al W de la Sierra de Algayat y en el Cerro de la Cruz (inmediaciones de La Romana). A partir de entonces y a lo largo de toda su obra, va descubriendo y ubicando nuevos yacimientos liásicos; define nuevas especies y aporta listados de los fósiles de cada yacimiento, especialmente de braquiópodos y de ammonites. En sus trabajos más tardíos argumenta que el levantamiento liásico debió producirse posteriormente al depósito mioceno; sin embargo, piensa que los terrenos liásicos no cabalgan sobre los miocenos, sino que los ha arrastrado y deshecho al igual que al "Infracretácico".

Novo (1915) tiene conocimiento de la presencia de materiales liásicos en estos lugares, puesto que asigna el Cerro de la Cruz a esta edad, aunque es partidario que son pequeños afloramientos de pequeña extensión, siendo el Titónico el que se desarrolla en mayor extensión de todos los terrenos jurásicos.

En 1933 Darder, en su trabajo de los alrededores de La Romana, ofrece una primera explicación estructural del área, donde trata la serie jurásica subbética como una "serie corrida", y por tanto alóctona, que se dispone cabalgando sobre los materiales del Mioceno.

Fallot (1931, 1932a 1932b y 1945), basándose en los estudios precedentes, aporta mayor cantidad de datos que ofrecen nuevas precisiones sobre la estratigrafía de las formaciones jurásicas de este sector de la Cordillera Bética. En sus estudios describe series del Jurásico subbético en las que distingue gran número de formaciones. En sus trabajos se incluyen listados de fósiles, así como mapas de localización, por lo que constituyen los primeros estudios precisos sobre la estratigrafía del entorno. En cuanto a sus interpretaciones estructurales, coinciden con una tectónica de cabalgamiento. Es partidario de la conexión total de las Sierras de Crevillente y Algayat por debajo de la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes y engloba como una misma unidad tectónica y estratigráfica las sierras de Crevillente, Algayat y las sierras N y S del Coto de La Romana. Además, constata la presencia de una ventana tectónica en las inmediaciones de La Canalosa.

Otro de los trabajos importantes en este área, es la tesis doctoral de Lillo (1973a), quien con su estudio, eminentemente paleontológico, realiza algunas precisiones cronológicas. Llega a determinar la presencia de la casi totalidad de terrenos liásicos, la existencia de lagunas y sedimentación condensada en el Dogger, la representación de materiales del Cretácico inferior removido y condensado, así como la de un Cretácico superior y Terciario con carácter transgresivo. En esta misma línea de trabajos sobre la fauna de este sector, Colmenero *et al.* (1974) identifican el Calloviense con ammonites en la Sierra de Crevillente, y Lillo Beviá (1976) completa los estudios sobre ammonites del Jurásico superior.

Durante este periodo se inicia en este área, dentro del Plan MAGNA, la confección del Mapa Geológico de España a escala 1:50000, coordinado por el IGME. La primera hoja que se realiza es la de Elche (893) confeccionada por Pignatelli *et al.* (1972); inmediatamente después, la Sierra de Crevillente es completada por Azéma y Montenat (1973), quienes elaboran la hoja de Fortuna (892). Por su parte, la hoja de Pinoso (870) realizada por Gallego *et al.* no verá la luz hasta el año 1981.

Azéma, entre las décadas de los sesenta y setenta, realiza estudios geológicos exhaustivos en este sector. Este autor vuelve a defender la existencia de dos unidades estructurales, por una parte el Prebético autóctono, caracterizado fundamentalmente por materiales cretácicos y terciarios; y por otra, el Subbético alóctono procedente de la parte meridional, y con facies más pelágicas. La disposición de estas unidades queda resuelta por la superposición tectónica mediante un manto de corrimiento de la serie subbética sobre la prebética. Azéma y Sornay (1966) contribuyen al conocimiento de la estratigrafía de la Sierra de Crevillente y ofrecen diversos cortes de su ladera meridional, donde ponen de manifiesto la presencia de series condensadas entre el Berriasiense y el Albiense superior. Todos estos trabajos culminan en 1977 con su tesis doctoral sobre las Zonas Externas entre las provincias de Alicante y Murcia. En ella, basándose en un número considerable

de cortes geológicos de gran detalle del sector que nos ocupa, propone un modelo paleogeográfico y tectónico.

Otros trabajos específicos de carácter estratigráfico son los de García Hernández *et al.* (1988) quienes estudian la Sierra del Reclot y observan variaciones de potencia laterales, lo que induce a pensar en una sedimentación controlada por la tectónica. Posteriormente Nieto *et al.* (1995) definen la Unidad del Reclot. Nieto (1996) en su tesis doctoral realiza una actualización de la estratigrafía de los terrenos subbéticos del sector oriental de la Cordillera Bética y, por tanto, de los relieves que comprende este acuífero. Levanta numerosas columnas estratigráficas y define una nueva unidad denominada Crevillente-Algayat.

Con una temática esencialmente paleontológica destacan los trabajos de Iñesta (1988), que actualiza la importante fauna de braquiópodos del Lías de la provincia de Alicante, y de Calzada (1988) que llega a describir una nueva especie de braquiópodos en el Barranco del Tolomó de la Sierra de Crevillente.

La actividad neotectónica sufrida por el borde septentrional de la Cuenca Baja del Segura y, por tanto, los relieves que la delimitan -entre ellos la Sierra de Crevillente- ha sido puesta de manifiesto por Alfaro (1995).

### 9.1.2. Acuífero del Cid

Desde el punto de vista geológico *s. str.*, la Sierra del Cid prácticamente carece de estudios específicos, por lo que las referencias a esta sierra no son demasiado abundantes. Los primeros trabajos que aluden a la Sierra del Cid pertenecen a Jiménez de Cisneros (1907 y 1910). En ellos, el autor recopila una serie de datos obtenidos durante varias excursiones realizadas por sus alrededores y efectúa una primera distinción en tres unidades litológicas formadoras del relieve. Además, recolecta abundante fauna que utiliza para establecer la edad de los materiales, e indica los lugares donde afloran los materiales triásicos adyacentes.

Leclerc (1971) en su tesis de grado sobre el macizo del Maigmó realiza algunos cortes geológicos de la vertiente oriental de la Sierra del Cid. En este sector pone de manifiesto la existencia de numerosas fracturas en "teclas de piano" que originan multitud de bloques aislados y dan paso a la Vega de Agost. Leclerc y Azéma (1976) estudian la potente serie Albiense-Maestrichtense en los alrededores de Agost. Estos autores observan variaciones rápidas de facies y potencias, reconocen lagunas que afectan al Turoniense-"Senoniense inferior", y deducen la existencia de klippen sedimentarios en el Cenomaniense.



En 1976 se edita la hoja geológica de Elda (871) a escala 1:50000 dentro del Plan MAGNA desarrollado por el IGME. Esta hoja es realizada por Leret *et al.*, y en ella se cubre la cartografía de todo el Acuífero del Cid. Incluyen al macizo del Cid dentro del bloque denominado Cid-Ventós que, a modo de grandes dovelas, cabalga hacia el N sobre otro bloque más septentrional.

La tesis doctoral de Azéma (1977) constituye el estudio de carácter geológico más importante que se ha realizado sobre la Sierra del Cid. Este autor efectúa varios cortes geológicos con distintas orientaciones que ponen de manifiesto variaciones laterales de potencia, así como una estructuración dominada por fracturas verticales.

Finalmente, García Fernández y Marco (1989) en su estudio morfoestructural del relieve corroboran el alto grado de fracturación que presenta este macizo carbonático.

### 9.1.3. Acuífero del Cabeço d'Or

Las primeras observaciones geológicas realizadas en los alrededores de la Sierra del Cabeço d'Or se deben a Nicklés (1891) que describe fauna típica del Barremiense en las inmediaciones del sanatorio de Busot. Posteriormente, Jiménez de Cisneros (1904), guiado por una cartografía en la que señalaba la presencia de materiales del Triásico superior y del Nummulítico en las inmediaciones del sanatorio, observa que lo que allí afloraba era el denominado Infracretácico con abundante fauna de orbitolinas. Este mismo autor realiza otro trabajo, en 1908, sobre el Neocomiense de la localidad de Busot, calificando de *tesoro paleontológico* a las facies condensadas de margocalizas con abundante fauna de ammonites. Además, destaca la existencia de varias minas de hierro barita y celestina. Novo (1915), en su mapa geológico de la provincia, representa al Cabeço d'Or como Cretácico, diferenciando la parte occidental y meridional como Cretácico inferior.

Posteriormente, existe una laguna de estudios geológicos, hasta el trabajo de Polvêche (1963), quien propone un mecanismo de extrusión para explicar el origen del Cabeço d'Or. La edad de dicha extrusión debió ser postaquitaniense.

Lillo (1973a y b) indica que los materiales cretácicos son los que dominan en el relieve. El Jurásico aflorante es terminal en facies urgonianas, el cual constituye el núcleo del anticlinal. El paso de uno a otro se produce de forma gradual y entre el Berriasiense y el Oligoceno la sedimentación es bastante continua. La dirección anómala N-S respecto a la dirección predominante de la Cordillera Bética apunta a un origen extrusivo que a su vez provoca una serie de deslizamientos debido a las diferencias de comportamiento entre los materiales.

Azéma *et al.* (1975) y Azéma (1977) completan aspectos estratigráficos,

principalmente de los materiales cretácicos, realizando varios cortes geológicos en ambos flancos de la sierra y correlacionándolos entre sí.

Rodríguez Estrella (1977a y b) también es partidario de una extrusión jurásica, si bien señala que se trata del resultado del movimiento diapírico de las evaporitas triásicas aprovechando una zona de debilidad del basamento.

La cartografía geológica del Acuífero del Cabeço d'Or queda cubierta por la hojas de Alicante (872), elaborada por Leret y Lendinez (1978), y Villajoyosa (847) efectuada por Colodrón *et al.* (1980), ambas a escala 1:50000 e incluidas en el Plan MAGNA llevado a cabo por el IGME.

Los trabajos estratigráficos más recientes corresponden a Estévez *et al.* (1984) y a Granier (1986 y 1987). Estévez *et al.* (*op. cit.*) levantan varias series en la parte meridional de la sierra. En ellas reconocen varias discontinuidades en la sedimentación. En la vertiente oriental ponen de manifiesto una clara sucesión de facies someras de plataforma hasta el intravalanginiense, hemipelágicas hasta el Albiense superior inclusive, y de carácter urgoniano durante el Vraconiense. Por su parte, Granier realiza el corte de la Umbría del Bacorero en las inmediaciones del Balneario de Busot y establece unas unidades litoestratigráficas informales para los materiales comprendidos entre el Portlandiense y el Albiense superior; además, correlaciona esta serie con otras más septentrionales y propone un modelo tectosedimentario para el Jurásico terminal y el Cretácico inferior de este sector de la Cordillera Bética.

De Ruig *et al.* (1987), retomando las ideas de Moseley *et al.* (1981) sobre la tectónica y diapirismo del Prebético en el SE de España, introducen un nuevo modelo que explica el origen del Cabeço d'Or. Estos autores defienden la posibilidad de la existencia en la Cordillera de plegamientos y estructuras con direcciones N-S resultado de una compresión E-W previa a la compresión NNW-SSE, siendo el Cabeço d'Or un claro ejemplo de ello.

Finalmente, en relación con aspectos geomorfológicos Sánchez Navarro (1991) y Andreu y Estévez (1992) destacan los factores morfoclimáticos que actúan y describen la karstificación del macizo carbonático. En este relieve se aprecia un exokarst, donde las morfologías predominantes son los lapiaces, y un endokarst bastante desarrollado cuya máxima representación es la Cueva de Canelobre.

## 9.2. ANTECEDENTES HIDROGEOLÓGICOS

La naturaleza kárstica y, sobre todo, la condición de acuíferos sobreexplotados en que se encuentran o se han encontrado los sistemas objeto del presente estudio, hace que

hayan sido abordados en multitud de trabajos, donde han sido considerados como claros ejemplos de sobreexplotación en el SE español (IGME-IRYDA, 1979; Murcia y Mira, 1981; Fuster, 1981; Rodríguez Estrella y Gómez de las Heras, 1986; IGME, 1987; Pulido-Bosch, 1986, 1988, 1991 Y 1995; Aragón *et al.* 1989).

### 9.2.1. Acuífero de Crevillente

El primer estudio hidrogeológico en el que se trata este acuífero, aunque sin una definición como tal, es el realizado por Dupuy de Lôme y Novo (1917); el Presidente de la Cámara Agrícola de Alicante acudió, en 1914, ante el Ministro de Fomento, solicitando que los Ingenieros del Estado hicieran los estudios geológicos necesarios para el alumbramiento de aguas en varios términos de la provincia de Alicante. Entre los municipios incluidos en tal estudio, se encuentran los de Pinoso, Hondón de las Nieves y Crevillente. Este trabajo puso de manifiesto que la planicie de Hondón de las Nieves era muy pobre en agua, ya que tan sólo existían pequeños nacimientos situados entre las sierras de Algayat y del Rollo, y el Barranco del Tolomó. Por el contrario, la localidad de Crevillente era rica gracias a los manantiales existentes en los materiales carbonáticos triásicos.

La realización de la Galería de los Suizos a principio de los años sesenta por parte de la compañía Riegos de la Salud de San Antonio, S.A. hizo necesaria la elaboración de algunos estudios internos. Existe información de carácter técnico relativa a esta obra desde 1955 a 1963. En ella se recogen aspectos como el funcionamiento del acuífero, los posibles proyectos de captación, los sondeos mecánicos de investigación, y las notas técnicas emitidas durante la perforación de la Galería. Del conjunto de esta información se deduce que la depresión de Hondón de los Frailes era una cubeta conectada con otros acuíferos laterales, de forma que los recursos de que se disponía eran enormes, pudiendo efectuar importantes extracciones con descensos pequeños.

Relacionado con la Galería de los Suizos, CGEGESA (1963) se encargó de confeccionar un estudio de geofísica eléctrica para establecer la geometría del subsuelo en la cubeta de la depresión de Hondón de los Frailes.

Más tarde, Navarro y Trigueros (1966) aportan un pilar básico sobre la hidrogeología del Acuífero de Crevillente, definiéndolo con rigor según técnicas modernas. Evaluaron sus recursos en 9 hm<sup>3</sup> y establecieron unas reservas de 550 hm<sup>3</sup>, de acuerdo con la geometría del acuífero, y un coeficiente de almacenamiento del 3%. Además, señalan como aconsejable una explotación máxima de 500 l/s, lo que posibilitaría una duración mínima de la captación de 20 años.

La definición del Acuífero de Crevillente de forma administrativa se contempla en los informes resultantes del PNIAS, concretamente en el informe técnico nº 7 de la Cuenca

del Segura (IGME-IRYDA, 1978a). En él quedan establecidos sus límites hidrogeológicos, quedando definido como tal por la Sierra de Crevillente, depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes, así como los relieves que se encuentran en dicha depresión. Además se pone de manifiesto el estado de sobreexplotación que sufre el sistema, el balance hídrico, datos hidroquímicos y la calidad del agua.

Dada la grave situación hídrica en la que se encontraba a finales de los años setenta la Cuenca del Vinalopó, y la necesidad de soluciones, el IGME-IRYDA (1979 y 1982) efectuó estudios sobre la problemática existente y las infraestructuras hidráulicas con las que se contaba. Estos trabajos incluyen al Acuífero de Crevillente, y concretamente, en él se confeccionó un inventario comparativo entre las captaciones útiles y abandonadas, los diferentes destinos y usos del agua, así como de las entidades que realizan su extracción.

Pulido-Bosch y Fernández Rubio (1980) realizaron el primer estudio en el sector comprendido entre Aspe, Macisvenda, Pinoso y Monóvar (provincia de Alicante), definieron la unidad Sierra de Crevillente-Ofra-del Rollo-Pelada-Reclot. Además, incluyeron datos referentes a parámetros hidrodinámicos, funcionamiento hidrogeológico, características fisicoquímicas de las aguas y evaluación de los recursos y reservas. También realizaron la primera cartografía hidrogeológica del acuífero. Posteriormente, Fuster (1981), Murcia y Mira (1981), Pulido-Bosch y Fernández Rubio (1981) y Pulido-Bosch (1985 y 1991) ponen de manifiesto la explotación minera del agua subterránea en este acuífero, así como las consecuencias de deterioro de la calidad del agua, y aumento de los costes de extracción que provoca el fenómeno de la sobreexplotación.

Una interesante recopilación de los sistemas acuíferos de la provincia de Alicante es realizada por el IGME-Dip. Alicante (1982); en ella se incluye este acuífero y se aumenta el grado de conocimiento del mismo respecto al PNIAS.

Solís *et al.* (1983), basándose en la metodología de embalses superficiales, elaboran una "curva de explotación" para este sistema. Con ella se puede estimar la porosidad eficaz y las reservas a diferentes cotas. La curva indica que las mayores productividades se encuentran en torno a la cota del nivel del mar, a partir de la cual la porosidad se reduce y disminuyen las reservas drásticamente.

Nuevos estudios monográficos sobre el Acuífero de Crevillente o de su entorno se realizaron a mediados de la década de los ochenta como consecuencia de la agudización del fenómeno de la sobreexplotación debido a la intensa sequía. Destacan los de Mas (1984) y CGS (1985), en los que se actualiza el estado de la sobreexplotación y se proponen recomendaciones de extracción para paliar el continuo descenso de los niveles piezométricos.

La entrada en vigor de la nueva Ley de Aguas de 1986 permite la declaración provisional de acuíferos sobreexplotados. Un año más tarde, con fecha 31 de julio de 1987 la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, declara al Acuífero de Crevillente como "acuífero provisionalmente sobreexplotado". Atendiendo a lo que establece la ley, el MOPU (1989) confecciona el plan de ordenación del acuífero. Aragonés *et al.* (1989), Corchón *et al.* (1989) y Bru (1993) comentan y discuten los objetivos perseguidos, las actuaciones que se pretendían, así como los problemas encontrados y las soluciones tomadas durante la elaboración de dicho plan.

EVREN (1989-90) elabora un nuevo informe que incluye tanto aspectos jurídicos y legales, como una nueva actualización del estado hidrodinámico en que se encontraba. En él se reconoce la continuidad que presenta este sistema entre la parte oriental y occidental de la Sierra de Crevillente.

Recientemente, Pulido-Bosch *et al.* (1995 y 1996) han estudiado los efectos de deterioro hidroquímico como consecuencia de la minería del agua subterránea y realizan una serie de consideraciones referentes al modelo conceptual de funcionamiento de este acuífero kárstico, las cuales podrían ser extrapoladas a otros acuíferos de similares características.

### 9.2.2. Acuífero del Cid

Parte de este acuífero fue estudiado por Dupuy de Lôme y Novo (1917) al realizar sus estudios con el objeto de alumbrar aguas en las localidades de Novelda y Petrel. En este trabajo se pone de manifiesto la ausencia de manantiales en la parte septentrional de la sierra, donde llega a aflorar el contacto de las calizas cenomanienses con las margas inferiores. Aluden también a una galería situada en el paraje de la Rambleta del Plá (término de Novelda), que llega hasta el pie mismo de las estribaciones del Cid. Ésta aportaba un caudal muy reducido, por lo que consideraron que debido a la constitución geológica de la Sierra del Cid no cabría esperar cantidades de agua importantes, aunque se prolongara. Por el contrario, sí había agua entre 20 y 30 m de profundidad en el llano que discurre entre las poblaciones de Novelda y Monforte, pero presentaba problemas de salinidad.

La definición del sistema, propiamente dicho, se realizó dentro del PNIAS efectuado por el IGME-IRYDA (1978a). En él se incluían las sierras del Cid, Serreta Larga y parte de la Sierra del Maigmo. Ya por entonces se puso de manifiesto que, dada la gran abundancia de sondeos en funcionamiento y la escasez de sus recursos, estimados en torno a 1 hm<sup>3</sup>/año, estaba sumido en estado de sobreexplotación. Se complementa este trabajo con algunos análisis químicos que indican que el agua de este sistema presentaba facies clorurada o sulfatada, aunque aún dentro de los "límites de potabilidad".



La evolución hidrodinámica mantenida por este acuífero forma parte de la seguida por gran parte de los acuíferos de la Cuenca del Vinalopó; por tanto, es otro de los acuíferos que, de forma exhaustiva, es tratado dentro del informe realizado por el IGME-IRYDA (1979) sobre la problemática de esta cuenca. Reveladores son los datos de este informe, donde se comenta que, transcurridos aproximadamente diez años desde el inicio de su explotación, el 45% de las captaciones habían sido abandonadas.

Se completan y actualizan los estudios del PNIAS cuando el IGME-Dip. Alicante (1982) incluyen este acuífero dentro de su recopilación provincial. Este trabajo recoge datos de la red de control piezométrico establecida por el IGME, que constata la tendencia descendente de los niveles. En líneas generales, la calidad de las aguas continuaba siendo buena, aunque empiezan a producirse abandonos de sondeos de ciertos sectores a causa de su deterioro.

Posteriormente, Oliver (1985) y Pulido-Bosch (1986, 1988 y 1991) ponen de manifiesto cómo las extracciones tan elevadas realizadas a mediados de los años setenta fueron descendiendo progresivamente a medida que los sondeos iban abandonándose.

El sistema acuífero definido por el IGME-IRYDA (1978a) ha sido redefinido en el Mapa del Agua de la provincia de Alicante elaborado por el ITGE-Dip. Alicante (1992), donde se han diferenciado varios acuíferos denominándose Serreta Larga al sector que ha sufrido sobreexplotación.

### **9.2.3. Acuífero del Cabeçó d'Or**

Las primeras referencias hidrogeológicas se deben a Cavanilles (1795-97) quien comenta la existencia del Balneario de Busot cuyas aguas tienen carácter termal y terapéutico. En este mismo sentido, Madoz (1842-50) pone de manifiesto la gran abundancia de surgencias existentes en los alrededores del Balneario así como de otras en la localidad de Busot. Además, recoge la determinación analítica del agua del manantial del Balneario, aclarando que estas aguas carecían de olor, y que tal propiedad se debía a un incorrecto muestreo. También Figueras (1916) en su manual incluye determinaciones analíticas del siglo pasado de algunas de las surgencias de las proximidades de Aigües.

El IGME-IRYDA (1978a), dentro del PNIAS, realiza una síntesis hidrogeológica, en la que define por primera vez el sistema. Además, queda reflejada la fuerte explotación a que se vió sometido y que produjo un notable descenso del nivel y, como consecuencia inmediata, el secado de las surgencias. Estos puntos son retomados, ampliados y actualizados en el trabajo del IGME-Dip. Alicante (1982), en el que se ofrece la evolución que ha sufrido este acuífero durante el tiempo transcurrido entre ambos trabajos; además, el estudio se completa con aspectos hidroquímicos.



Con el objetivo de efectuar captaciones para el abastecimiento de las poblaciones situadas alrededor de la Sierra del Cabeço d'Or, el IGME (1987) realizó un estudio más exhaustivo, en el que además de actualizar la situación en la que se encontraba el acuífero, definió el perímetro de protección y llegó a establecer una cierta compartimentación en varios bloques.

Los estudios más recientes -Andreu *et al.* (1992), Andreu (1995) y Pulido-Bosch *et al.* (1995)- muestran que el sistema ha experimentado un cambio de tendencia, pasando de estar sobreexplotado a una fase de equilibrio e incluso, en ciertos periodos, de ligera recuperación.

Vinuesa (1994) ha realizado una amplia recopilación bibliográfica sobre el Balneario de Busot donde, además de aspectos históricos sobre la utilización de las aguas de este balneario y del acuífero, se incluyen datos foronómicos e hidroquímicos de los antiguos manantiales. En este mismo sentido Gascón (1992) ha establecido las relaciones que transforman las unidades utilizadas en el siglo pasado en la determinación de los parámetros fisicoquímicos en mg/l. De esta forma ha podido comparar las características hidroquímicas de las aguas de los antiguos manantiales con las encontradas en nuestros días.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## II. HIDROMETEOROLOGÍA



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de todo estudio hidrogeológico regional es estimar los recursos hídricos renovables con los que cuentan los sistemas acuíferos; por ello el factor climático es un elemento clave e imprescindible para llegar al establecimiento de aquellas componentes que intervienen en un balance hídrico. Con el propósito de estimar los valores de las diferentes componentes del balance, en el presente estudio he procedido de la siguiente forma:

- en el caso de los sistemas de Crevillente y del Cid, debido a la proximidad entre ambos y a la carencia actual de una red más densa de estaciones climáticas situada en el interior de sus perímetros, he creído conveniente considerar un área que comprenda a ambos y muestre sus características climáticas.

- en el caso del Acuífero del Cabeço d'Or, al tratarse de un sistema pequeño, con características geográficas particulares y disponer de una estación en su parte septentrional, ha sido posible caracterizar su régimen climático con mayor detalle; por ello, he preferido tratarlo con independencia de un mapa regional, el cuál, aportaría poca información, ya que la comarca del Campo de Alicante, donde se ubica, no presenta una red de estaciones demasiado densa. Este hecho ha sido puesto de manifiesto en anteriores investigaciones (Olcina, 1994).

Los registros climáticos de partida pertenecen a la red del *Instituto Nacional de Meteorología* (INM), en la que actualmente se incluyen estaciones pertenecientes a las confederaciones hidrográficas del Júcar y del Segura. Los datos han sido cedidos por los centros meteorológicos zonales de Levante (Valencia) y Guadalupe (Murcia). Asimismo he podido contar con series pluviométricas pertenecientes a dos estaciones no incluidas en la Red Nacional de Meteorología (Albatera y Masía Velón), pero que debido a su emplazamiento eran de especial interés para el fin pretendido.

Inicialmente, a partir de series históricas de precipitación media mensual y temperatura media del aire mensual he efectuado el cálculo de las variables climáticas. Posteriormente, he realizado cálculos más específicos con datos de precipitación a nivel diario de las estaciones más significativas. En total han sido 21 estaciones meteorológicas las utilizadas directamente para la confección de los mapas del sector y para la caracterización de los parámetros climáticos de los tres acuíferos (tabla 1); pero además, he tenido en cuenta el resto de estaciones que limitan con el área seleccionada.

## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

Nº	INDICATIVO y NOMBRE	TIPO	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)
			W	N	
1	7237 Abanilla CHS	P-T	38° 12' 32"	1° 02' 31"	220
2	8021a Agost Escuela Nacional	P-T	38° 26' 16"	0° 38' 25"	310
3	8019 Alicante El Altet	P-T	38° 17' 00"	0° 33' 17"	31
4	8016 Aspe	P	38° 21' 00"	0° 46' 35"	241
5	8014o Chinorlet	P	38° 24' 56"	0° 47' 40"	555
6	7255 Crevillente	P	38° 15' 00"	0° 19' 58"	220
7	7258 Crevillente HE	P	38° 13' 00"	0° 46' 00"	41
8	8018b Elche CHS	P-T	38° 16' 00"	0° 41' 17"	86
9	8011a Elda Ayuntamiento	P	38° 29' 04"	0° 47' 28"	390
10	Hondón de los Frailes	P	38° 15' 50"	0° 55' 06"	600
11	8015 Hondón de las Nieves	P	38° 18' 24"	0° 52' 02"	380
12	8029a Jijona Ayuntamiento	T	38° 32' 25"	0° 30' 29"	450
13	8015o La Romana Agromet	P-T	38° 22' 00"	0° 53' 17"	500
14	8014i Monforte del Cid Agromet	P-T	38° 22' 00"	0° 46' 00"	250
15	8009e Monóvar El Esvarador	P-T	38° 28' 00"	0° 52' 27"	560
16	8013 Novelda	P-T	38° 23' 00"	0° 46' 17"	241
17	8010 Petrel	P	38° 29' 00"	0° 46' 00"	562
18	7247 Pinoso CHS	P-T	38° 24' 05"	1° 02' 38"	574
19	8028e Tibi Taleca	P	38° 31' 40"	0° 34' 17"	590
20	8033a Relleu	P	38° 35' 42"	0° 18' 17"	429
20	Masía Velón	P	38° 33' 40"	0° 22' 45"	655

**Tabla 1.** Relación de estaciones meteorológicas utilizadas. Se incluye un número de identificación, indicativo y nombre de la estación, tipo de estación (P: pluviométrica; T: termométrica), coordenadas geográficas y altitud.

## 2. ENCUADRE CLIMÁTICO REGIONAL

Antes de iniciar la descripción de las particularidades hidrometeorológicas de cada uno de los tres acuíferos, realizaré una breve descripción de algunos aspectos meteorológicos, así como un encuadre climático regional que ofrezca una primera idea del entorno, y sirva para introducir la situación hídrica de los lugares donde se ha desarrollado el fenómeno de sobreexplotación de acuíferos.

### 2.1. ASPECTOS METEOROLÓGICOS

La disposición de las cadenas montañosas que conforman la provincia de Alicante condiciona que el área en la que se ubican estos acuíferos, se encuentre resguardada de

los vientos de procedencia atlántica y totalmente expuesta a los del dominio mediterráneo, por lo que existe un predominio de vientos desde el mar hacia tierra. Ello favorece que sean los frentes procedentes del Mediterráneo los que habitualmente provocan las precipitaciones, y sólo en escasas ocasiones los frentes de origen atlántico aportan lluvias. La dinámica de los flujos de viento del E y SE tiende a frenarse y generan nubes de gran inestabilidad que se traducen en intensos aguaceros de carácter local y corta duración; los frentes provenientes del SW, tan sólo originan algunas precipitaciones sobre las tierras altas de Alcoy y Sierra de Aitana. Otros flujos provenientes del S se caracterizan por causar olas de calor en verano; por el contrario, los de componente N o NE vienen acompañados de olas de frío en los meses de invierno, aunque normalmente ninguno de estos últimos contribuye con precipitaciones significativas en la mayor parte de la provincia.

El año meteorológico se caracteriza por presentar estiajes de larga duración que pueden alcanzar hasta cinco meses. La región queda bajo el control del anticiclón subtropical de las Azores, situado al W de la península, entre las latitudes de 50° y 40° N, produciéndose una calma que hace aumentar la temperatura del aire. Esta calma tan sólo es interrumpida por algunas oleadas de calor procedentes del continente africano. Durante esta estación se produce la acusada sequía estival y la evaporación es muy elevada. Con esta situación el aire se carga de humedad llegándose al final del verano con un "colchón" de más de 3 km de altura (García de Pedraza y Peija, 1994).

Con esas condiciones se llega al otoño; se introduce aire frío que origina una intensa inestabilidad y desencadena las gotas frías. Son éstas las causantes de lluvias de gran intensidad que en pocas horas producen inundaciones o riadas. El calendario de estas lluvias catastróficas en esta región oscila entre mediados de septiembre y finales de noviembre, periodo que concentra el 75% de los episodios diluviales catastróficos (Olcina, 1994).

Durante el invierno, el anticiclón desciende de latitud situándose entre 40° y 30° N y puede traer por su borde superior aire cálido del W y SW que posibilita unas temperaturas agradables. Son las denominadas "calmas de enero" de Alicante y Benidorm, donde según el reclamo turístico "el Sol se queda a pasar el invierno en Alicante". El efecto de calma provocado por el anticiclón, tan sólo se rompe por el paso de algunos frentes que tienen poca efectividad en cuanto a cantidad de precipitación, sobre todo en la parte más próxima a la costa. A grandes rasgos el periodo invernal se caracteriza por presentar cielos despejados, con algunas heladas nocturnas e inversiones térmicas debidas a alguna ola de frío. De cualquier forma, el invierno suele tener una duración media de dos a tres meses.

Finalmente, la primavera se caracteriza por un tiempo variable con alternancia de chubascos (vaguadas atmosféricas) y periodos de sol y calma (cuñas anticiclónicas). En muchos lugares el mes de abril o mayo produce un máximo relativo en cuanto a las



precipitaciones se refiere.

## 2.2. CARACTERES CLIMATOLÓGICOS

La disposición del conjunto de relieves ubicados entre las latitudes de Denia y El Morro de Toix origina un umbral que sirve para establecer una diferenciación climática a nivel provincial. Ello ha sido puesto de manifiesto por algunos autores como Panadera y Nuet (1980), Capel (1981), Font (1983) y García de Pedraza y Peija (1994), estableciendo los límites entre zonaciones climáticas. Así Panadera y Nuet diferencian un clima de ladera lluvioso en la parte septentrional de la Sierra de Aitana y Alcoy, un clima de ladera seco en las laderas meridionales y un clima semiárido para el S de la provincia; Capel propone una Zona Levantino-Balear en la parte septentrional y una Zona Subdesértica en el sector S; por su parte, Font indica que tales latitudes son transitorias entre la subregión climática de Levante al N y la del Sudeste al S, dentro de la Región Mediterránea.

Como anteriormente he comentado, el efecto barrera que los relieves montañosos ejercen sobre el clima respecto a los frentes de origen atlántico que logran atravesar la meseta y afectan al Golfo de Valencia, así como sobre los vientos marinos o de *Llevant* procedentes del NE, trae como consecuencia una diferenciación de la pluviometría entre el sector septentrional y meridional. Las precipitaciones al N de la Sierra de Aitana alcanzan los 500 mm/año, pudiendo llegar a los 900 mm/año como ocurre al NE de la provincia. En la parte S, situada a sotavento de las vientos húmedos, las lluvias no suelen superar los 400 mm/año.

Se podría pensar que cuando el flujo de aire procede del S o del SE provocaría un efecto similar al reseñado en la zona meridional, pero esto no se produce ya que los vientos provenientes del N de África suelen ser menos frecuentes y más secos, dado que la franja marítima que atraviesan es estrecha. Por el contrario, las borrascas atlánticas que entran por Gibraltar y consiguen llegar por el SE, sí suelen producir algunas precipitaciones, siempre y cuando no lleguen ocluidas o en trance de oclusión.

Los tres acuíferos objeto del presente estudio se sitúan en la parte meridional de la provincia y, por tanto, están sometidos a un tipo de clima típico de ambientes semiáridos, caracterizado por una fuerte escasez e irregularidad del régimen de precipitaciones.

## 3. PLUVIOMETRÍA

Inicié el trabajo con el inventario de las estaciones pluviométricas, tanto de las existentes en la actualidad como de las que habían funcionado durante algún tiempo. A continuación recopilé los datos disponibles a nivel mensual y tras su tratamiento previo,

confeccioné un mapa de isoyetas medias estimativas del área. Este mapa ha servido para determinar las estaciones que mejor reflejan la cantidad de precipitación que reciben los acuíferos y que, en definitiva, sirven para calcular la posible tasa de infiltración.

Cumpliendo la recomendación de la *Organización Meteorológica Mundial*, que estableció en treinta años el intervalo de tiempo representativo de las series climáticas, he considerado el periodo internacional 1961/62-1990/91 como serie de estudio. Este intervalo ha sido discutido por algunos autores (Fernández García, 1995), ya que puede parecer poco consistente desde el punto de vista estadístico, a causa de la multiplicidad de factores que inciden sobre los elementos del clima; sobre todo en climas típicamente mediterráneos caracterizados por la irregularidad de sus precipitaciones, donde el valor de la media de las precipitaciones presenta coeficientes de variación altos (Aguiló, 1991). Sin embargo, como he comentado previamente, el objetivo pretendido no ha sido realizar un estudio climático profundo, sino deducir cuales son las estaciones representativas que permitan calcular la recarga de los sistemas.

Los datos de partida corresponden a valores de precipitaciones líquidas, los cuales vienen expresados en altura de lámina de agua equivalente. En estas latitudes las precipitaciones se realizan fundamentalmente en forma de lluvia y a veces de granizo, siendo muchísimo menos frecuentes aquellas en forma de nieve. Se han desestimado otros tipos de precipitaciones ocultas como el rocío, la escarcha, el rocío interno o nieblas goteantes, ya que no se dispone de datos cuantitativos; no obstante, en el sector estudiado el volumen total debe ser muy inferior a las precipitaciones visibles, dado que se incluye dentro de la Subregión del Sudeste, en la que el rocío no es demasiado frecuente y la escarcha casi inexistente (Font, 1983).

El tratamiento efectuado a los datos pluviométricos, ha sido el clásico en los estudios hidrogeológicos, aunque ligeramente simplificado. En todo tratamiento de series pluviométricas existen dos etapas: la de homogeneización del periodo establecido y completado de lagunas, y la de corrección de posibles errores. En este caso tan sólo he efectuado la etapa inicial; la razón de ello es que los tratamientos de corrección pueden producir una excesiva homogeneización de los datos que pueden encubrir la realidad.

El completado de datos mensuales se ha efectuado atendiendo a la cantidad de lagunas que incluía la serie. La *U.S. Weather Bureau* (Benítez, 1972) recomienda que en aquellas series donde la carencia de datos sea de uno a tres meses, el completado se obtenga a partir de la media aritmética de tres estaciones próximas y de características de ubicación similares; por el contrario, en aquellos años en los que la ausencia de datos es superior a tres meses, se ha usado el método de regresión lineal. Para ello se han agrupado las estaciones en función de la proximidad, cota, orientación y extensión del registro, comparándolas entre sí y calculando sus coeficientes de correlación y rectas de regresión

## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19
1961/62				190		296	256	246			316				239		218	
1962/63				280		242	262	277			331					458		
1963/64				126		132	125	107			156				180	247		
1964/65				216		283	247	189			174				191	361	353	
1965/66				278		355		252			261				318	304	401	246
1966/67				294		299		352			323					389	243	342
1967/68	274			291		251	207	204			271				286	336		268
1968/69			207	360		267	246	240			273				409	352	317	438
1969/70			212	272		248	171				200				216	279	244	310
1970/71	285		279	303		319	314	260			307				266	395	321	474
1971/72	399		512	450	357	399	81	280			342			379	426		411	637
1972/73	383		406	466	394	403	93	330			428			315	428		390	557
1973/74	266		357	320	252		294	234			269			234	355		275	434
1974/75	345		356	328	480		302	248						403	357		378	513
1975/76	294	350	233	216	320		223						301	299	253		290	325
1976/77	310	367	244	282	348		300	220				335	310	423	351		295	461
1977/78	222	198	171	214	288		141	129				275	221	230	193		192	278
1978/79	215	210	335	163	212		216	188				208	232	192	238		162	290
1979/80	413	408	307		413		390	297				372	409	349	373		309	492
1980/81	299	226	198	247	187		141	145				187	306	164	215		173	299
1981/82	195	259	253	227	249		215	209				350	222	216	372		161	381
1982/83	203	323	340	158	216			168				174	275	258	233		206	269
1983/84	181	172	284	198				157				248	238	292	230		166	260
1984/85		239			319			199				259	236	235	235		206	293
1985/86		290		259	360			222	265	339		355	359	369	330		215	371
1986/87	238	230		238	222			226	242	196		235	228	215	311		193	336
1987/88	564	494		630	637			547	512	459		733	702	676	695		441	700
1988/89	688	613	495	631				517		679		849		649	646		612	624
1989/90	327	290	331	342				252	241	417		377		357	411		199	396
1990/91	264	255	313	326				216	209	391		319		269	269		190	297
Media	318	308	307	297	328	291	254	247	294	413	281	353	310	326	322	347	280	396

Tabla 2. Series originales de precipitación anual (mm) del periodo 1961/62-1990/91.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19
1961/62	<b>316</b>	<b>250</b>	<b>238</b>	190	<b>273</b>	296	256	246	<b>230</b>	<b>336</b>	316	<b>216</b>	<b>239</b>	<b>247</b>	239	<b>338</b>	218	<b>310</b>
1962/63	<b>202</b>	<b>412</b>	<b>452</b>	280	<b>343</b>	242	262	277	<b>298</b>	<b>241</b>	331	<b>330</b>	<b>330</b>	<b>255</b>	<b>249</b>	458	<b>285</b>	<b>319</b>
1963/64	<b>110</b>	<b>159</b>	<b>137</b>	126	<b>228</b>	132	125	107	<b>192</b>	<b>165</b>	156	<b>135</b>	<b>174</b>	<b>198</b>	180	247	<b>174</b>	<b>256</b>
1964/65	<b>176</b>	<b>241</b>	<b>268</b>	216	<b>414</b>	283	247	189	<b>234</b>	<b>220</b>	174	<b>249</b>	<b>265</b>	<b>208</b>	191	361	353	<b>267</b>
1965/66	<b>438</b>	<b>198</b>	<b>239</b>	278	<b>464</b>	355	<b>334</b>	252	<b>252</b>	<b>437</b>	261	<b>328</b>	<b>329</b>	<b>312</b>	318	304	401	246
1966/67	<b>336</b>	<b>256</b>	<b>318</b>	294	<b>299</b>	299	<b>267</b>	352	<b>210</b>	<b>352</b>	323	<b>347</b>	<b>344</b>	<b>272</b>	<b>259</b>	389	243	342
1967/68	274	<b>220</b>	<b>279</b>	291	<b>465</b>	251	207	204	<b>177</b>	<b>301</b>	271	<b>344</b>	<b>342</b>	<b>286</b>	286	336	<b>403</b>	268
1968/69	<b>252</b>	<b>181</b>	207	360	<b>37</b>	267	246	240	<b>304</b>	<b>283</b>	273	<b>432</b>	<b>412</b>	<b>387</b>	409	352	317	438
1969/70	<b>327</b>	<b>263</b>	212	272	<b>301</b>	248	171	<b>147</b>	<b>236</b>	<b>345</b>	200	<b>319</b>	<b>322</b>	<b>228</b>	216	279	244	310
1970/71	285	<b>363</b>	279	303	<b>332</b>	319	314	260	<b>287</b>	<b>310</b>	307	<b>359</b>	<b>354</b>	<b>320</b>	266	395	321	474
1971/72	399	<b>464</b>	512	450	357	399	81	280	<b>479</b>	<b>404</b>	342	<b>545</b>	<b>503</b>	379	426	<b>517</b>	411	637
1972/73	383	<b>348</b>	406	466	394	403	93	330	<b>311</b>	<b>392</b>	428	<b>566</b>	<b>520</b>	315	428	<b>485</b>	390	557
1973/74	266	<b>320</b>	357	320	252	<b>288</b>	294	234	<b>260</b>	<b>294</b>	269	<b>381</b>	<b>308</b>	234	355	<b>375</b>	275	434
1974/75	345	<b>390</b>	356	328	480	<b>312</b>	302	248	<b>262</b>	<b>360</b>	<b>404</b>	<b>391</b>	<b>411</b>	403	357	<b>380</b>	378	513
1975/76	294	350	233	216	320	<b>237</b>	223	<b>218</b>	<b>189</b>	<b>317</b>	<b>268</b>	<b>284</b>	301	299	253	<b>305</b>	290	325
1976/77	310	367	244	282	348	<b>281</b>	300	220	<b>257</b>	<b>331</b>	<b>260</b>	335	310	423	351	<b>349</b>	295	461
1977/78	222	198	171	214	288	<b>236</b>	141	129	<b>147</b>	<b>258</b>	<b>170</b>	275	221	230	193	<b>303</b>	192	278
1978/79	215	210	335	163	212	<b>201</b>	216	188	<b>179</b>	<b>252</b>	<b>228</b>	208	232	192	238	<b>268</b>	162	290
1979/80	413	408	307	<b>378</b>	413	<b>346</b>	390	297	<b>273</b>	<b>417</b>	<b>336</b>	372	409	349	373	<b>415</b>	309	492
1980/81	299	226	198	247	187	<b>258</b>	141	145	<b>163</b>	<b>321</b>	<b>186</b>	187	306	164	215	<b>325</b>	173	299
1981/82	195	259	253	227	249	<b>245</b>	215	209	<b>272</b>	<b>235</b>	<b>249</b>	350	222	216	372	<b>312</b>	161	381
1982/83	203	323	340	158	216	<b>198</b>	<b>193</b>	168	<b>175</b>	<b>242</b>	<b>209</b>	174	275	258	233	<b>265</b>	206	269
1983/84	181	172	284	198	<b>238</b>	<b>225</b>	<b>148</b>	157	<b>173</b>	<b>224</b>	<b>198</b>	248	238	292	230	<b>292</b>	166	260
1984/85	<b>216</b>	239	<b>204</b>	<b>260</b>	319	<b>267</b>	<b>226</b>	199	<b>195</b>	<b>197</b>	<b>239</b>	259	236	235	235	<b>335</b>	206	293
1985/86	<b>322</b>	290	<b>248</b>	259	360	<b>266</b>	<b>262</b>	222	265	339	<b>262</b>	355	359	369	330	<b>333</b>	215	371
1986/87	238	230	<b>247</b>	238	222	<b>252</b>	<b>268</b>	226	242	196	<b>266</b>	235	228	215	311	<b>319</b>	193	336
1987/88	564	494	<b>340</b>	630	637	<b>514</b>	<b>681</b>	547	512	459	<b>583</b>	733	702	676	695	<b>586</b>	441	700
1988/89	688	613	495	631	<b>690</b>	<b>515</b>	<b>642</b>	517	<b>433</b>	679	<b>553</b>	849	<b>718</b>	649	646	<b>586</b>	612	624
1989/90	327	290	331	342	<b>254</b>	<b>321</b>	<b>301</b>	252	241	417	<b>292</b>	377	<b>394</b>	357	411	<b>390</b>	199	396
1990/91	264	255	313	326	<b>244</b>	<b>311</b>	<b>255</b>	216	209	391	<b>256</b>	319	<b>378</b>	269	269	<b>379</b>	190	297
Media	302	300	293	298	339	292	280	243	302	324	287	350	346	308	318	255	281	381

Tabla 3. Series completadas de la precipitación anual (mm) del periodo 1961/62-1990/91. Los valores en **negrilla** son los valores estimados a partir de otras estaciones.

por el método de los mínimos cuadrados. Los valores anuales ausentes se han completado mediante los suministrados por las rectas de regresión que presentaban mayores coeficientes de correlación. En cuanto a los valores mensuales, se ha procedido repartiendo entre ellos el valor anual, atendiendo a la misma distribución proporcional que tenía la estación de la cual se ha completado, y manteniendo el valor original de los meses en que sí se poseía el dato. Excepto en una estación, los coeficientes de correlación ( $r$ ) entre la estación origen y la completada han sido superiores a 0.8 y la distancia entre ellas inferior a 25 km.

### 3.1. ACUÍFEROS DE CREVILLENTE Y DEL CID

He seleccionado un área de aproximadamente 1500 km<sup>2</sup> en la que se incluyen dieciocho observatorios meteorológicos de los cuales trece funcionan en la actualidad. El número de lagunas que presentan las series de estos observatorios oscila entre 5 y 25. Las tablas 2 y 3 recogen los valores reales y los obtenidos con los completados. Una característica a destacar es que la gran mayoría de valores de precipitación media de las series incompletas no difiere mucho tras su completado; por supuesto, se exceptúan aquellas series que presentan pocos datos y se encuentran influidos por algún periodo seco o húmedo. Las diferencias entre las estaciones oscilan entre 243 mm de la estación de Elche CHS y 381 mm de Tibi Taleca. Los valores obtenidos presentan gran semejanza con los de estudios previos para otros periodos distintos (IGME-IRYDA, 1978a; Asencio, 1982; Bru, 1991), lo que no parece apuntar hacia cambios en los regímenes pluviométricos, lógicamente; los valores son prácticamente idénticos a los publicados en el Atlas Climático de la Comunidad Valenciana elaborado por la *Conselleria de Obres Públiques y Transports de la Generalitat Valenciana* (Pérez Cueva, 1994).

	Media	Mediana	$\sigma$	C.V.	Mínimo	Máximo
Aspe	298	280	119	40	126	631
Elche	242	224	96	40	107	547
Novelda	318	299	121	38	180	695
Pinoso	281	293	107	38	162	612
Tibi	381	371	125	33	246	700

**Tabla 4.** Coeficientes estadísticos de la precipitación de algunas de las estaciones más representativas ( $\sigma$ : desviación típica; C.V.: coeficiente de variación).

Además, he calculado los estadísticos de las estaciones que ofrecían los registros más completos, con el fin de efectuar algunas precisiones climáticas del área seleccionada (tabla 4). Las conclusiones obtenidas son las siguientes: los valores de la desviación típica suelen ser superiores a 100; los coeficientes de variación son bastante altos, los máximos se sitúan por encima del doble de la media, mientras que algunos mínimos son inferiores



a la mitad. Por último, las diferencias entre los años máximos y mínimos son siempre mayores que la media; todo ello indica una fuerte irregularidad pluviométrica interanual. Teniendo en cuenta que las estaciones están bien distribuidas dentro del área seleccionada, esta conclusión es característica de todo el sector. Este hecho es típico de climas mediterráneos y ha sido puesto de manifiesto anteriormente en otros lugares de la provincia y de la Cordillera Bética (Juárez, 1989; Aguiló, 1991).

### 3.1.1. Distribución temporal de las precipitaciones

Con el objeto de plasmar la distribución temporal de las precipitaciones durante el periodo seleccionado, he confeccionado los gráficos de precipitaciones anuales (figura 8) partir de los datos pluviométricos completados (tabla 2). En general, se puede observar un comportamiento similar en la mayoría de las estaciones, donde se alternan años con precipitaciones superiores e inferiores al módulo pluviométrico.

El periodo considerado presenta la época más lluviosa entre los años 1987/88-1989/90, alcanzándose los máximos en uno u otro año en función de la estación; no obstante, también a principios de la década de los años setenta hubo años húmedos, aunque siempre inferiores a los de la etapa señalada. Por el contrario, las mínimas cantidades fueron recogidas durante los años 1963/64, 1982/83 y 1983/84.

En lo concerniente a la distribución anual de las precipitaciones (figura 9 y tabla 5), éstas quedan repartidas de la siguiente forma: 34% en otoño, 22% en invierno, 29% en primavera y 15% en verano. Los meses más lluviosos son octubre y noviembre, si bien el máximo absoluto en la totalidad de los observatorios se produce durante el mes de octubre, con un 14% de la precipitación anual. Existe otro máximo relativo en primavera, que generalmente se produce en el mes de abril, aunque existen algunas estaciones como la de Pinoso y Monóvar el Esvarador, donde se traslada al mes de junio. En cuanto al mes con mayor precipitación absoluta fue septiembre de 1989, en el que se recogieron 281 mm en el observatorio de La Romana Agromet.

Respecto a las precipitaciones mínimas, como es de esperar, se registran en la época estival y más concretamente en los meses de julio y agosto. El mínimo absoluto se sitúa en el mes de julio con valores medios en torno a 6.5 mm. Significativo es el mínimo relativo invernal que se produce durante el mes de enero, como consecuencia de la ubicación del anticiclón sobre las Azores, cuya influencia ejerce, en esta parte de la Península Ibérica, una calma traducida en un descenso de las precipitaciones; este efecto se observa en la mayoría de los observatorios.



Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

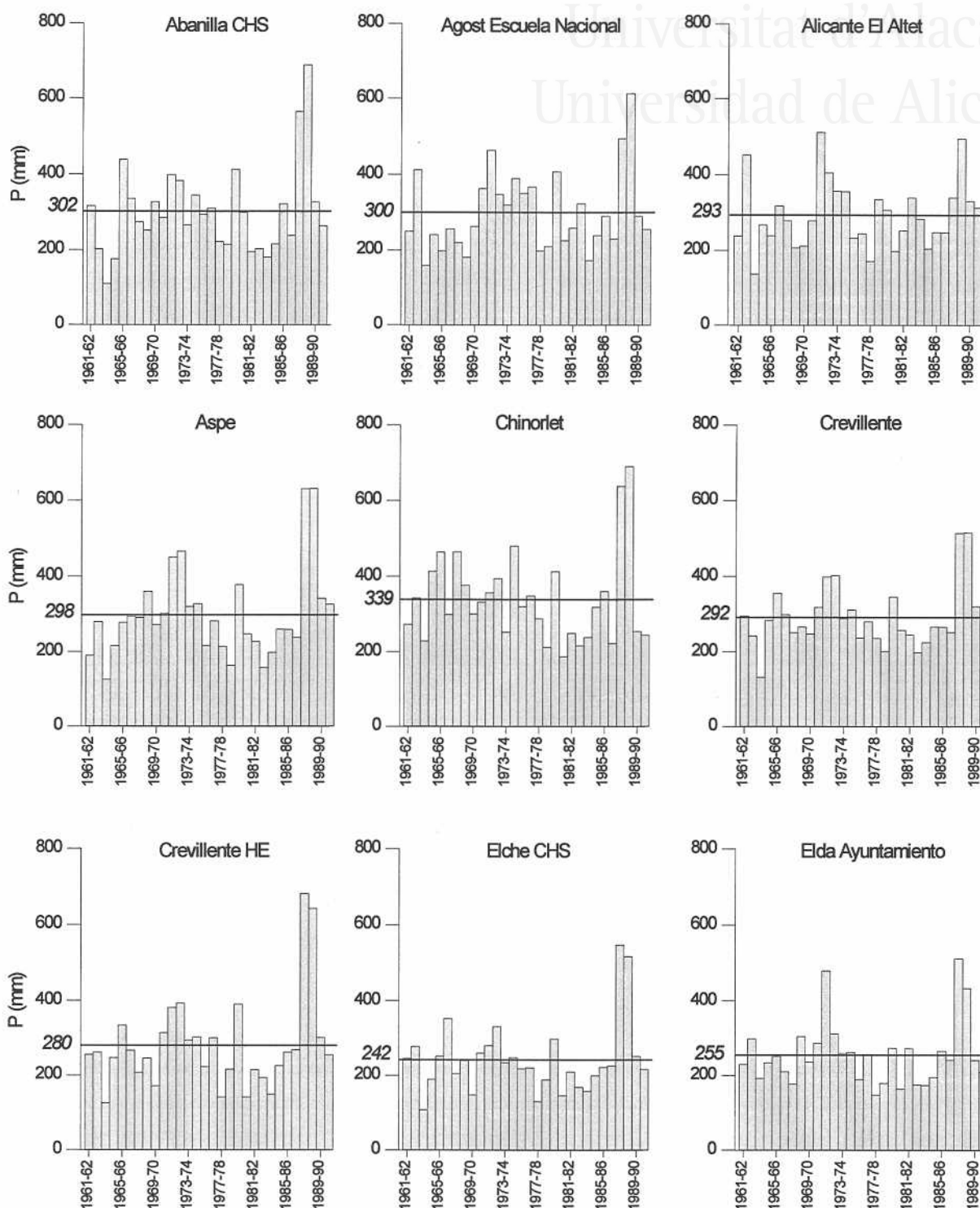


Figura 8a. Precipitaciones anuales (mm) del periodo 1961/62-1990/91 de las estaciones consideradas.

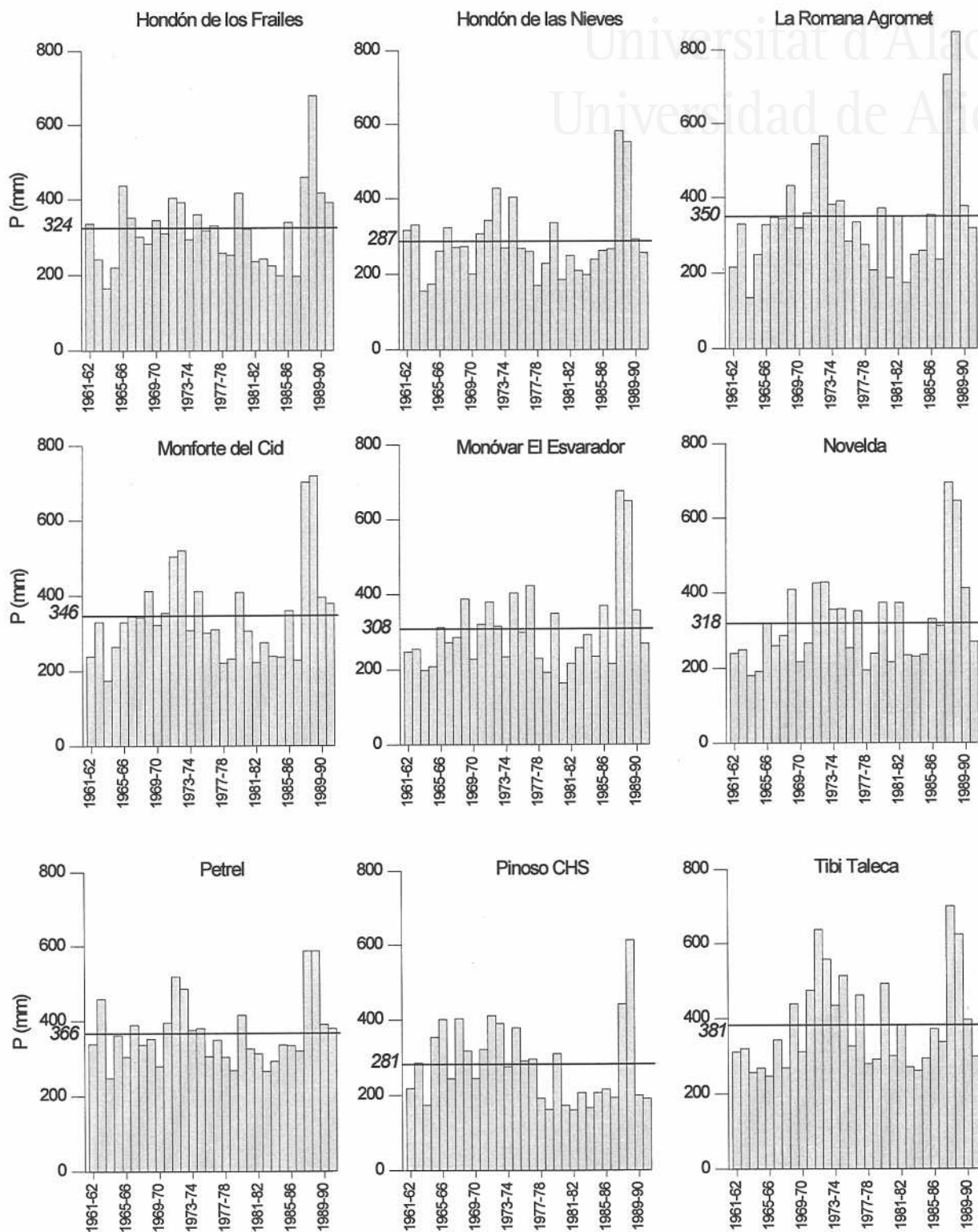


Figura 8b. Precipitaciones anuales (mm) del periodo 1961-62/1990-91 de las estaciones consideradas.

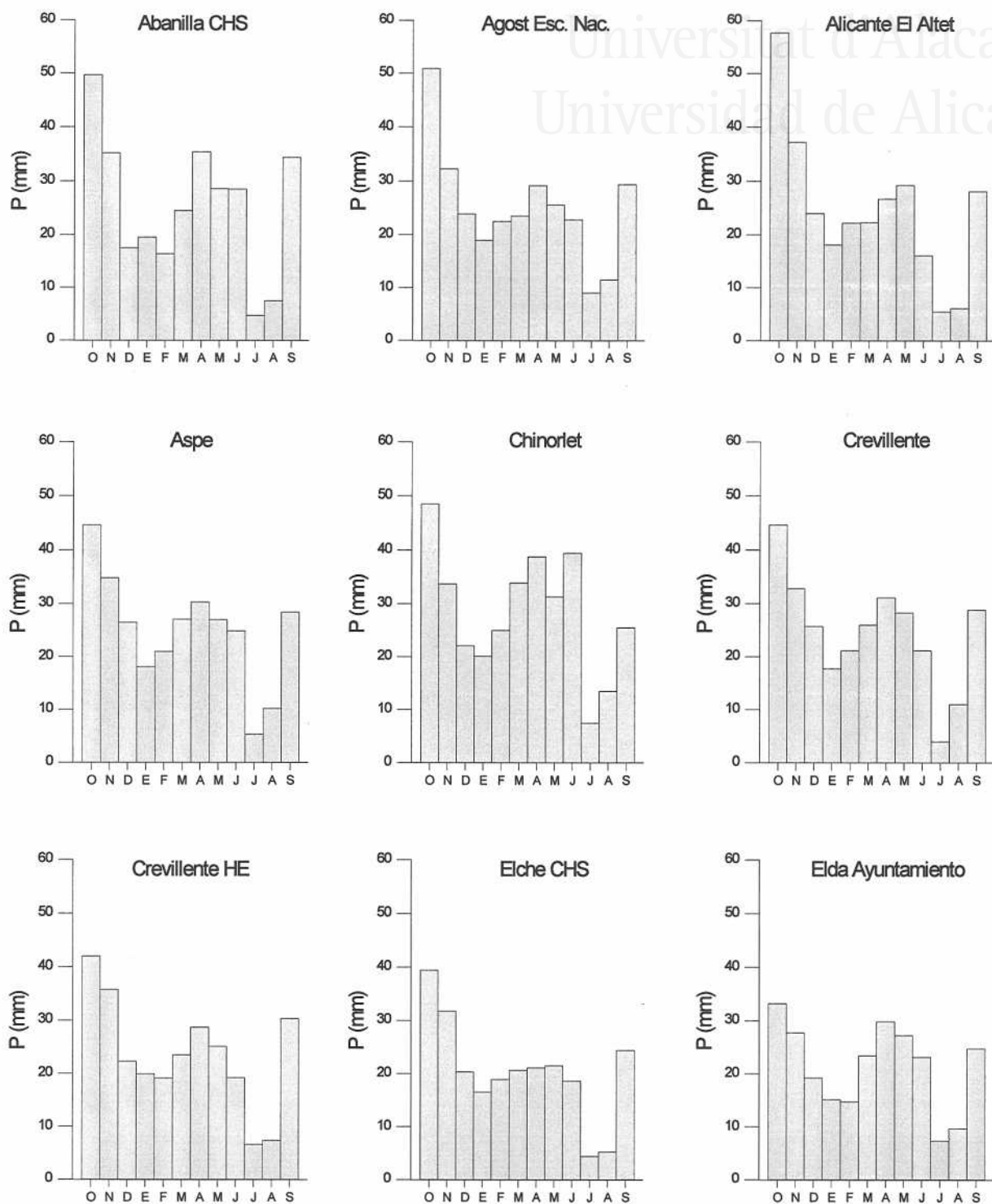


Figura 9a. Precipitaciones medias mensuales (mm) del periodo 1961/62-1990/91 de las estaciones consideradas.

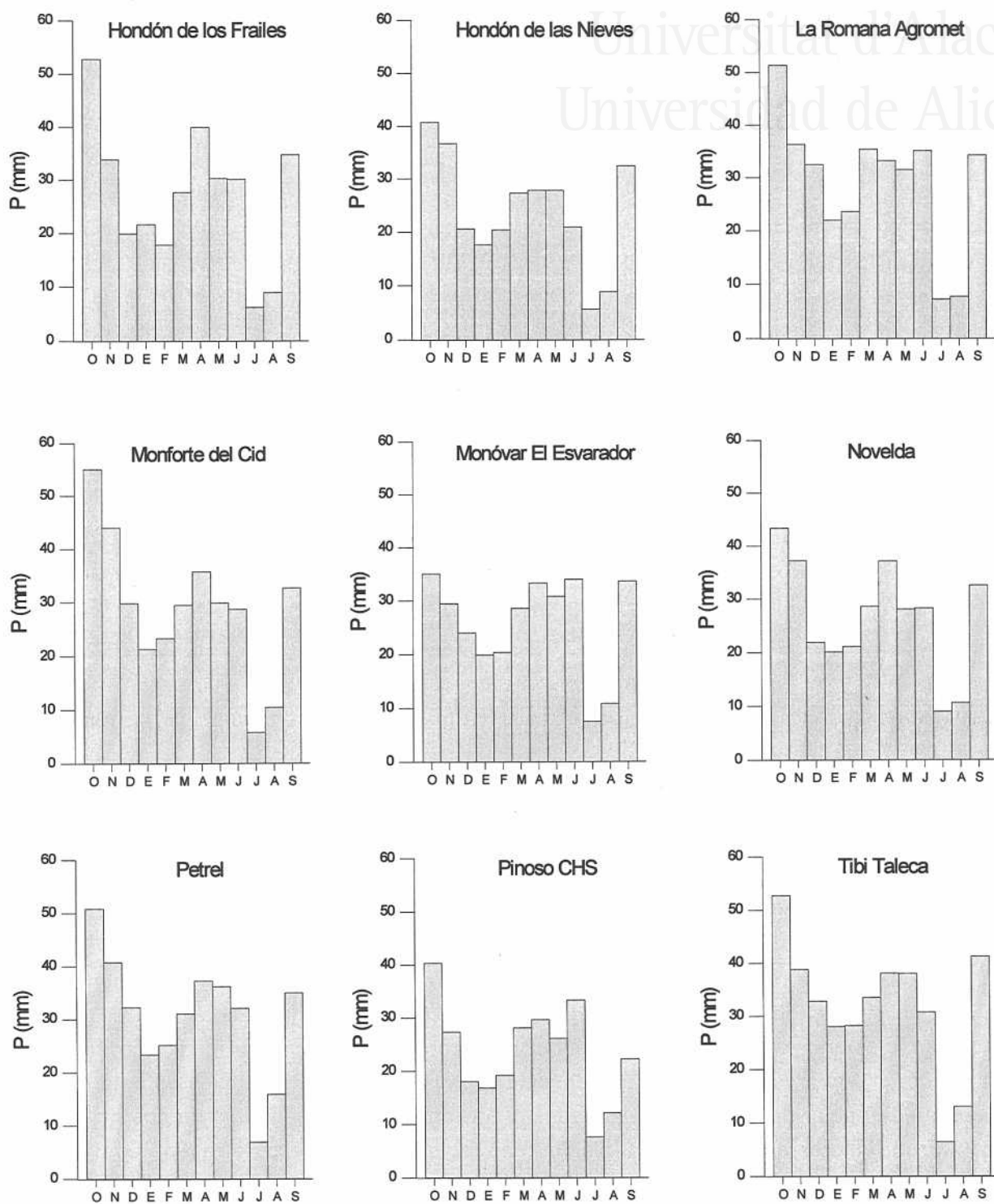


Figura 9b. Precipitaciones medias mensuales (mm) del periodo 1961/62-1990/91 de las estaciones consideradas.

## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Año
Abanilla	49.7	35.2	17.5	19.5	16.4	234.5	35.4	28.6	28.5	4.7	7.5	34.4	302
Agost	50.9	32.3	23.9	18.9	22.5	23.5	29.2	25.6	22.8	9.0	11.5	29.4	300
El Altet	57.7	37.2	24.0	18.1	22.2	22.3	26.7	29.3	16.1	5.5	6.1	28.1	293
Aspe	44.6	34.8	26.5	18.1	21.0	27.1	30.3	27.0	24.9	5.3	10.2	28.4	298
Chinorlet	48.5	33.7	22.1	20.1	25.0	3.9	387	31.3	39.4	7.4	13.4	25.5	339
Crevillente	44.6	32.8	25.7	17.7	21.1	26.0	31.1	28.3	21.1	3.9	11.0	28.8	292
Crevillente HE	42.0	35.8	22.3	19.9	19.1	23.5	28.7	25.1	19.2	66	7.4	30.3	280
Elche	39.4	31.7	20.3	16.5	18.9	20.6	21.1	21.5	18.6	4.4	5.2	24.4	243
Elda	33.2	27.7	19.2	15.1	14.7	23.4	29.8	27.2	23.1	7.3	9.7	24.7	255
H. Frailes	52.8	3.9	19.9	21.6	17.8	27.6	40.0	30.3	30.1	6.2	8.9	34.8	324
H. Nieves	40.8	36.7	20.6	17.6	20.4	27.3	27.8	27.8	20.9	5.6	8.8	32.4	287
La Romana	51.4	36.3	32.5	21.9	23.5	35.4	33.2	31.5	35.1	7.2	7.7	34.3	350
Monforte	35.0	29.5	24.0	19.9	20.4	28.6	33.3	30.8	34.0	7.5	10.8	33.6	307
Monóvar	55	44	29.8	21.3	23.3	29.5	35.7	29.9	28.7	5.8	10.4	32.6	346
Novelda	43.4	37.2	21.9	20.1	21.1	28.6	37.1	28.1	28.3	9.0	10.6	32.5	318
Petrel	50.8	40.7	32.2	23.3	25.1	31.0	37.2	36.1	32.0	6.9	15.8	34.9	366
Pinoso	40.3	27.3	18.0	16.8	19.2	28.1	29.6	26.1	33.3	7.6	12.1	22.2	281
Tibi Taleca	52.7	38.8	32.8	28.0	28.2	33.5	38.1	38.0	30.7	6.4	13.0	41.2	381

Tabla 5. Precipitaciones medias mensuales (mm) del periodo 1961/62-1990/91 de las estaciones consideradas.

Según datos del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (Pérez Cueva, 1994), el número de días de precipitación en los observatorios del área seleccionada oscila entre 53 en Alicante El Altet y 25.1 en Monforte del Cid Agromet, siendo abril, generalmente, el mes que presenta más días con lluvia. De éstos, el que registra mayor número medio de días con tormentas es también el observatorio de Alicante El Altet, con una media de 14.8 días/año, y el que menos Elche CHS con 0.2 días/año; esto se debe probablemente a la mayor calidad del observatorio Alicante El Altet. Respecto a las granizadas, Elche CHS es, con 0.1 días/año, el que soporta el menor número de granizadas, y Tibi Taleca, con 1.9 días/año, el que presenta mayor frecuencia. Las nevadas no son habituales en esta región, y se puede hablar de ausencia de nevadas en las estaciones ubicadas a menos de 400 m de altitud; valores entre 0.7 y 0.9 días/año se registran en aquellas otras situadas a más altitud y más alejadas de la costa.

Los valores de intensidad media en 24 horas han sido calculados según la relación

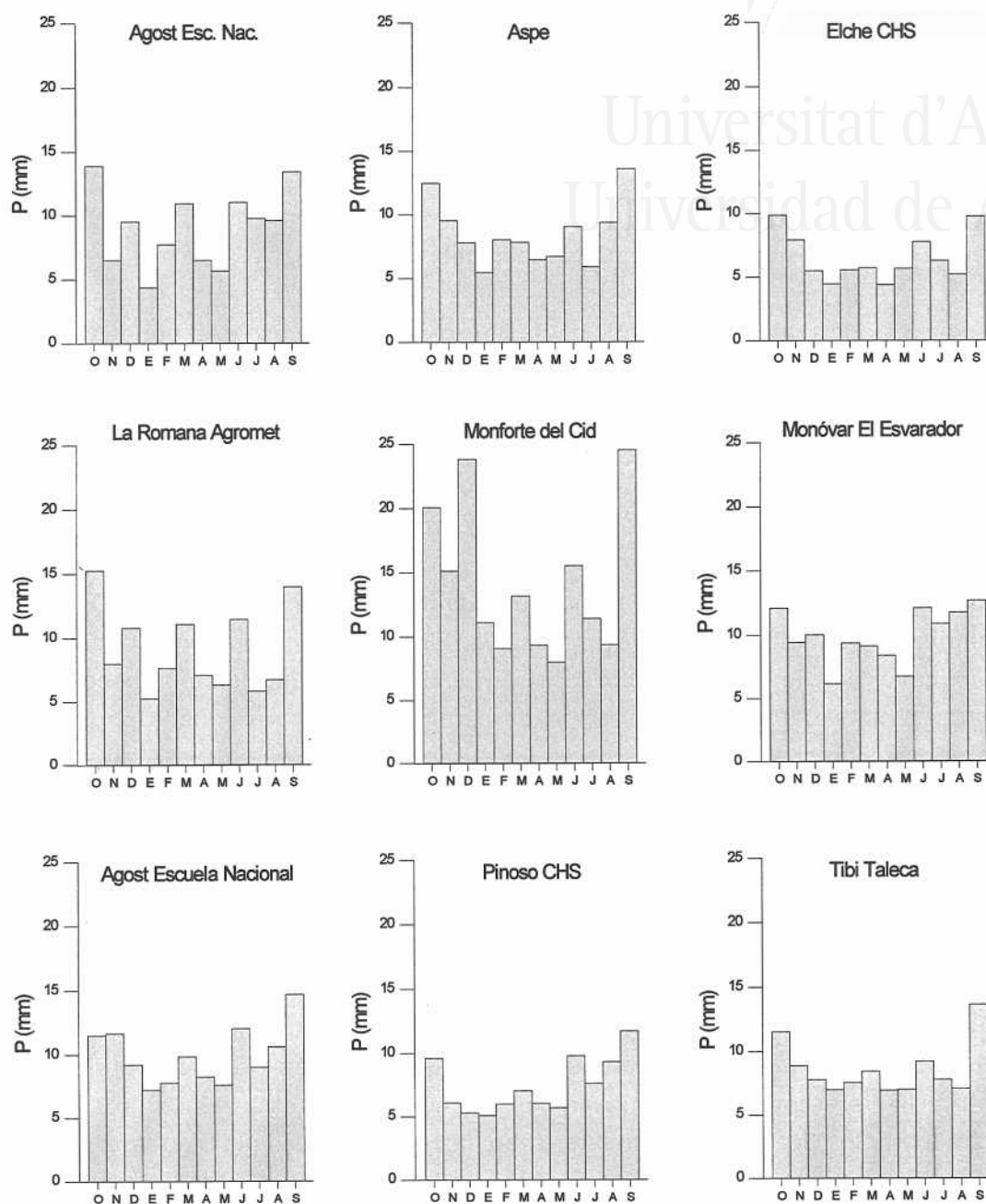


Figura 10. Intensidades medias de la precipitación (mm) en algunas de las estaciones más representativas (periodo 1961/62-1990/91).

entre a precipitación media anual y los días medios de precipitación al año. Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de las estaciones presentan cantidades en torno a 9 mm/día, con extremos comprendidos entre 5.5 y 25 mm/día (figura 10). Si bien, a primera vista podría intuirse un comportamiento bastante homogéneo, donde las precipitaciones se producen de forma suave, la realidad es que existe una fuerte irregularidad en la forma de llover, coexistiendo precipitaciones muy débiles con chubascos de gran intensidad. Prueba de ello, y a título anecdótico, destacan los 235 mm recogidos el 10 de octubre de 1982



en la estación de Alicante El Altet, los 130 mm del 3 de noviembre de 1987 en Novelda y los 149 y 126 mm medidos en la Romana Agromet y Aspe respectivamente el 4 de septiembre de 1989. La figura 10 representa la distribución de la intensidad a nivel mensual; en ella se aprecia como habitualmente durante los meses de septiembre a diciembre se producen las lluvias de mayor virulencia.

### 3.1.2. Distribución espacial de las precipitaciones

Para poder tener una visión de la distribución espacial que ofrecen las precipitaciones en este sector y llegar a establecer cuáles son las estaciones que de forma directa influyen sobre el perímetro de los acuíferos se han confeccionado los siguientes mapas: isoyetas medias del periodo 1961/62-1990/91, año típico húmedo (1988/89) y año típico seco (1963/64). El trazado de las isoyetas ha sido efectuado teniendo en cuenta los factores del clima regional y siguiendo ciertos criterios elementales (Rodríguez, 1994; *in* Fernández García, 1995). A pesar de que normalmente las isoyetas anuales se tracen a intervalos de 100 mm, en este trabajo he preferido realizarlas a intervalos de 50 mm debido a la relativa uniformidad de las precipitaciones. Ello implica que, aunque aparentemente ofrezcan mayor detalle, no hay que olvidar que la falta de información en muchos sectores, junto a la subjetividad en la elaboración de este tipo de mapas, puede originar ciertas imprecisiones. El mapa de isoyetas para el año seco también se ha realizado siguiendo la misma pauta, mientras que en el del año húmedo, al existir mayor dispersión de los valores, las isoyetas han sido trazadas a intervalos de 100 mm.

A grandes rasgos, la característica principal que se deduce del mapa de isoyetas medias (figura 11) es la marcada influencia de las barreras orográficas sobre la precipitación y, en menor medida, un aumento con la distancia al mar, situado a escasa distancia al E-SE del área. Estos mismos aspectos fueron puestos de manifiesto en el N de la provincia de Alicante y S de Valencia por Pulido-Bosch (1979). La Sierra de Crevillente, primer relieve importante hacia el interior, registra precipitaciones superiores a las de su entorno que llegan a superar los 300 mm. Igualmente, sobre las elevaciones de la Sierra del Cid y Sierra del Reclot, de altitudes similares aunque ubicadas más lejos de la costa, se emplazan los máximos del área seleccionada, con valores que sobrepasan los 350 mm. Sin embargo, se desconoce el efecto real que originan estos relieves superiores a 1000 m sobre las precipitaciones, puesto que la totalidad de los observatorios meteorológicos se encuentran por debajo de los 600 m de altitud. La carencia de observatorios de altitud en este sector y en la práctica totalidad de la provincia de Alicante es un hecho constatable, que ha sido puesto de manifiesto anteriormente (Olcina, 1994). En cuanto a las precipitaciones mínimas, se producen en las inmediaciones de las localidades de Elche y Elda, ambas situadas en el curso del Río Vinalopó, por lo que de forma general, el Valle del Vinalopó actúa como una especie de eje, donde se producen las precipitaciones más bajas.

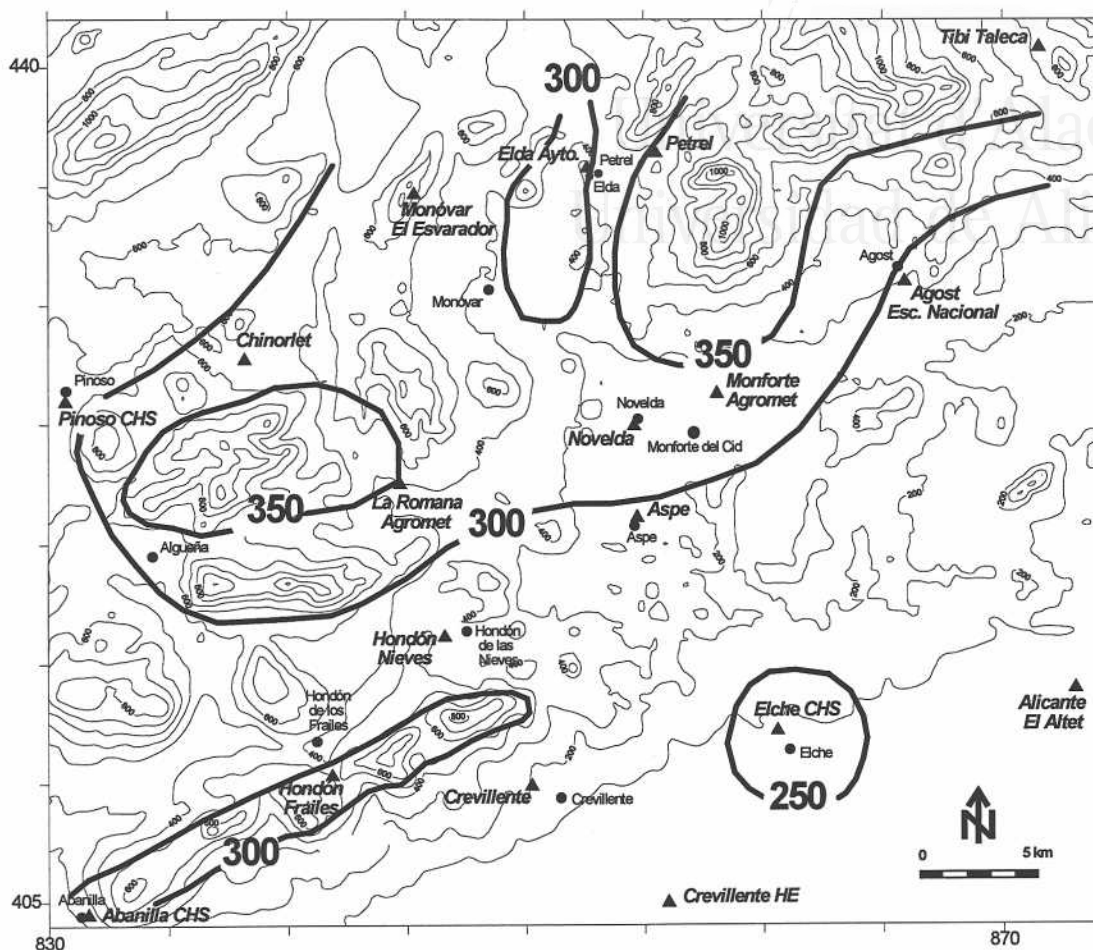


Figura 11. Mapa de curvas isoyetas medias (mm) para el periodo 1961-62/1990-91.

Puesto que en el mapa se observa un aumento de la precipitación en función de la altitud, he intentado establecer la relación precipitación-altitud (figura 12). Sin embargo, la correlación existente entre ambas variables es muy baja ( $r=0.53$ ), por lo que existe una gran dispersión de los puntos. Una posible interpretación de este hecho es que la variable localización geográfica tiene mayor peso que la variable altitud, en relación a la cantidad de lluvia caída; por ello, la primera enmascara la segunda y no permite

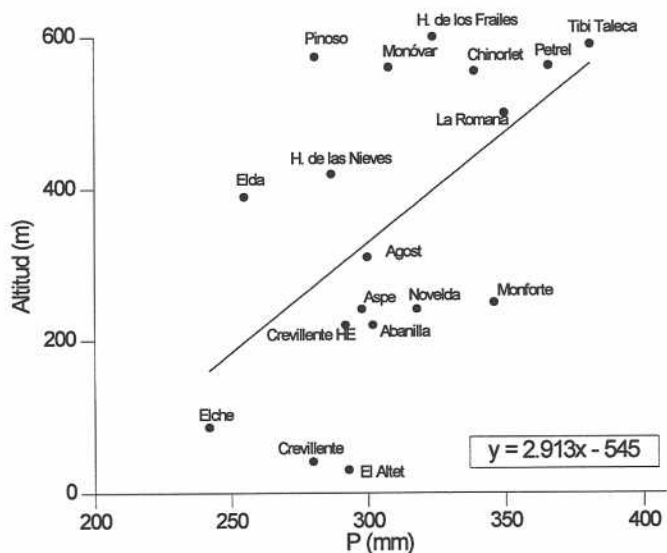


Figura 12. Relación pluviometría-altitud para la estaciones del área de estudio, recta de regresión y ecuación ajustada.

establecer un gradiente altitudinal.

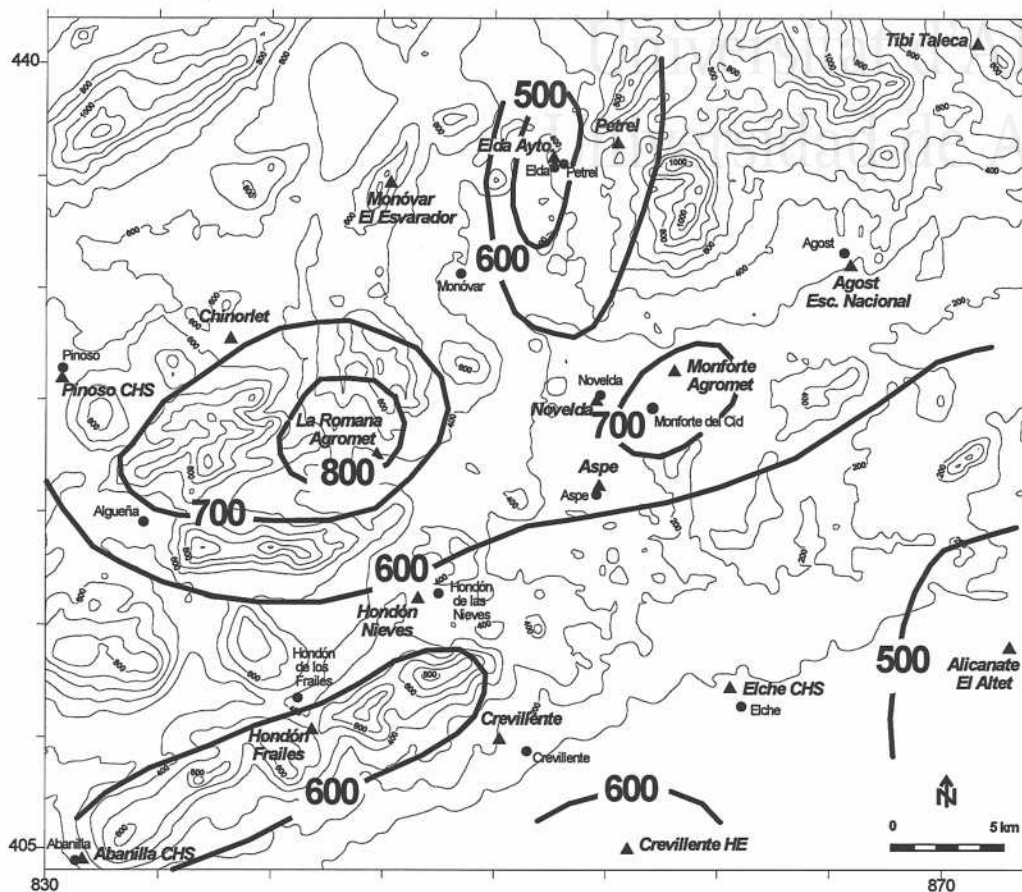


Figura 13. Mapa de curvas isoyetas medias (mm) del año más húmedo 1988/89 para el periodo 1961/62-1990/91.

El año 1988/89 ha sido seleccionado como año tipo húmedo, aunque no lo es en todas las estaciones del área. La distribución de las precipitaciones (figura 13) parece tener una componente local apreciable; no obstante, el efecto orográfico vuelve a tener cierta importancia. El observatorio que registró el mayor volumen de lluvia fue La Romana Agromet que totalizó 849 mm, mientras que la mínima cantidad se produjo en las inmediaciones de Alicante El Altet con 495 mm, lo que supone una diferencia entre las precipitaciones más altas y más bajas superior a 350 mm. El valor de Elda Ayuntamiento, que es más bajo todavía, corresponde a un dato completado de la serie.

El año seco 1963/64 (figura 14) presenta cierto gradiente pluviométrico, aumentando la precipitación hacia el interior, mientras que la influencia altitudinal parece menor. Las menores cuantías de precipitación se recogieron en las inmediaciones de la localidad de Elche, donde no se llegaron a sobrepasar los 110 mm.

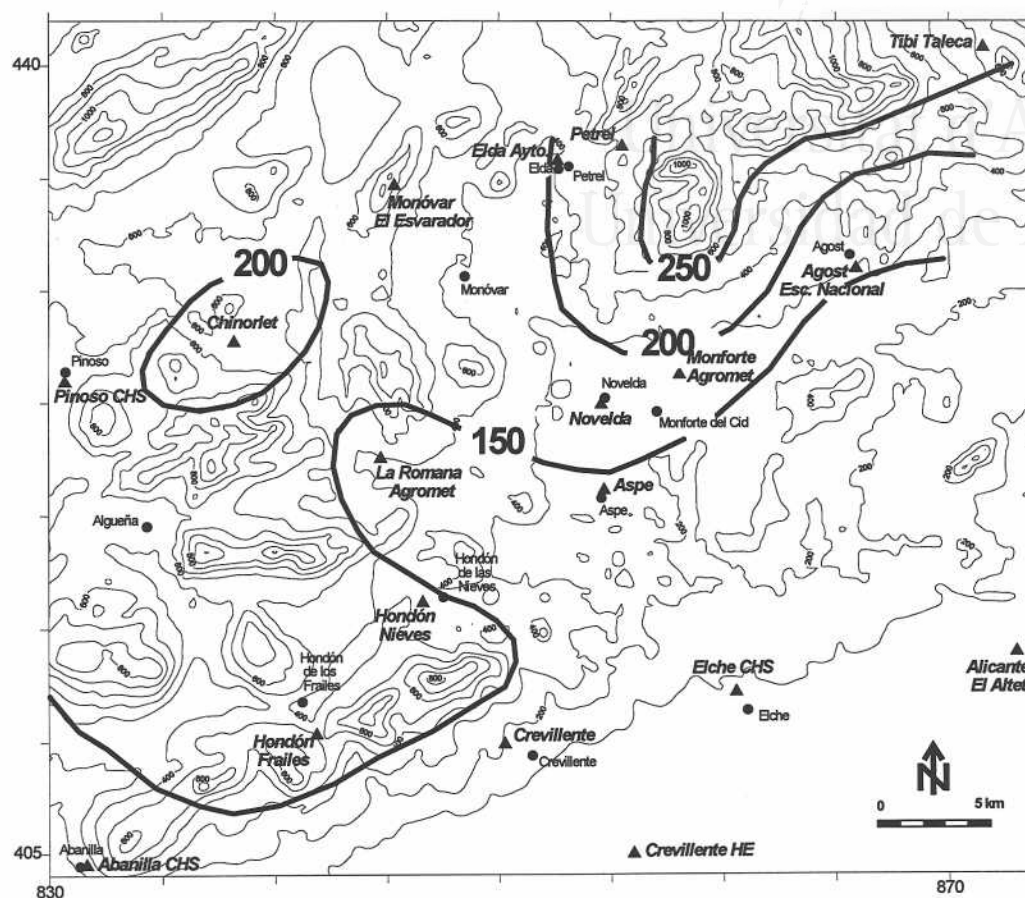


Figura 14. Mapa de curvas isoyetas medias (mm) del año más seco 1963/64 para el periodo 1961/62-1990/91.

### 3.1.3. Cuantificación de las precipitaciones recibidas

Basándome en los mapas de isoyetas elaborados previamente he tratado de estimar la precipitación que reciben los acuíferos estudiados; con ello tan sólo pretendo obtener valores aproximados, ya que, como expliqué anteriormente, la subjetividad en la confección de las isoyetas influye notablemente en los cálculos.

- En el Acuífero de Crevillente, puesto que su perímetro engloba varios relieves de cierta entidad separados por áreas más deprimidas, he establecido una diferenciación en 5 sectores coincidiendo con la morfología del terreno (figura 15). Éstos son, de N a S, sierras del Reclot-Pelada (A), depresión Algueña-La Romana (B), sierras de Algayat-Rollo (C), depresión Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes (D) y Sierra de Crevillente (E). A cada uno le he asignado un valor de precipitación media estimado a partir de los mapas de isoyetas. Tras la determinación de su extensión mediante el planimetrado de un mapa a escala 1:50000, he realizado los cálculos de precipitación recibida por cada sector (tabla 6), siendo la sumatoria de ellos la precipitación total media que recibe el área que comprende el acuífero.

SECTOR	SUP. (km <sup>2</sup> )	AÑO MEDIO		AÑO HÚMEDO (1988-89)		AÑO SECO (1963-64)	
		P (mm)	V (hm <sup>3</sup> )	P (mm)	V (hm <sup>3</sup> )	P (mm)	V (hm <sup>3</sup> )A
A	21	360	8	750	16	165	3.5
B	16	340	5	700	11	165	2.5
C	15	320	5	650	10	165	2.5
D	70	290	20	550	39	165	11.5
E	18	320	6	650	12	165	3
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>		<b>44</b>		<b>88</b>		<b>23</b>

Tabla 6. Volúmenes de precipitación caída en los sectores establecidos en el Acuífero de Crevillente.

El volumen medio anual de agua que cae sobre el perímetro del Acuífero de Crevillente se estima en 44 hm<sup>3</sup>. El año húmedo seleccionado aporta justo el doble del año medio, mientras que el año seco algo más de la mitad. La suma de los volúmenes medios de lluvia en los sectores de Crevillente y depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes presenta gran similitud con los obtenidos en otros trabajos para periodos distintos en esta misma superficie (IGME-Dip. Alicante, 1982).

- El Acuífero del Cid, con una superficie aproximada de 33 km<sup>2</sup> y con precipitaciones en torno a 380 mm, recibe 12.5 hm<sup>3</sup> en un año medio. Para el año húmedo (1988/89) la precipitación se sitúa en 650 mm, por lo que las cantidades ascienden a 21.4 hm<sup>3</sup>; por el contrario, para el año seco (1963/64), con precipitaciones medias aproximadas de 250 mm, tan sólo se alcanzan 8.3 hm<sup>3</sup>.

### 3.2. ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

He obtenido los datos de precipitaciones caídas sobre este relieve gracias a la disponibilidad de una estación pluviométrica privada ubicada en la parte N de la sierra. La elección de esta estación exclusivamente queda justificada al tratarse de la única dentro del área de estudio, por ser la que se encuentra a mayor cota de todas cuantas están

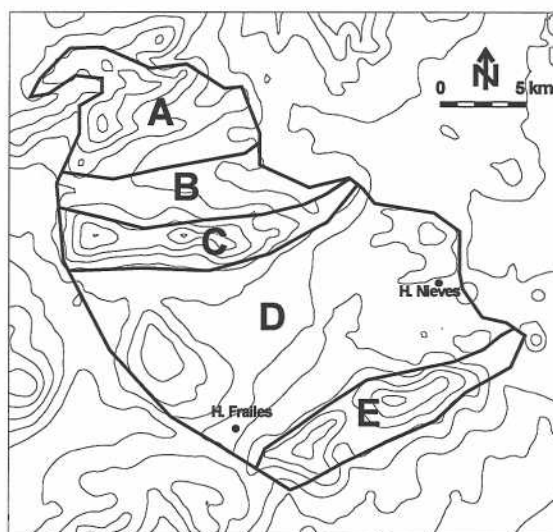


Figura 15. Sectores diferenciados para la estimación de la precipitación caída sobre el Acuífero de Crevillente.



próximas al relieve -concretamente está a 655 m de altitud- y por carecer de lagunas desde el momento en que comenzó a funcionar. En los últimos años se ha emplazado una nueva estación pluviométrica en la localidad de Busot, pero la he desestimado debido al corto periodo de funcionamiento (escasamente 2 años).

Hay que tener en cuenta que el Cabeço d'Or es una elevación importante dentro del entorno que le rodea; su cumbre sobrepasa los 1100 m, por tanto no hay que descartar que la cantidad de lluvia caída sea ligeramente superior, debido a la existencia del gradiente pseudoadiabático que origina la altura y que provoca mayor cantidad de humedad relativa en las partes altas, aumentando la posibilidad de llover. No obstante, a nivel regional, como se ha visto anteriormente no ha sido posible establecer su valor.

He calculado la precipitación media para el periodo 1977/78-1993/94. El valor alcanzado ha sido de 412 mm/año. El completado de la serie del periodo 1960/61-1993/94 con la estación de Relleu, situada a similar altitud y a pocos kilómetros al N, ofrece los coeficientes de correlación más altos de su entorno ( $r=0.89$ ) y sitúa la media en 433 mm/año. Debido a la diferencia entre ambas cantidades y, a que el número de años utilizado previamente es inferior a treinta años, he procedido al cálculo del número de años mínimo para obtener un valor de precipitación media que sea representativo.

Desde el punto de vista estadístico, la base teórica para que el número de años sea representativo depende de la desviación típica como medida de la dispersión, y se basa en que las series se distribuyen según una ley normal o tienden a ella. De acuerdo con las características de la distribución normal, el número de años necesarios para que la media calculada se sitúe en un intervalo con un nivel de confianza del 95 % es de cincuenta y dos años. Dada la imposibilidad de completar esta cantidad de años mediante las estaciones que presentan alto coeficiente de correlación, he preferido utilizar la serie original y, por tanto, mantener el valor de 412 mm/año como la precipitación media caída en la Sierra del Cabeço d'Or.

De los diecisiete años que ha funcionado esta estación (tabla 7), 1982/83 con 176 mm corresponde el año más seco, mientras que el más húmedo fue 1987/88, con 669 mm; la

AÑO	P(mm)	AÑO	P(mm)
1977/78	235	1986/87	460
1978/79	355	1987/88	669
1979/80	547	1988/89	639
1980/81	379	1989/90	561
1981/82	357	1990/91	367
1982/83	176	1991/92	386
1983/84	404	1992/93	286
1984/85	345	1993/94	257
1985/86	454	<b>MEDIA</b>	<b>412</b>

Tabla 7. Precipitaciones anuales originales del observatorio Casa Velón para el periodo 1977/78-1990/91.



diferencia entre ambos es casi de 500 mm lo que da una idea de la irregularidad pluviométrica interanual, puesto que, aunque se trata de la estación más septentrional de cuantas se han utilizado en el presente estudio, aún se encuentra dentro de la parte seca de la provincia.

En la tabla 8 se recoge la distribución anual de la lluvia; más del 80 % de la precipitación caída se produce entre los meses de octubre y mayo, ambos inclusive. A diferencia de otras estaciones cercanas, como Relleu y Jijona, que presentan el máximo absoluto durante el mes de octubre, la estación Masía Velón lo muestra en el mes de noviembre, con casi el 14% de la precipitación anual. Además, existe otro máximo relativo durante la estación primaveral, concretamente en el mes de mayo. En cuanto a las precipitaciones máximas absolutas, éstas se originan generalmente durante el otoño; las más importantes se produjeron en noviembre de 1987 cuando se alcanzaron 243 mm. No obstante, también durante meses como enero e incluso diciembre y febrero pueden llegar a registrarse cantidades significativas.

El periodo estival se caracteriza por presentar las mínimas precipitaciones, encontrándose por debajo del 3% de la lluvia media anual. El mínimo absoluto, que no alcanza el valor medio de 5 mm, se sitúa en el mes de julio. En resumen, hay que tener en cuenta que los estadísticos que recoge la tabla 8 indican unas variaciones importantes de las precipitaciones; ello muestra la poca significación que suponen los valores de precipitación media.

Mes	Media (mm)	Mediana	$\sigma$	C.V.	Mínimo	Máximo
Enero	43.2	30.5	50	116	0	194.5
Febrero	42.2	32	45	105	0	146
Marzo	25.5	16	32	127	0	99
Abril	42.8	29	41	97	0	129
Mayo	47.4	51	31	66	0	103
Junio	22.8	0	34	147	0	124
Julio	4.6	0	10	238	0	38
Agosto	6.5	0	12	194	0	38
Septiembre	40.8	12	57	140	0	166
Octubre	43.3	32	32	74	0	102.5
Noviembre	55.7	43	56	100	0	243
Diciembre	29.6	24	37	125	0	145

**Tabla 8.** Estadísticos de la precipitación mensual de la estación de Casa Velón para el periodo 1977/78-1993/94.

La cantidad de agua que se produce sobre los 11 km<sup>2</sup> de superficie permable de

este acuífero se sitúan en torno a 4.5 hm<sup>3</sup>. Por su parte, el año más húmedo fue 1987/88, que con 669 mm originó 7.4 hm<sup>3</sup>, mientras que el año más seco (1982/83), con 176 mm, descargó sobre el sistema 1.9 hm<sup>3</sup>. Las lluvias medias aquí expuestas difieren considerablemente de las calculadas en anteriores trabajos, tanto por exceso como por defecto (IGME-Dip. Alicante, 1982; IGME, 1987; Sánchez, 1991). La explicación se debe a que en anteriores estudios las series climáticas correspondían a otros observatorios externos a la Sierra del Cabeçó d'Or, así como a variaciones del perímetro del acuífero.

#### 4. TEMPERATURA

Las temperaturas medias de las estaciones necesarias para establecer los aspectos térmicos de las áreas que abarca este estudio han sido tomadas, en su mayor parte, del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (Pérez Cueva, 1994); se trata, por tanto, de datos ya elaborados, los cuales se han calculado efectuando la media de las diarias, que a su vez se obtienen de la media entre el valor máximo y mínimo registrado en un día. Las series que presentaban lagunas se completaron con las que ofrecían elevado índice de correlación. En el presente estudio he respetado íntegramente tales valores.

El procedimiento seguido para establecer las condiciones térmicas del entorno donde se sitúan los acuíferos ha sido similar al utilizado para las precipitaciones, es decir he tomado el mismo área que comprende los acuíferos de Crevillente y Cid, mientras que el Acuífero del Cabeçó d'Or ha sido tratado independientemente. Debido a la mayor dificultad para realizar las mediciones térmicas, los centros de control termométricos se encuentran en menor número; en total he utilizado nueve estaciones (tabla 1).

##### 4.1. ACUÍFEROS DE CREVILLENTE Y DEL CID

###### 4.1.1. Distribución temporal

Las temperaturas medias mensuales y anual, para el periodo 196/621-1990/91, se presentan en la tabla 9; con ellas y los datos de las temperaturas medias de las máximas, media de las mínimas, máximas absolutas y mínimas absolutas he elaborado los diagramas termométricos (figura 16) que sirven para establecer las condiciones térmicas del sector.

En general, el área presenta veranos no demasiado calurosos con temperaturas medias comprendidas entre 24°C y 28.5°C, e inviernos suaves cuyos valores de temperatura se sitúan entre 6°C y 12°C. Las diferencias de la época estival respecto a la fría oscilan entre los 14.4° C de Agust Escuela Nacional y los 17.1° C de Pinoso CHS. Las temperaturas máximas medias se registran en los meses de verano, con el máximo absoluto en el mes de julio, excepto en la estación de Agust Escuela Nacional, que se sitúa en

## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

agosto. Todas las estaciones sobrepasan los 30°C, siendo la estación de Monforte del Cid Agromet la que alcanza el valor más alto, con 34.5°C. Las mínimas medias se obtienen en el mes de enero, a excepción de la estación de Monóvar el Esvarador que se produce en diciembre; éstas varían entre los 2.1°C de Monóvar el Esvarador y los 8.6°C de Elche CHS. Las temperaturas inferiores se registran en aquellas estaciones más alejadas de la costa.

	Agost	Altet	Elche	Romana	Monforte	Monóvar	Novelda	Pinoso
Enero	11.8	11.6	12.5	8.9	11.6	6.6	10.7	7.7
Febrero	12.6	12.3	13.8	10	12.5	8.1	11.5	9.6
Marzo	14.1	13.6	15.8	11.4	13.9	9.9	13.4	11.6
Abril	15.8	15.5	18.1	13.6	16	12	15.1	14.3
Mayo	19	18.4	21.6	16.9	19.2	15.7	17.9	18.1
Junio	22.4	22.1	25.8	20.9	23.3	19.7	22	21.7
Julio	25.6	25.1	28.8	24.3	26.6	23.3	25.5	24.8
Agosto	26.2	25.7	28.5	24.1	26.6	23.2	25.4	24.3
Septiembre	23.7	23.6	25.9	21.4	24	18.7	22.7	21
Octubre	20	19.5	21.1	16.7	19.5	14.1	18.4	16.3
Noviembre	15.2	15.1	16.1	12.1	14.8	10	13.9	11.6
Diciembre	12.3	12.2	12.9	9.4	12.1	6.8	10.8	8.4
<b>AÑO</b>	<b>18.2</b>	<b>17.9</b>	<b>20.1</b>	<b>15.8</b>	<b>18.4</b>	<b>14</b>	<b>17.3</b>	<b>15.9</b>

**Tabla 9.** Temperaturas medias del aire (°C) mensuales y anuales de las estaciones que comprenden los acuíferos de Crevillente y Cid para el periodo 1961/62-1990/91.

La figura 16 también incluye las temperaturas absolutas del periodo estudiado; en ella se puede observar cómo las máximas extremas se producen durante los meses de julio y agosto y suelen superar los 40°C; ocasionalmente se pueden llegar a alcanzar 46°C, tal y como muestra el diagrama de Pinoso CHS. En cuanto a las mínimas absolutas, se suelen producir durante enero, y se han alcanzado valores de hasta -12°C también en Pinoso CHS. No obstante, en la mayor parte de las estaciones, los mínimos extremos se sitúan en torno a los -5°C. Hay que destacar que la estación de Elche CHS durante los treinta años de registro no presentó ningún valor por debajo de 0°C.

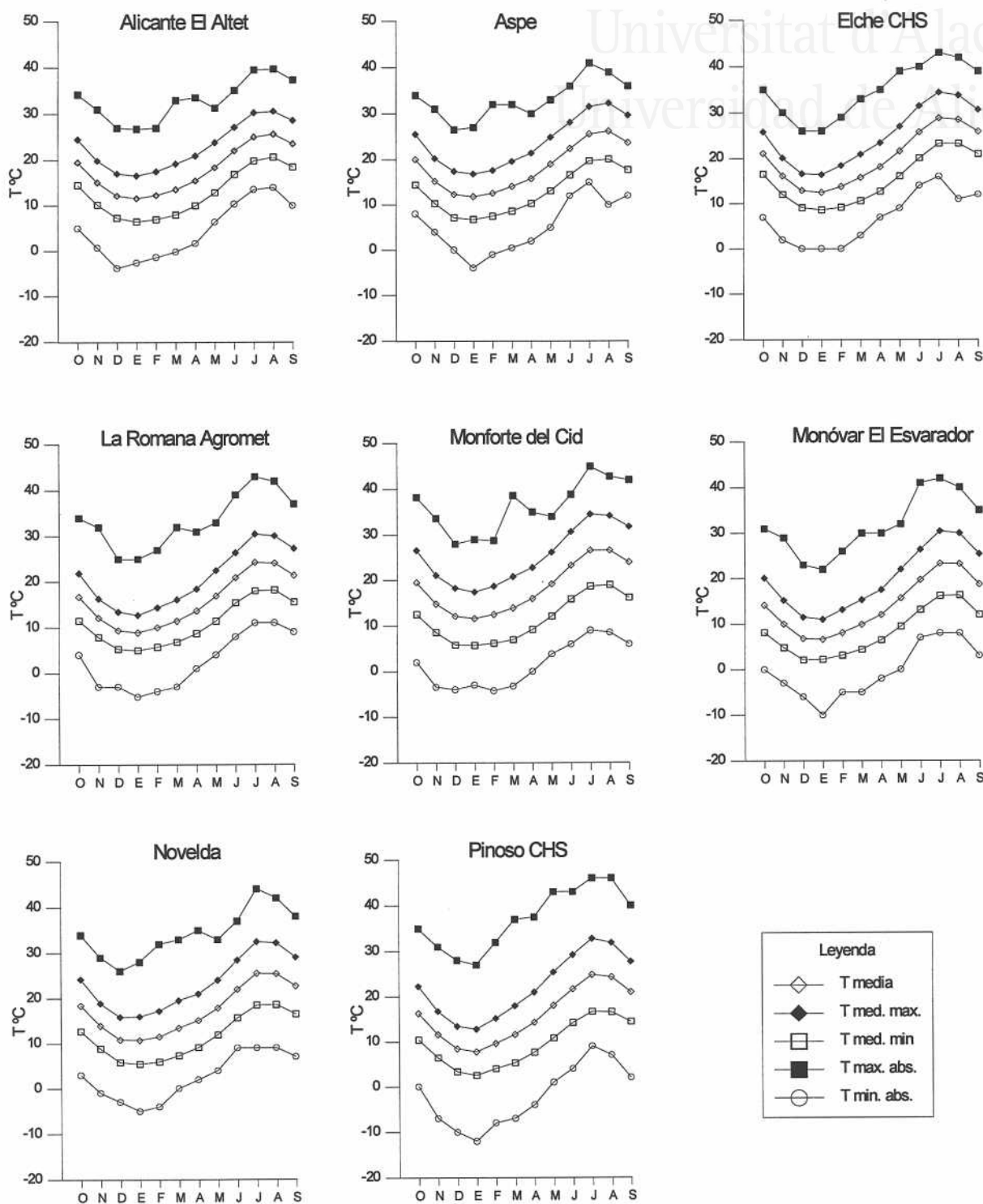


Figura 16. Regímenes térmicos para el periodo 1961/62-1990/91 de las principales estaciones del área de estudio.

#### 4.1.2. Distribución espacial

Para visualizar de forma inmediata la distribución espacial de las temperaturas he realizado los mapas de isotermas medias anual (figura 17), así como los de los meses de enero (figura 18) y julio (figura 19), tal como recomienda Fernández García (1995) para latitudes que ofrecen regímenes térmicos contrastados. Estos mapas son orientativos puesto que, además de la subjetividad, el número de estaciones termométricas es reducido y en el paisaje se alternan valles y montañas. En este sentido, la ubicación de las estaciones es fuertemente condicionante, ya que su emplazamiento, en la ladera de solana o de umbría, puede provocar variaciones térmicas significativas que inducen a errores.

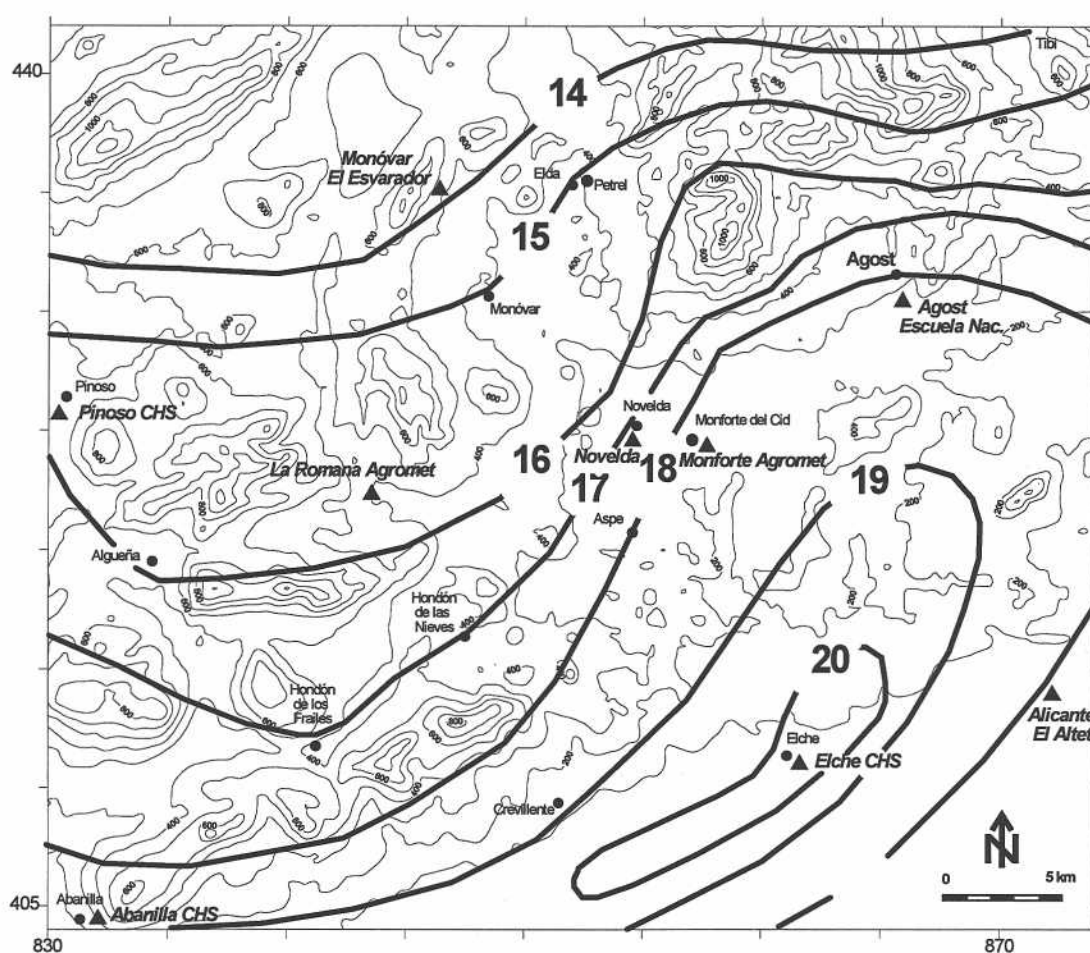


Figura 17. Mapa de isotermas medias (°C) para el periodo 1961/62-1990/91.

El mapa de isotermas medias muestra un máximo en el entorno de Elche, donde se alcanzan temperaturas por encima de 20°C, descendiendo a medida que nos alejamos. El Acuífero de Crevillente se encuentra entre las isotermas medias anuales de 18°C y 15°C, con temperaturas descendentes hacia el N, o lo que es lo mismo, hacia el interior; este



gradiente descendente hacia sectores septentrionales permanece tanto en la estación cálida como en la fría, tal y como se refleja en los mapas de isotermas medias de enero y julio. Durante el mes de enero la temperatura media está comprendida entre 8°C en los alrededores de la Sierra del Reclot y casi 11°C en la Sierra de Crevillente; durante el mes de julio la temperatura varía desde algo más de 24°C, en la parte septentrional, a 27°C en la meridional.

En relación a la Sierra del Cid, queda situada entre las isotermas medias anuales de 16°C y 18°C. Durante el mes de enero las temperaturas medias oscilan de 8°C a 10°C, mientras que en julio lo hacen entre 24°C y 26°C. También en este caso las menores temperaturas se sitúan en la parte septentrional, coincidiendo con la parte de umbría, tanto en la época estival como en la invernal.

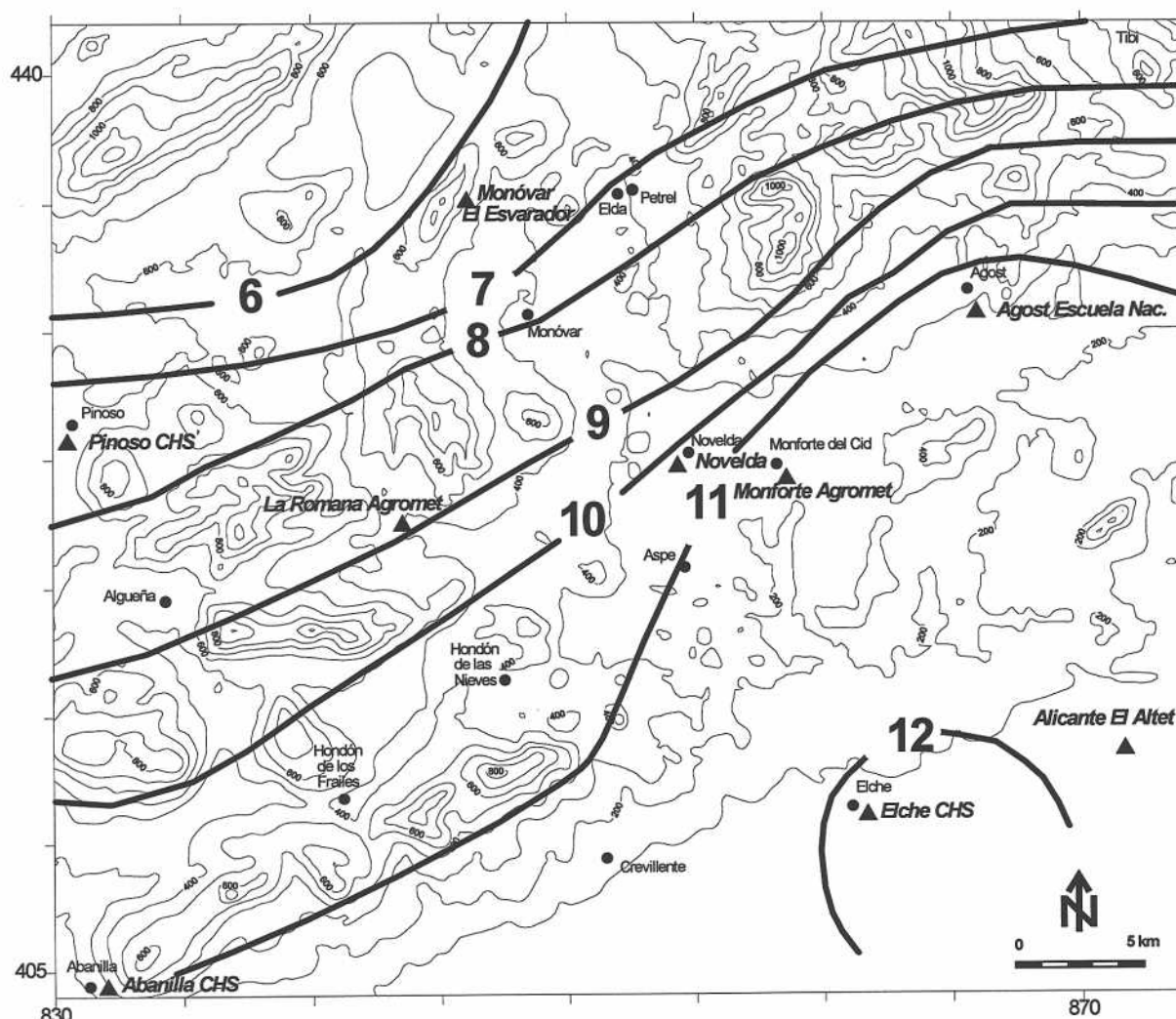


Figura 18. Mapa de isotermas medias (°C) para el mes de enero del periodo 1961/62-1990/91.



Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

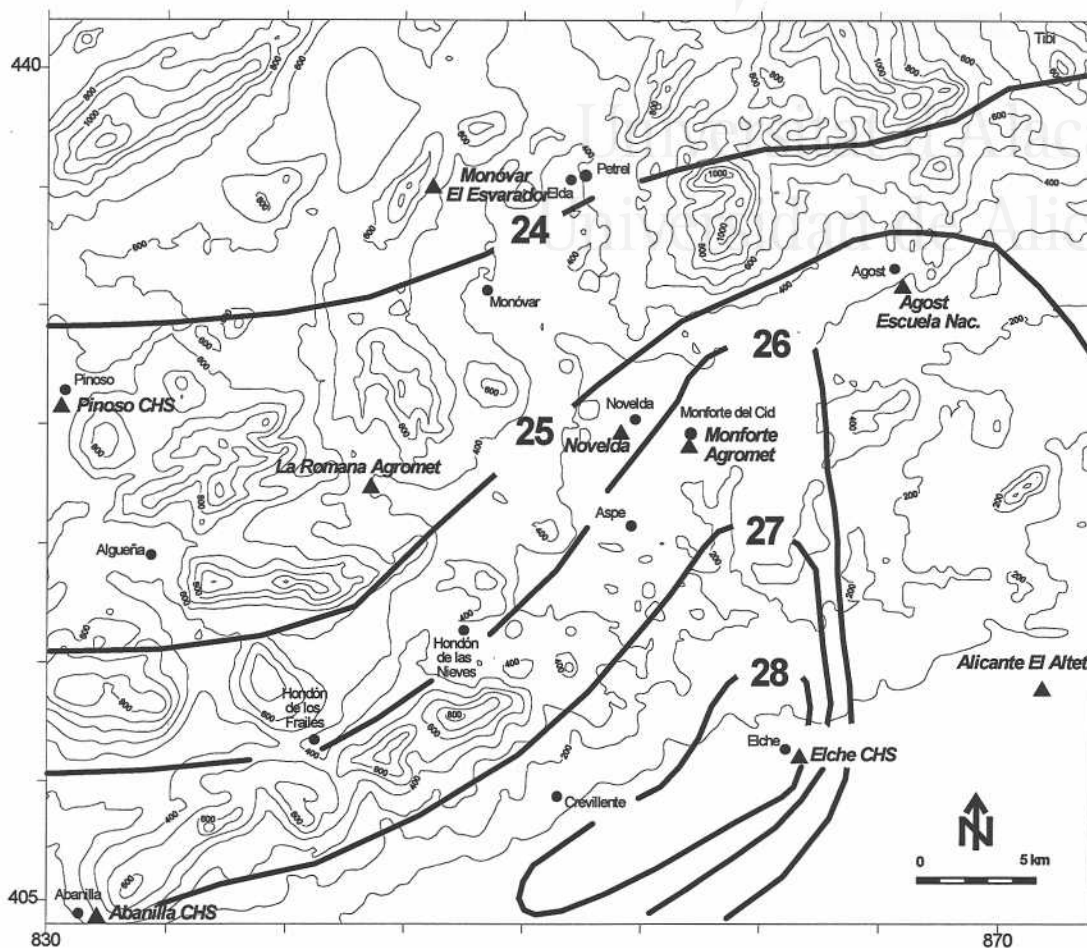


Figura 19. Mapa de isotermas medias (°C) para el mes de julio del periodo 1961/62-1990/91.

Finalmente, he representado las temperaturas medias anuales de todas las estaciones del mapa frente a sus cotas topográficas, con el objeto de establecer el gradiente térmico altitudinal. Las variables comparadas (figura 20) no presentan un elevado coeficiente de correlación ( $r=0.86$ ). El gradiente obtenido supera el  $-1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Este valor es demasiado elevado, ya que habitualmente se suele utilizar como válido  $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  (Fernández García, 1995). Dada la baja correlación existente entre las variables, el pequeño número de

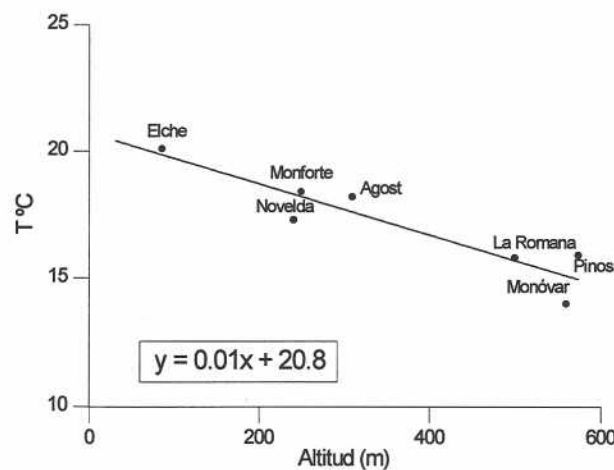


Figura 20. Relación temperatura media/altitud, recta de regresión y ecuación ajustada para las estaciones del área de estudio.

estaciones utilizadas y la carencia de datos de estaciones con un espectro altitudinal más variado, he preferido no emplear el gradiente calculado ( $-1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) para efectuar posibles cálculos.

#### 4.2. ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

Actualmente no existe ninguna estación termométrica en las inmediaciones de la sierra, por lo que las temperaturas necesariamente tienen que ser extrapoladas a partir de otras estaciones fuera del relieve. Anteriormente existió una ubicada en el antiguo Balneario de Aguas de Busot que funcionó durante el periodo 1942/43-1948/49, si bien no de manera regular. El observatorio más próximo a la Sierra del Cabeçó d'Or es el de Jijona Ayuntamiento, situado aproximadamente 10 km al W. Los valores medios de esta estación para el periodo 1961/62-1990/91, junto con los de Aguas de Busot, quedan recogidos en la tabla 10.

Las temperaturas medias anuales para Jijona y Aguas de Busot son de  $15.1^{\circ}\text{C}$  y  $16.9^{\circ}\text{C}$ , respectivamente; reduciendo ambas temperaturas a nivel de mar y tomando como gradiente térmico altitudinal  $-0.6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ , se obtienen valores de  $18.2^{\circ}\text{C}$  y  $19.3^{\circ}\text{C}$ . Esto significa que existe una influencia suavizadora a causa de la proximidad del mar en la estación de Aguas de Busot. Considerando como altura media del Cabeçó d'Or 700 m, y estimando la temperatura de la estación de Aguas de Busot para esta altitud, se obtiene un valor de  $15.1^{\circ}\text{C}$ , temperatura coincidente con el que presenta el observatorio de Jijona; luego, parece correcto elegir la estación de Jijona como representativa de las características térmicas medias del Cabeçó d'Or.

	Jijona	Aguas de Busot
	1961-90	1942-48
Enero	7.7	9.2
Febrero	8.4	11.4
Marzo	10.1	12.9
Abril	12.6	15.8
Mayo	16.4	18.2
Junio	20.5	22.2
Julio	23.9	25
Agosto	24	24.7
Septiembre	20.9	22.2
Octubre	16.8	17
Noviembre	11.8	13.4
Diciembre	8.7	10.6
<b>AÑO</b>	<b>15.1</b>	<b>16.9</b>

**Tabla 10.** Temperaturas medias del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) mensuales y anuales para los periodos señalados.

Las temperaturas medias máximas se alcanzan en la época estival; se puede observar que las diferencias entre los meses de julio y agosto son muy pequeñas (figura 21); en Jijona se registran  $24^{\circ}\text{C}$  en agosto, y en Aigües  $25^{\circ}\text{C}$  pero en el mes de julio. En cuanto a la mínima media es algo menor en Jijona donde desciende a  $7.7^{\circ}\text{C}$  permaneciendo en  $9.2^{\circ}\text{C}$  en Aigües.

Las temperaturas máximas medias son, en ambas estaciones, ligeramente superiores

a 30°C y se producen durante el mes de julio. En cuanto a las temperaturas mínimas medias, coinciden temporalmente en el mes de enero con 3.1°C en Jijona y 5°C en Aigües.

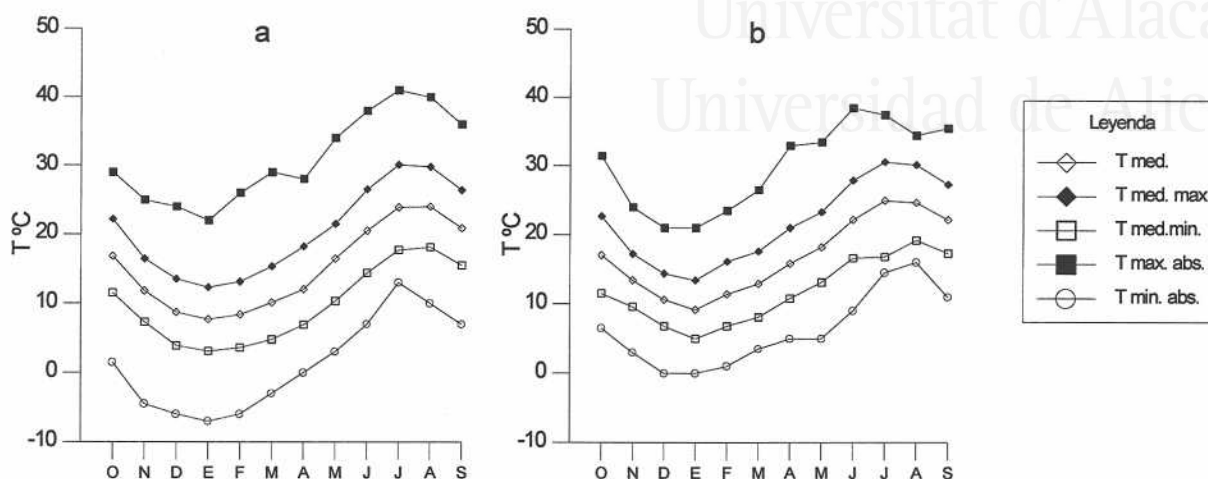


Figura 21. Regímenes térmicos de las estaciones de Jijona Ayuntamiento (a) y Aguas de Busot (b).

Las temperaturas máximas y mínimas extremas alcanzadas en la estación de Aigües son poco representativas, por el corto periodo de registro. En Jijona el termómetro ha llegado a marcar hasta 41°C (en julio), mientras que en invierno ha descendido hasta -7°C.

## 5. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Concepto acuñado por Thornthwaite (1948) para integrar la evaporación y la transpiración, se define como la cantidad de agua necesaria para la transpiración de una cubierta vegetal en una zona con agua suficiente y en periodo de crecimiento activo. Puesto que el suelo no siempre dispone de agua suficiente para satisfacer las demandas de evapotranspiración, este mismo autor introdujo la distinción entre la evapotranspiración potencial y real. Ambas pueden ser definidas de la siguiente manera:

- evapotranspiración potencial (ETP): máxima evaporación que se produciría en una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo y sin límites de suministro hídrico.
- evapotranspiración real (ETR): a diferencia de la anterior, se encuentra condicionada por las disponibilidades de agua en el suelo: cuando éstas son suficientes, su valor alcanza la ETP; cuando hay déficit hídrico, la ETR es inferior a la potencial.

### 5.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Para el cálculo de la ETP he utilizado el método propuesto por Thornthwaite (1948).

En este método empírico se usa como variable primaria la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire, aplicándole posteriormente unos factores de corrección dependientes de la duración del mes y del número máximo de horas solares. De esta forma he procedido al cálculo de las ETP de las estaciones que presentaban registro térmico.

Hay que tener en cuenta que los valores de ETP así obtenidos deben ser considerados como una mera aproximación, cuya validez se desconoce, al carecer de estaciones lisimétricas en el área estudiada que ofrezcan medidas directas y puedan ser contrastadas con los valores obtenidos de las fórmulas empíricas.

### 5.1.1. Acuíferos de Crevillente y del Cid

La tabla 11 recoge los valores de ETP medios mensuales, así como el valor medio anual de aquellas estaciones con registro térmico para el periodo 1961/62-1990/91. La mayoría de ellas presenta más del 60% de la ETP anual repartido entre los meses de junio a septiembre, alcanzándose el máximo estival durante julio; por el contrario, los mínimos se originan lógicamente en los meses más fríos, que suelen ser los de diciembre, enero y febrero. De forma general, el mínimo absoluto se sitúa en el mes de enero.

	Abanilla	Agost	Altet	Elche	Romana	Monforte	Monóvar	Novelda	Pinoso
Enero	19	24	24	22	19	23	15	22	15
Febrero	23	27	27	27	23	26	20	25	21
Marzo	40	41	40	44	35	40	33	41	36
Abril	59	55	54	64	50	55	47	54	54
Mayo	98	87	83	105	80	88	78	82	89
Junio	141	121	119	158	113	130	109	119	120
Julio	185	157	151	202	146	169	140	156	151
Agosto	174	154	148	186	135	158	130	146	137
Septiembre	121	113	113	133	99	115	85	106	96
Octubre	70	74	72	77	60	70	51	66	57
Noviembre	36	39	39	37	32	36	28	35	29
Diciembre	22	25	26	22	21	24	16	22	17
<b>AÑO</b>	<b>989</b>	<b>917</b>	<b>896</b>	<b>1077</b>	<b>812</b>	<b>936</b>	<b>751</b>	<b>874</b>	<b>822</b>

Tabla 11. Valores mensuales y anuales de la ETP (mm) del periodo 1961/62-1990/91.

La distribución espacial de la ETP (figura 22) muestra cómo el valor máximo se sitúa en las inmediaciones de Elche, sobrepasándose los 1000 mm/año; a medida que nos alejamos de este sector se produce una clara disminución.

El Acuífero de Crevillente se encuentra emplazado entre las isóneas de

evapotranspiración potencial de 800 y 1000 mm. Al igual que ocurre con la temperatura, se observa un claro paralelismo entre las líneas de iso-ETP y la orientación de los relieves. Así, mientras la Sierra de Crevillente -relieve más próximo a la línea de costa- presenta una ETP comprendida entre 900 y 1000 mm, las sierras de Algayat y del Reclot -más internas- alcanzan valores entre 800 y 900 mm. La falta de información dentro de los límites del acuífero impide obtener mayor precisión a la hora de diferenciar la ETP de los sectores elevados o de montaña, de los deprimidos o valles intramontañosos.

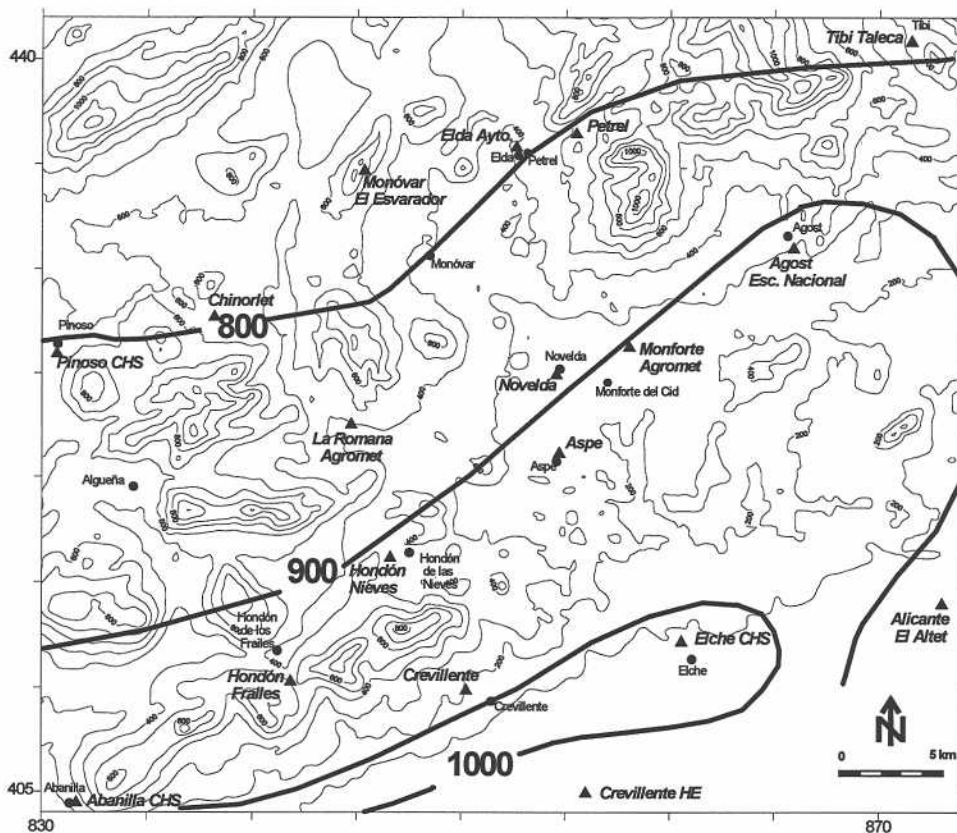


Figura 22. Mapa orientativo de curvas de iso-ETP (mm) del periodo 1961/62-1990/91.

En cuanto a la Sierra del Cid, ésta queda comprendida entre la iso-ETP de 800 y la de 900 mm. En este sistema los valores más altos de ETP se alcanzan en la parte meridional, coincidiendo con los sectores más deprimidos.

### 5.1.2. Acuífero del Cabeço d'Or

Como se discutió en el epígrafe de temperatura, la estación de Jijona es la más representativa para caracterizar el régimen térmico de este relieve montañoso, y por tanto lo es también para estimar la ETP. El valor medio obtenido es de 790 mm/año (tabla 12). Esta ETP presenta una distribución anual similar a la de otras estaciones del entorno, sobrepasando el 60% de la ETP anual durante los meses estivales y presentando el máximo

absoluto en julio. De igual forma los mínimos se registran entre diciembre y febrero, situándose el mínimo absoluto en enero.

Mes	ETP (mm)
Octubre	62
Noviembre	32
Diciembre	19
Enero	17
Febrero	19
Marzo	31
Abril	46
Mayo	78
Junio	112
Julio	143
Agosto	135
Septiembre	97
<b>AÑO</b>	<b>790</b>

Tabla 12. Valores de evapotranspiración potencial mensual de la estación de Jijona Ayuntamiento.

## 5.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

### 5.2.1. Acuíferos de Crevillente y del Cid

La falta de infraestructura con que cuentan las estaciones meteorológicas en el sector estudiado impide obtener valores directos de ETR; por ello, su valor se cuantifica mediante métodos empíricos, frecuentemente recogidos en los manuales de hidrogeología (Castany, 1975; Custodio y Llamas, 1983). Su estimación se efectúa en función de variables climáticas de fácil obtención como son la precipitación, temperatura, etc.

Los métodos inicialmente utilizados en el presente estudio (tabla 13), han sido los de Thornthwaite (1948), Coutagne (1954) y Turc (1955). Para su empleo se necesitan únicamente la precipitación y temperatura, aunque la estimación mediante la técnica de Thornthwaite requiere una tercera variable, como es la reserva de humedad del suelo, capacidad de campo o reserva útil (R.U.), que no es más que la cantidad de agua que un suelo es capaz de retener.

Como se ha destacado anteriormente, no todos los observatorios meteorológicos miden la temperatura del aire, por lo que en aquellas estaciones carentes de este parámetro la ETR se ha calculado asignándole las temperaturas de una estación semejante estimada a partir del mapa de isotermas medias anuales (figura 17).



## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

El análisis de los valores de ETR estimados por los diferentes métodos (tabla 13) queda resumido en los siguientes puntos:

- el método de Turc sobreestima fuertemente la ETR ya que la mayoría de las veces ofrece valores superiores a la precipitación anual media, lo que supondría admitir que en la mayor parte del sector, el 100% de la precipitación se evapotranspira.

	TURC		COUTAGNE		THORNTHWAITTE					
	mm	%	mm	%	R.U. = 0		R.U. = 10		R.U. = 25	
					mm	%	mm	%	mm	%
El Altet	295	100	267	91	293	100	293	100	293	100
Agost	303	100	273	91	300	100	300	100	300	100
Aspe	299	100	270	91	294	99	298	100	298	100
Crevillente	297	91	267	100	288	99	292	100	292	100
Crevillente HE	285	100	257	92	279	99	280	100	280	100
Chinorlet	332	98	301	301	320	94	330	97	339	100
Elche	250	100	226	100	243	100	243	100	243	100
Elda	257	100	233	91	255	100	255	100	255	100
H. Frailes	326	100	294	91	324	100	324	100	324	100
H. Nieves	286	100	258	91	283	100	283	100	283	100
La Romana	341	97	309	88	330	94	340	94	350	100
Monforte del Cid	345	100	310	310	332	96	342	99	345	100
Monóvar	300	98	274	274	298	97	308	100	308	100
Novelda	318	100	287	90	311	98	318	100	318	100
Petrel	352	97	320	97	330	91	344	94	355	97
Pinoso	281	100	255	91	278	99	281	100	281	100
Tibi Taleca	361	95	329	87	335	87	346	91	378	100

**Tabla 13.** Valores y porcentajes de evapotranspiración real obtenidos mediante la aplicación de los métodos de Coutagne, Turc y Thornthwaite a nivel mensual.

- la utilización de los balances hídricos por la metodología de Thornthwaite presenta el problema de la asignación de un valor correcto de reserva útil, el cual depende del tipo de litología. Dado que los acuíferos estudiados son de naturaleza carbonática, en general, con escasa cubierta vegetal, he elegido reservas útiles de 0, 10 y 25 mm. Estas cantidades son consideradas como normales para este tipo de rocas (Gollonet y Castillo, 1986; López-Chicano, 1992) y han sido utilizadas anteriormente para materiales de características similares en otros lugares de la provincia de Alicante (Pulido-Bosch, 1979). La utilización de una reserva útil de 25 mm implica que el 100% del agua se evapotranspira; entre el 90

y 100% para R.U. de 10 mm; y entre el 87% y el 100% si se desprecia el suelo y se utiliza una reserva útil nula. En cualquiera de los tres casos, esta metodología ofrece valores de ETR muy elevados.

- mediante el método de Coutagne la ETR es siempre inferior a la precipitación, aunque también las cantidades evapotranspiradas son bastante elevadas sobrepasando el 88% de la precipitación media anual.

En definitiva, los tres métodos anteriormente empleados no pueden ser utilizados para el cálculo de la evapotranspiración real que afecta a los sistemas hidrogeológicos, ya que la sobreestiman fuertemente, hasta el punto de no dejar o quedar muy poca agua disponible para la escorrentía superficial o subterránea, que no explicaría los recursos con los que cuentan los acuíferos. La invalidez de estos métodos ha sido puesta de manifiesto al N de la provincia de Almería (Gollonet y Castillo *op. cit.*), donde se tienen climas áridos y semiáridos muy similares a los de esta región.

Un intento de obtener valores de ETR lo más aproximados a la realidad en climas áridos y semiáridos, donde la repartición de la lluvia es bastante irregular, ha sido la utilización de balances hídricos diarios (López Arechavala, 1983; Padilla y Pulido-Bosch, 1985 y 1986; Padilla, 1990), mediante el desarrollo de programas informáticos; con ellos, de forma automática se realiza el cálculo de la ETR y de la lluvia útil. En el presente trabajo he utilizado el programa *Evadia* desarrollado en la *Universidad de Granada* por Padilla y Pulido-Bosch (*op. cit.*).

Al programa se le introducen las precipitaciones diarias, reserva útil, latitud, reserva de agua en el suelo al inicio del balance hídrico y la temperatura. Aunque el programa puede realizar los cálculos de la ETP (por el método de Thornthwaite) utilizando las temperaturas medias diarias, he introducido las temperaturas medias mensuales y obtenido una ETP mensual, la cual se ha dividido posteriormente por el número de días del mes correspondiente para lograr la ETP diaria. La razón de ello ha sido que los resultados finales de ETR y lluvia útil entre ambos procedimientos tan sólo difieren en un 0.5% (Padilla y Pulido-Bosch, *op. cit.*).

Los problemas con los que cuenta la aplicación de esta metodología son la homogeneización de series temporales y la utilización adecuada de la reserva del suelo. Como anteriormente comenté, las series pluviométricas han sufrido un completado a nivel mensual de los años con lagunas; sin embargo, no se ha realizado un completado a nivel diario, puesto que probablemente no se asemejaría a la realidad; por tanto para esta región, se trata de un problema de difícil solución si se quieren realizar comparaciones y extrapolaciones de series lo suficientemente representativas. En el presente estudio he abordado esta cuestión, sin tratar de dar valores absolutos de ETR, utilizando únicamente

las series de las estaciones que más directamente están relacionadas con los acuíferos, de tal forma que se pueda tener un orden de magnitud del valor de ETR.

En cuanto a la dificultad de utilización de la reserva útil, se ha observado cómo la aplicación de balances diarios disminuye considerablemente la ETR y aumenta la lluvia útil. El incremento de esta última ha sido cuantificado para el N de Almería entre 52 y 128% (Gollonet y Castillo, 1986). Para tratar de disminuir la sobreestimación de la lluvia útil he tomado valores de 25 y 50 mm a pesar de la inexistencia o escasez de la cobertera vegetal.

De forma orientativa se puede establecer que la ETR en el sector que comprende los acuíferos de Crevillente y del Cid se sitúa entre el 62% y el 92% de la precipitación anual (tabla 14). Esta gran oscilación se debe a la incertidumbre que plantea el método, si bien puede representar correctamente las variaciones locales. Se observa cierta semejanza en las proporciones encontradas en las estaciones situadas en el Valle del Vinalopó, ya que, tanto en Aspe como en Novelda la evapotranspiración se encuentra dentro del intervalo de 73-87% de la lluvia. Estas proporciones disminuyen y se sitúan por debajo del 70% en estaciones más elevadas, donde las precipitaciones son mayores (La Romana Agromet, Hondón de los Frailes y Tibi Taleca). La estación de Hondón de las Nieves presenta valores algo más dispares, probablemente debido a que el periodo utilizado para los cálculos es muy corto.

	Periodo	P(mm)	RU = 25mm	RU = 35mm	RU = 50mm	% de lluvia
Aspe	1961-92	297	218	239	258	73-87
H. Frailes	1985-92	413	258	283	307	62-74
H. Nieves	1961-73	281	216	238	259	77-92
La Romana	1976-92	343	216	236	259	63-75
Novelda	1961-92	308	224	243	262	73-85
Tibi Taleca	1965-92	386	264	287	311	68-81

Tabla 14. Estimación del porcentaje de lluvia que se traduce en ETR para las estaciones que afectan a los acuíferos estudiados.

Con carácter ilustrativo, la figura 23 recoge la variabilidad de la ETR a lo largo del año en relación a otras variables como la precipitación, ETP y lluvia útil. En general, todas las estaciones utilizadas presentan un comportamiento bimodal similar; disponiéndose las máximas cantidades evapotranspiradas, bien durante el mes de octubre, o bien a lo largo del periodo marzo-junio. Contrariamente a la ETP, los valores mínimos de ETR se producen durante los meses de julio y agosto.

La evapotranspiración real a la que están sometidos cada uno los acuíferos se ha

estimado reduciendo a la precipitación el % de ETR calculado con anterioridad para cada una de las estaciones. Así, para establecer la ETR que se produce sobre el Acuífero de Crevillente he procedido de la misma forma que para calcular la cantidad de precipitación recibida, es decir, basándome en los mismos sectores que anteriormente definí. La cantidad de agua evapotranspirada se sitúa entre 30 y 36 hm<sup>3</sup>/año (tabla 15), lo que supone aproximadamente entre el 67 y 82% del total de agua precipitada.

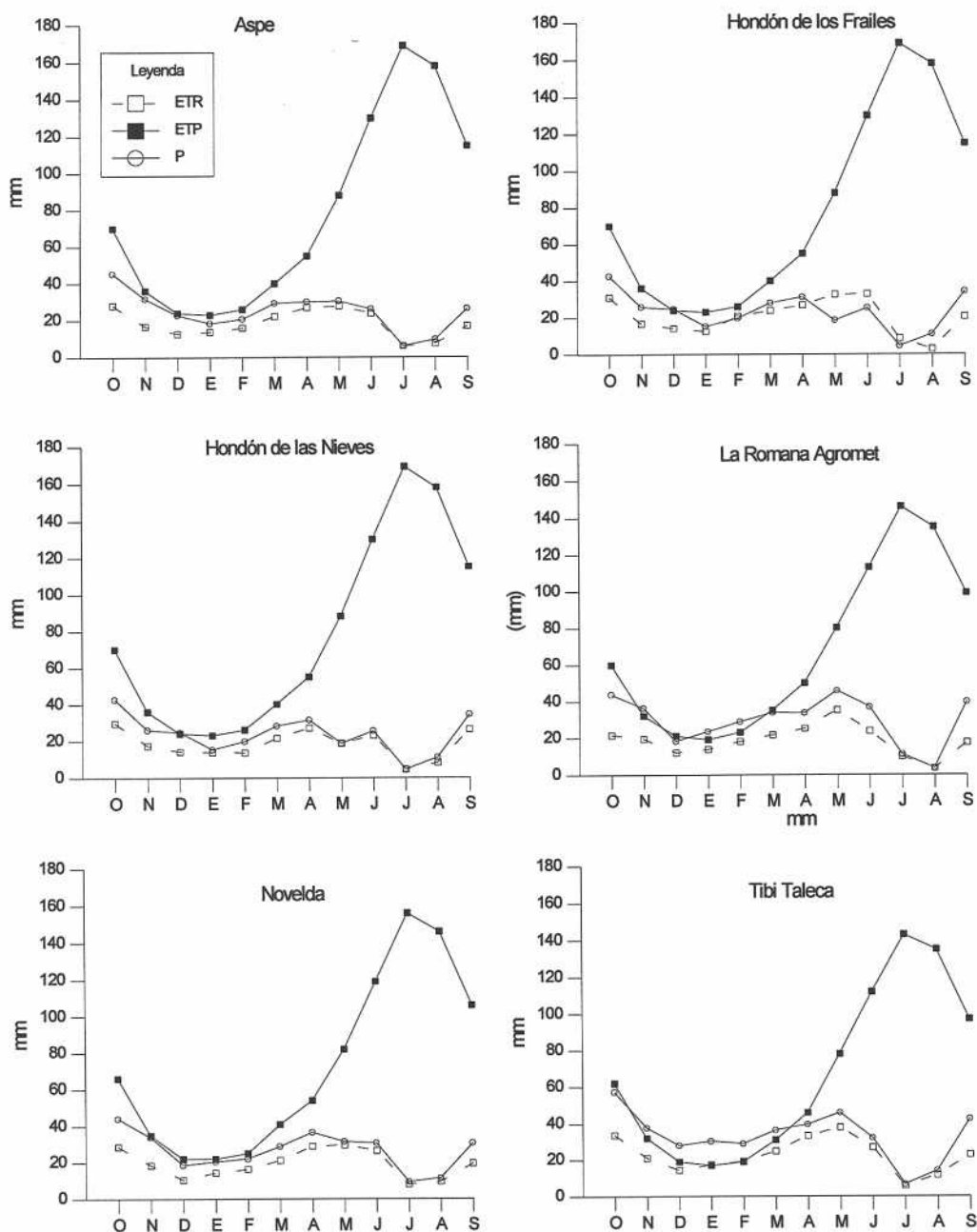


Figura 23. Balance P-ETP-ETR para algunas de las estaciones más significativas del área de estudio.

## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

SECTOR	SUP. (km <sup>2</sup> )	AÑO MEDIO			
		P(mm)	ETR(%)	ETR(mm)	V (hm <sup>3</sup> )
A	21	360	63-75	227-270	4.8-5.7
B	16	340	63-75	214-255	3.4-4.1
C	15	320	73-85	234-272	3.5-4.1
D	70	290	73-87	212-252	14.8-17.6
E	18	320	62-74	198-237	3.6-4.3
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>				<b>30-36</b>

Tabla 15. Estimación de evapotranspiración real sobre los distintos sectores del Acuífero de Crevillente.

He calculado los valores de ETR que se producen sobre el Acuífero del Cid a partir de las estaciones de Tibi Taleca y Novelda que son las que de forma más directa afectan al área según los mapas de isoyetas e isotermas. Aproximadamente, entre el 68 y 85 % de la lluvia que se produce en el área retorna a la atmósfera a causa de la evapotranspiración, ello supone una media entre 8.5 y 10.7 hm<sup>3</sup>/año.

### 5.2.2. Acuífero del Cabeçó d'Or

Los resultados obtenidos para este sistema sitúan la ETR entre 202 y 284 mm/año, lo que supone, aproximadamente entre el 50 y 70% de la precipitación media anual; el intervalo medio del volumen evapotranspirado está comprendido entre 2.2 y 3.1 hm<sup>3</sup>/año. El diagrama de balances P-ETP-ETR (figura 24) muestra que durante gran parte del año existe agua excedentaria capaz de originar infiltración.

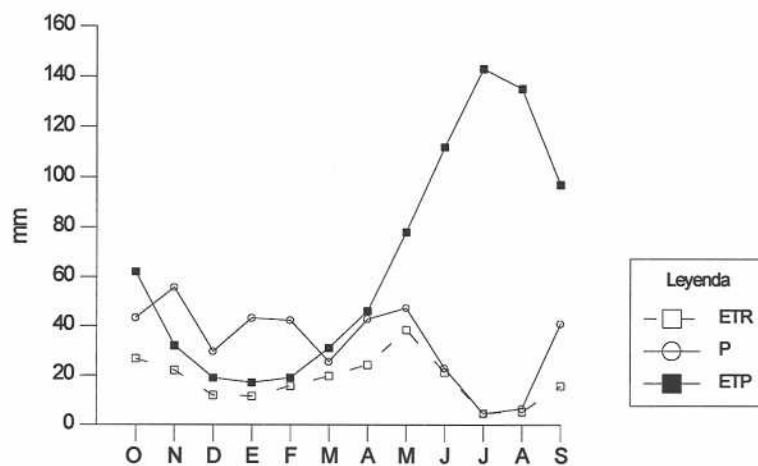


Figura 24. Balance-P-ETP-ETR para la estación de Jijona.

## 6. REPERCUSIONES DEL CLIMA EN LOS ACUÍFEROS

Como ha quedado establecido anteriormente la irregularidad de las precipitaciones es un hecho constatable en esta región. Así, la serie del periodo 1961/62-1990/91 incluye años secos con años húmedos. Para establecer posibles tendencias pluviométricas a largo plazo relacionadas con posibles cambios climáticos, he realizado un gráfico (figura 25), en el que he representado las desviaciones acumuladas de las precipitaciones anuales con respecto a la media. En principio, el establecimiento de dichas tendencias requiere periodos de tiempo suficientemente representativos. Desafortunadamente, en el área objeto de estudio las estaciones con mayor número de años de registro corresponden a Aspe y Novelda, las cuales no sobrepasan los sesenta años, lo que en principio supone poco tiempo para poner de manifiesto posibles tendencias climáticas. Sin embargo, sí son útiles a la hora de agrupar periodos afines en cuanto a pluviometría.

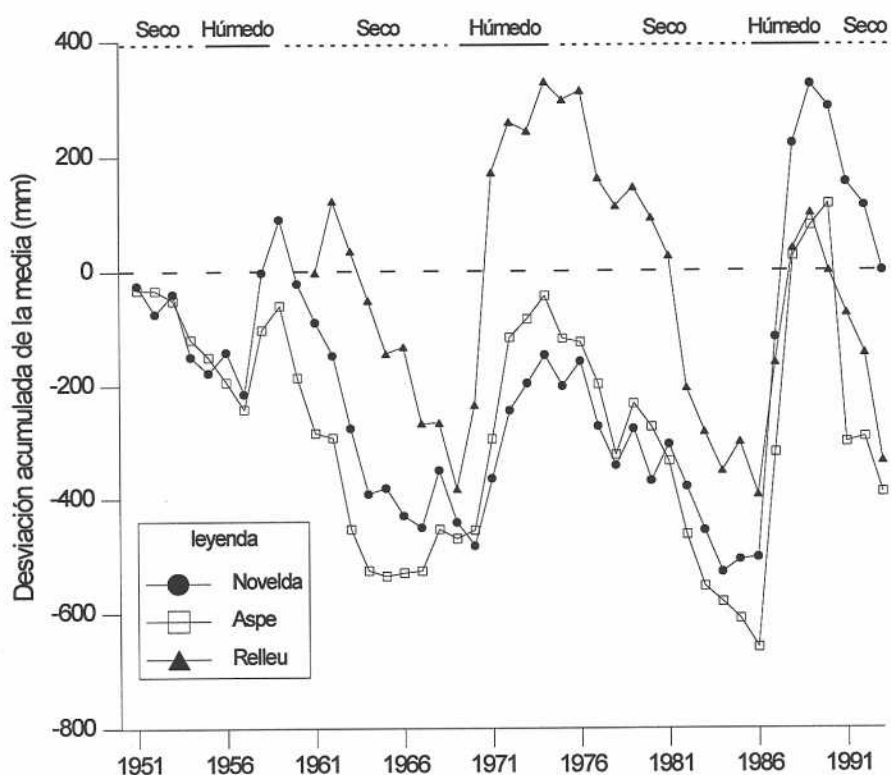


Figura 25. Desviaciones acumuladas de la precipitación anual con respecto a la media.

La figura 25 incluye las estaciones de Aspe y Novelda, las cuales aportan información sobre las particularidades de la precipitación de los acuíferos de Crevillente y Cid, así como la de Relleu, que a pesar de tener un menor periodo de observación caracteriza bastante bien los regímenes pluviométricos del área en la que se encuentra el



Acuífero del Cabeçó d'Or. Se definen cuatro periodos secos y tres húmedos. Los primeros son más largos, pudiéndose dar algunas recurrencias húmedas. La precipitación de los periodos secos suele ser inferior entre un 10 y un 35% de la precipitación media anual. Los periodos húmedos no sobrepasan los cuatro años y en ellos se pueden encontrar años que superan en más del doble la precipitación media anual.

La repercusión que el clima ejerce sobre el comportamiento hidrodinámico de los acuíferos es importante. Se puede comprobar como desde que se iniciaron las extracciones en los tres acuíferos a principios de la década de los años sesenta, el número de años secos ha sido muy superior a los años húmedos; por tanto, la sobreexplotación que han sufrido estos sistemas se ha visto agravada y amplificada a causa de periodos secos, algunos de ellos de más de diez años de duración como el de 1975-1986.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

### **III. GEOLOGÍA**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA

Los acuíferos objeto del presente estudio se integran en relieves de los dominios Prebético y Subbético de la Cordillera Bética. Antes de pasar a describir sus aspectos geológicos voy a realizar un breve enmarque de la Cordillera, para así facilitar su mejor ubicación geológica.

La Cordillera Bética, formada durante la orogenia alpina, se extiende al S de la península Ibérica desde Gibraltar hasta las islas Baleares, alcanzando una longitud de 600 km y una anchura superior a los 200 km. Desde el punto de vista geológico, se han establecido dos grandes dominios estructurales que han evolucionado independientemente (figura 26): las Zonas Internas y las Zonas Externas (Egeler y Simon, 1969; Fallot 1945, Fontboté, 1970, Julivert *et al.*, 1977, Torres-Roldán, 1979). Entre ambos aparece el Complejo del Campo de Gibraltar, bien desarrollado en la provincia de Cádiz.

Las Zonas Internas se encuentran en la parte meridional de la Cordillera y en ellas se han distinguido varios conjuntos tectonopaleogeográficos: Nevado-Filábride, Alpujárride, Rondaide y Maláguide. A grandes rasgos, las Zonas Internas se caracterizan por la presencia de materiales metamórficos y por una disposición de las distintas unidades superpuestas por sucesivos cabalgamientos.

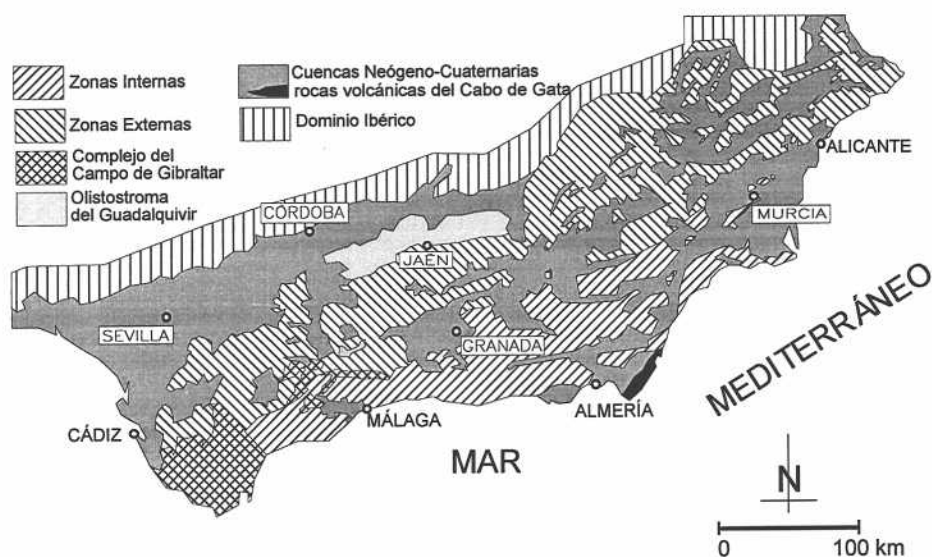


Figura 26. Esquema geológico de la Cordillera Bética.

Las Zonas Externas configuran el dominio septentrional de la Cordillera y en ella a su vez se establecen dos subdominios:

- El Prebético (Blumenthal, 1927; Foucault, 1971; Jerez, 1973 y 1981;

Azéma, 1977) ocupa la parte NE de las Zonas Externas y está en continuidad con la meseta. Se caracteriza por la presencia de plataformas someras y mares epicontinentales, cuyos registros sedimentarios son principalmente series carbonáticas con intercalaciones sedimentarias de carácter terrígeno provenientes de la meseta.

Dentro de este dominio se han realizado diferenciaciones en función de la distancia al orógeno: un Prebético Interno más próximo y un Prebético Externo más distante. Las características distintivas entre ambos se basan en aspectos estratigráficos, sedimentológicos y tectónicos. El Prebético Externo ofrece un carácter más somero, en sus facies abundan los terrenos carbonáticos, así como la presencia de terrígenos silíceos. La actividad tectónica sufrida ha sido poco acusada. Por el contrario, el Prebético Interno presenta una sucesión estratigráfica más potente y completa, debida a una mayor subsidencia de la cuenca. La mayor parte de sus afloramientos pertenecen al Cretácico y al Paleógeno. Los sedimentos tienen una mayor componente margosa y los terrígenos que alcanzan este subdominio son más finos. La tectónica sufrida ha sido más compleja y ha ocasionado fenómenos de despegue y halocinéticos (Martínez del Olmo *et al.* 1986) que han causado acortamientos de la cobertera. En la provincia de Alicante existen numerosos relieves pertenecientes a este dominio entre los que se encuentran la Sierra del Cabeço d'Or y la Sierra del Cid.

- El Subbético (Bertrand y Kilian, 1889, Fallot, 1945) está al S del Prebético, separado de éste por las Unidades Intermedias (Foucault, 1964; Ruiz-Ortiz, 1980). La compartimentación que se produjo en la cuenca Subbética como consecuencia de fracturas profundas ha servido para establecer una diferenciación en tres grandes subdominios: Subbético Externo, Subbético Medio y Subbético Interno (García Dueñas, 1967; Paquet, 1969). El Subbético Externo y el Interno quedaron como áreas elevadas dentro de la cuenca. En ambas se produjo una sedimentación típica de altos fondos representada por facies carbonáticas someras. Existen facies pelágicas calizo-margosas, pero éstas adquieren menor desarrollo y presentan evidencias de condensación sedimentaria. Entre los relieves que pertenecen al Subbético Externo se encuentran las sierras de Crevillente, Algayat y del Reclot. Por el contrario, el Subbético Medio se caracteriza por presentar facies de cuencas profundas con evidencias de subsidencia representados por potentes series margosas y calizo-margosas que incluyen episodios turbidíticos y olistostrómicos. En general, el Subbético se encuentra intensamente deformado, mostrando plegamientos y cabalgamientos de vergencia NNW.

Entre las Zonas Internas y las Zonas Externas en la región del Estrecho de Gibraltar afloran unos terrenos que se conocen como Unidades del Complejo del Campo de Gibraltar (Didon, 1969; Martín-Algarra, 1987). Están formadas por facies flysch: depósitos profundos de carácter margoso donde se integran turbiditas areniscosas y carbonáticas.

## 2. ACUÍFERO DE CREVILLENTE

### 2.1. LITOESTRATIGRAFÍA

Para realizar la descripción y representación cartográfica de los diferentes materiales que afloran en el área de estudio, he optado por definir una serie de formaciones litoestratigráficas informales (figura 27). El Acuífero de Crevillente incluye como principales relieves las sierras de Crevillente, Algayat y del Reclot. Todos pertenecen al Subbético Externo, si bien entre ellos aparecen ligeras diferencias estratigráficas. En este sentido, Nieto (1996) ha establecido dos unidades tectonoestratigráficas: Unidad de Crevillente-Algayat y Unidad de Reclot. En el presente trabajo no he diferenciado unidades tectonoestratigráficas, dado que sus repercusiones hidrogeológicas son nulas.

- Arcillas rojas con yesos (Tk). Los terrenos más basales de la pila sedimentaria corresponden al Triásico. Aunque se describen dentro del dominio Subbético, sus características son similares tanto para este dominio como para el Prebético. Está representado por la facies evaporítica del Keuper y se compone principalmente por materiales de naturaleza arcillosa y margosa acompañados de grandes acumulaciones de yesos. Ocasionalmente, este conjunto litológico incluye rocas carbonáticas, en su mayor parte dolomías. El conjunto triásico se distingue claramente en el paisaje por sus coloraciones rojizas, aunque puntualmente puede adquirir tonalidades verdes, ocre y blancas. Muestra un alto grado de desorganización que le confiere un aspecto caótico y discontinuo, y suele estar asociados a zonas de fractura. El conjunto triásico aflorante en este área corresponde a la serie evaporítica superior del Keuper definida por Ortí (1974).

En la Sierra de Crevillente estos materiales afloran ampliamente a lo largo de su borde meridional formando una banda prácticamente continua hasta la Sierra de Abanilla. También afloran en los bordes oriental y occidental de este relieve, así como con carácter más puntual al SW de Hondón de las Nieves y en el borde occidental de la Sierra de la Ofra.

Al SW de la Sierra de Algayat existe una franja triásica de dirección E-W en las inmediaciones de La Canalosa. Estos materiales triásicos se disponen encima de margas cretácicas y calcarenitas paleógenas por lo que inicialmente fue definida como una ventana prebética (Fallot, 1932b; Azéma, 1977). Más al W, al N de El Cantón y coincidiendo con la terminación occidental de la Sierra de Algayat, vuelve a aflorar, aunque con carácter más restringido.

Finalmente, una banda triásica recorre, de manera más o menos continua, todo el frente de cabalgamiento del borde septentrional de la Sierra del Reclot.



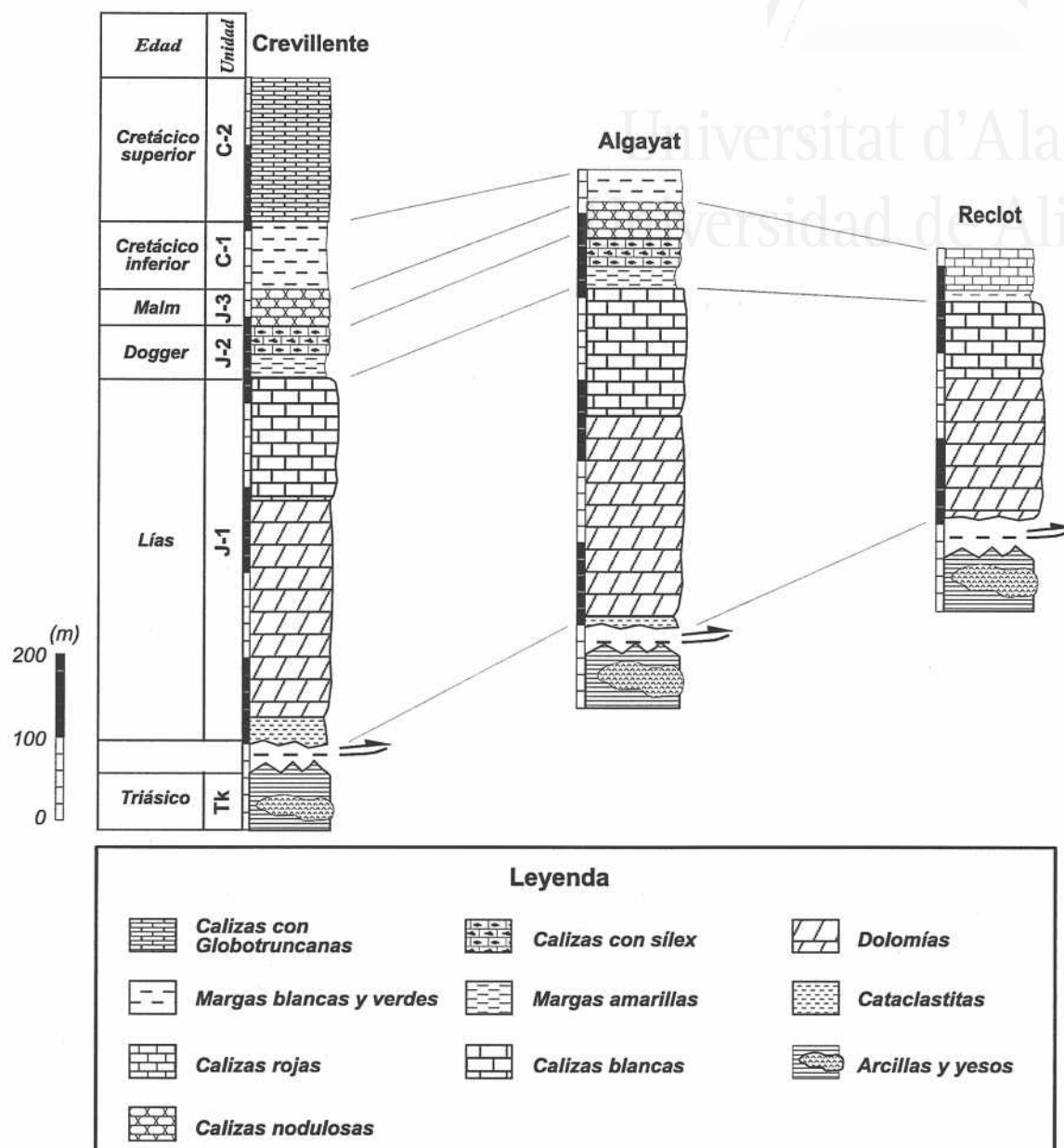


Figura 27. Series estratigráficas sintéticas de los principales relieves que constituyen el Acuífero de Crevillente.

- Dolomías y Calizas blancas (J-1). Equivale a la formación Gavilán (Nieto, 1996). Está constituida por dos tramos, uno inferior de dolomías masivas grises a veces muy brechificadas, y otro superior representado por bancos gruesos de calizas blancas, cremas y grises micríticas aunque también pueden ser políticas y presentar texturas algales y fenestrales. El paso entre ambos tramos se produce de forma gradual. La dolomitización de la parte basal se debe a un proceso de dolomitización secundaria relacionado con la proximidad de importantes zonas de fracturas ubicadas en los dominios paleogeográficos (Martín, 1979 y 1980; Ruiz-Ortiz, 1980; Molina, 1987). Esta unidad está representada en

la práctica totalidad de los relieves que componen el Acuífero de Crevillente.

En la Sierra de Crevillente son las calizas blancas las que de forma mayoritaria representan al Lías, si bien las dolomías también se encuentran bien expuestas en la parte meridional de la Sierra de la Ofra y en la parte SW de la Sierra de Crevillente, (como ejemplo se puede destacar que la Galería de los Suizos atraviesa esta litología en un tramo de más de 1000 m de longitud). Las potencias en afloramiento suelen estar en torno a 200 m (Nieto, 1996), si bien a tenor de los registros de las columnas de sondeos se estiman espesores de al menos 400 m. Recientemente, se ha realizado un sondeo en el Barranco del Tolomó (nº 23) de 670 m de profundidad. Esta captación ha llegado a atravesar totalmente las calizas dolomíticas duras para pasar a otro tramo de carácter arcilloso. Se trata de un tramo cataclástico de carbonato cálcico-dolomítico cuya fracción más importante es tamaño arcilla. Esta litología debe corresponder a las denominadas "margas blancas" que aparecen en bastantes fichas técnicas sobre las columnas litológicas de perforaciones que sobrepasan los 400-500 m. La potencia estimada para las calizas y dolomías de esta unidad, a partir de estos datos, sobrepasa los 400 m.

Esta formación constituye, asimismo, la mayor parte de la Sierra de Algayat. Muestra características litológicas y de potencia similares a las observadas en la Sierra de Crevillente. Además, se constata la presencia de superficies ferruginosas y superficies duras producidas como consecuencia de interrupciones en la sedimentación.

Por su parte en la Sierra del Reclot se dispone sobre materiales triásicos que constituyen la base del cabalgamiento. Está compuesta por dolomías y calizas entre las que hay un tránsito gradual. Las calizas pueden ser micríticas con textura fenestral, oolíticas, de peloides y crinoidíticas, localmente con sílex; estas últimas aparecen en el techo de la formación. Además, muestran gran riqueza de fauna de ammonites, belemnites y especialmente braquiópodos, los cuales están asociados a algunos niveles intercalados en las calizas micríticas y oolíticas (Jiménez de Cisneros, 1907-1935; Iñesta, 1988). Otra característica particular en esta sierra es el desarrollo, hacia techo de este conjunto, de un paleokarst al que hay asociados gran cantidad de diques neptúnicos (García-Hernández *et al.*, 1988; Nieto, *op. cit.*). La potencia de esta formación, la más extensa de la Sierra del Reclot, sobrepasa 250 m. Como rasgo característico, también muestra una superficie a techo representado por una costra limonítica o *hard-ground* sobre el que se encuentra un nivel condensado con abundantes ammonites del Domeriense inferior. En consecuencia, la edad de este conjunto de materiales está comprendida entre el Hettangiense y el Domeriense inferior (Lillo, 1973a; Colmenero *et al.*, 1974; Azéma, 1977; Iñesta, 1988; Nieto, 1996).

- Calizas y Margocalizas con pasadas de Margas amarillas (J-2). He preferido incluir bajo esta unidad litoestratigráfica las denominadas formaciones Zegrí y Veleta definidas por

Nieto (1996), dado que, a veces, la Formación Zegrí no se encuentra bien representada y la Formación Veleta puede descansar directamente sobre las calizas y dolomías del apartado anterior.

Sobre la unidad J-1 aparece este otro conjunto constituido por una alternancia de calizas y margocalizas con algunos niveles de margas de coloraciones amarillas (Formación Zegrí de Nieto, *op. cit.*), en las que pueden aparecer restos de ammonites y belemnites. Se trata de materiales pelágicos micríticos. Su potencia media en la Sierra de Crevillente se puede estimar en unos 20-25 m. Se encuentran bien expuestos en algunos cortes de la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente, así como en el Cerro Caminanto y la Sierra de Ofra. No obstante, no aparece de forma continua, pudiendo estar ausente. La edad de estos materiales está comprendida entre el Domeriense medio y el Bajociense inferior-medio. A techo de estos materiales existe otro *hard-ground* en el que se encuentra fauna del Aalenense (Nieto, *op. cit.*). En la Sierra de Algayat se presenta con características idénticas a la Sierra de Crevillente, aunque tan sólo aflora en la Sierra del Rollo.

Este tramo se encuentra bien representado en el Cerro de la Cruz dentro del conjunto Reclot, donde además presenta otro tramo superior de calizas rosadas, a veces nodulosas. Sin embargo, no se encuentra a lo largo de toda la Sierra del Reclot, ya que se puede acuñar lateralmente. En el techo hay un *hard-ground* en el que se produce el desarrollo de estromatolitos y condensación de fauna, y que pone de manifiesto la existencia de una discontinuidad estratigráfica. La ausencia de esta formación provoca una importante laguna estratigráfica en la que los *hard-grounds* de techo y muro son coincidentes (García Hernández *et al.*, 1988).

Sobre los materiales descritos se dispone un conjunto de calizas micríticas grisáceas bien estratificadas, que se caracterizan por presentar abundantes nódulos de sílex que en algunos puntos llegan a producir capas discontinuas de espesor centimétrico o decimétrico. Corresponden estos materiales a la Formación Veleta de edad Bajociense medio-superior (Nieto, *op. cit.*). Se incluyen también en este conjunto algunos niveles algo más calcareníticos en los que se desarrollan laminaciones onduladas, interpretadas en otras partes del Subbético Externo como tempestitas (Molina *et al.*, 1986-87). La potencia media es de unos 30 m. Los mejores afloramientos se presentan en los pequeños relieves situados al N de la Sierra de Crevillente, tales como el Cerro Caminanto, Sierra de la Ofra, así como en la misma Sierra de Crevillente.

En el extremo oriental de la Sierra de Algayat, y más concretamente en la Sierra del Rollo, inmediatamente sobre el *hard-ground* existente entre el Lías superior y el Dogger, descansa la serie de calizas micríticas con algunos bancos calcareníticos esparíticos y niveles silicificados. La presencia de nódulos de sílex en este sector es ocasional.

- Calizas y margocalizas rojas (J-3). Se ha denominado Formación Ammonítico Rosso Superior por Nieto *op. cit.* Está constituida principalmente por calizas nodulosas, calizas margosas y margocalizas de colores rojos. Su coloración y, sobre todo, su aspecto noduloso las hace fácilmente distinguibles en el paisaje. Las calizas aparecen bien estratificadas en estratos centimétricos, y su microfacies son principalmente wackestones con filamentos, fragmentos de moluscos y radiolarios, entre otros. Además, incluyen niveles con abundante macrofauna de ammonites, belemnites y braquiópodos. Hacia techo existen niveles de calizas blancas con brechas intraformacionales, y ocasionalmente nódulos silíceos. La potencia que adquieren es variable, pudiendo oscilar entre 20 y 40 m. Se encuentran bien representadas en la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente, estando más desarrolladas en la terminación oriental de la misma. La edad de estos materiales es Bajociense superior Berriasiense basal (Lillo, 1973 y 1976; Colmenero *et al.*, 1974; Azéma, 1977; Nieto, *op. cit.*)

Las características litológicas de esta formación para la Sierra de Algayat son similares a las descritas para Crevillente. Los afloramientos son mucho más reducidos, si bien se tiene constancia de estos materiales en algunos puntos de la Sierra del Rollo desde el siglo pasado (Botella, 1854 *in* Azéma, 1977), el mayor desarrollo de los mismos se encuentra en la vertiente septentrional, donde están pinzados tectónicamente.

En lo que respecta a la Sierra del Reclot, sobre el *hard-ground* del Jurásico inferior, engloba materiales correspondientes tanto al Jurásico medio (ya tratado en el apartado anterior) como al Jurásico superior, todos ellos bajo facies de calizas rojas más o menos nodulosas. Las calizas del Jurásico superior ofrecen facies más netamente nodulosas, análogas a las anteriormente descritas para las otras sierras. La potencia media de esta formación se estima en unos 50 m. En general, estos materiales se encuentran bien representados en la parte oriental de la Sierra del Reclot, así como en el Cerro de la Cruz. A efectos prácticos, debido a la dificultad que representa en esta sierra la distinción entre J-2 y J-3, he optado por su representación cartográfica conjunta (J2-J3)

- Margas blancas y verdes (C-1). Incluyo bajo esta denominación los materiales que engloban las formaciones Carretero y Represa (Nieto, *op. cit.*), dado que, el paso de una a otra se produce de forma gradual y, generalmente, se encuentra cubierto por suelos. Se trata de un conjunto de margas blanquecinas, margas arenosas verdes, y calizas margosas bien estratificadas. En los tramos inferiores de esta formación hay abundantes fósiles: pígopes, ammonites, belemnites y *Aptychus*, entre otros. La edad de estos materiales se atribuye al Neocomiense. La parte superior ofrece un aspecto más "abudinado" y, aunque incluye menor cantidad de fauna de ammonites, en lámina delgada se aprecian *Pithonellas* y *Hedbergellas* que le asignan una edad Albiense superior. La potencia media estimada para esta unidad litoestratigráfica es de 100 m, pudiendo sobrepasar los 130 m.

En la Sierra de Crevillente, los principales afloramientos de estos materiales se encuentran en su vertiente meridional (Azéma y Sornay, 1966), así como en algunos afloramientos aislados en las inmediaciones de Hondón de las Nieves. La mayor parte de los afloramientos corresponden a los tramos superiores, estando la Formación Carretero menos representada. También al N de la Sierra de Crevillente, dando origen a la pequeña depresión en las inmediaciones de Hondón de las Nieves, afloran las margas y margocalizas verdes de la parte superior.

Al SW de la Sierra de Algayat, afloran materiales de esta unidad en las inmediaciones de La Canalosa. Este afloramiento había sido interpretado como una ventana prebética (Fallot, 1932b, Azéma, 1977).

Ocupando la depresión de Algueña-La Romana, enmarcado entre los relieves de la Sierra de Algayat y Sierra del Reclot, afloran de forma extensa las margas blancas y amarillas de similares características a las descritas anteriormente. En algunos sectores ofrecen gran abundancia en ammonites y *Aptychus*, y presentan cierta disarmonía en su estructura.

- Calizas blancas con Globotruncanas (C-2). Se corresponde con la denominada Formación Quípar-Jorquera (Nieto, *op. cit.*). En ella se pueden distinguir dos tramos bien diferenciados. El inferior constituido por calizas y calizas margosas blancas micríticas bien estratificadas con biofacies de Globotruncanas, y el superior formado por turbiditas calcáreas. La edad asignada a esta unidad corresponde al Cretácico superior.

En la Sierra de Crevillente afloran en su vertiente suroriental, alcanzando una potencia en torno a los 150 m. El otro afloramiento de estos materiales se encuentra en las inmediaciones de La Canalosa.

- Calizas areniscosas (M) Se trata de materiales del Mioceno inferior que se superponen tanto al Triásico y otros términos del Subbético. Se encuentran bien representadas en el Cerro de Monte Alto y Sierra de Abanilla, así como en algunos puntos concretos de la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente. Se reconocen por ofrecer un paisaje característico denominado Ventanas de Albaterra, originado por procesos eólicos.

En Crevillente está representada únicamente por calizas blancas y amarillas, más o menos arenosas con restos de algas y pectínidos. En su parte basal puede aparecer algún nivel margoso. La asociación faunística que contienen pertenece al Mioceno inferior. Los afloramientos más extensos están en las inmediaciones de San Cayetano y del Barranco de Amorós. Otro pequeño afloramiento, de apenas una decena de metros, aflora al SW de Hondón de las Nieves



- Depósitos recientes (P-Q). Se trata de depósitos detríticos, fundamentalmente conglomerados, arenas y limos, los cuales se disponen como rellenos en las zonas más deprimidas, y como recubrimientos de canchales en las laderas de los relieves. Estos depósitos están bien representados en las depresiones de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes, Algueña-La Romana y Barranco del Tolomó. También son parte del relleno de la Vega de Aspe y Vega Baja del Segura.

Las mayores potencias de estos materiales se han alcanzado en el Barranco del Tolomó, ya que algunos sondeos han llegado a superar más de 100 m de espesor. El hecho de que estos depósitos alcancen tanto desarrollo hace sospechar que parte de los mismos corresponda a materiales del Mioceno superior con características similares. En este sentido, en la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente afloran conglomerados, arenas y margas en facies fluviales de edad Tortoniense terminal-Messiniense (Alfaro, 1995). La potencia máxima aparece en las inmediaciones de la carretera de Albaterra-Hondón de los Frailes, donde se llegan a desarrollar espesores de 250 m.

## 2.2. TECTÓNICA

La estructuración del área presenta bastante complejidad, puesto que se encuentra en el contacto entre los dos grandes dominios tectonopaleogeográficos de las Zonas Externas: Subbético y Prebético (figuras 28 y 29). El conjunto de relieves que constituye el Acuífero de Crevillente está formado por materiales pertenecientes al Subbético Externo, que cabalgan a los terrenos prebéticos más modernos (Darder, 1933; Fallot, 1945; Azéma, 1977). La figura 29 muestra algunos cortes que muestran con mayor detalle la estructura de este acuífero.

El frente de cabalgamiento se sitúa en la vertiente septentrional de la Sierra del Reclot donde las calizas y dolomías subbéticas liásicas se disponen encima de la serie prebética terciaria que forman los relieves de la Sierra del Coto y de Gorgorí. Entre ambos dominios existe una franja continua, más o menos estrecha, constituida por yesos y arcillas rojas del Trías, la cual ha actuado como nivel de despegue del cabalgamiento subbético (Gallego *et al.*, 1981).

La Sierra del Reclot ofrece una estructura simple y constituye el flanco septentrional del sinclinal Algueña-La Romana de dirección ENE-WSW y en cuyo núcleo, situado en la depresión de Algueña-La Romana, afloran las margas cretácicas. En general, los buzamientos que se adquieren en este relieve no son muy fuertes. Sin embargo, a pesar de la aparente simplicidad, en su vertiente S está afectada por algunas fallas que retocan la estructura, hundiendo algunos bloques. El más importante de ellos es el que origina Sierra Pelada, en el cual está representada la mayor parte de los términos que constituyen la serie jurásica. Esta pequeña sierra forma un anticlinal de orientación N-S.



Universitat d'Alacant  
 Universidad de Alicante

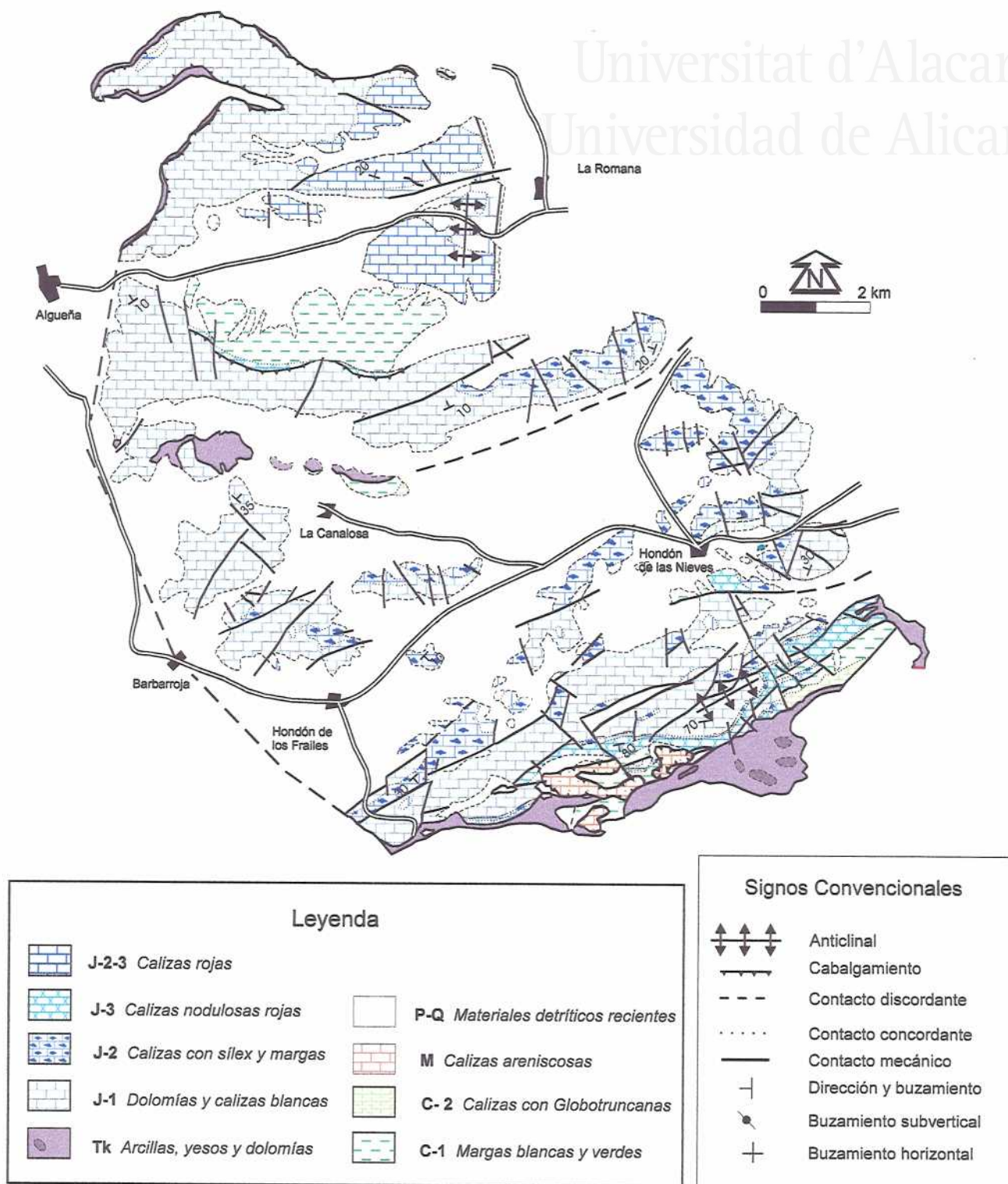
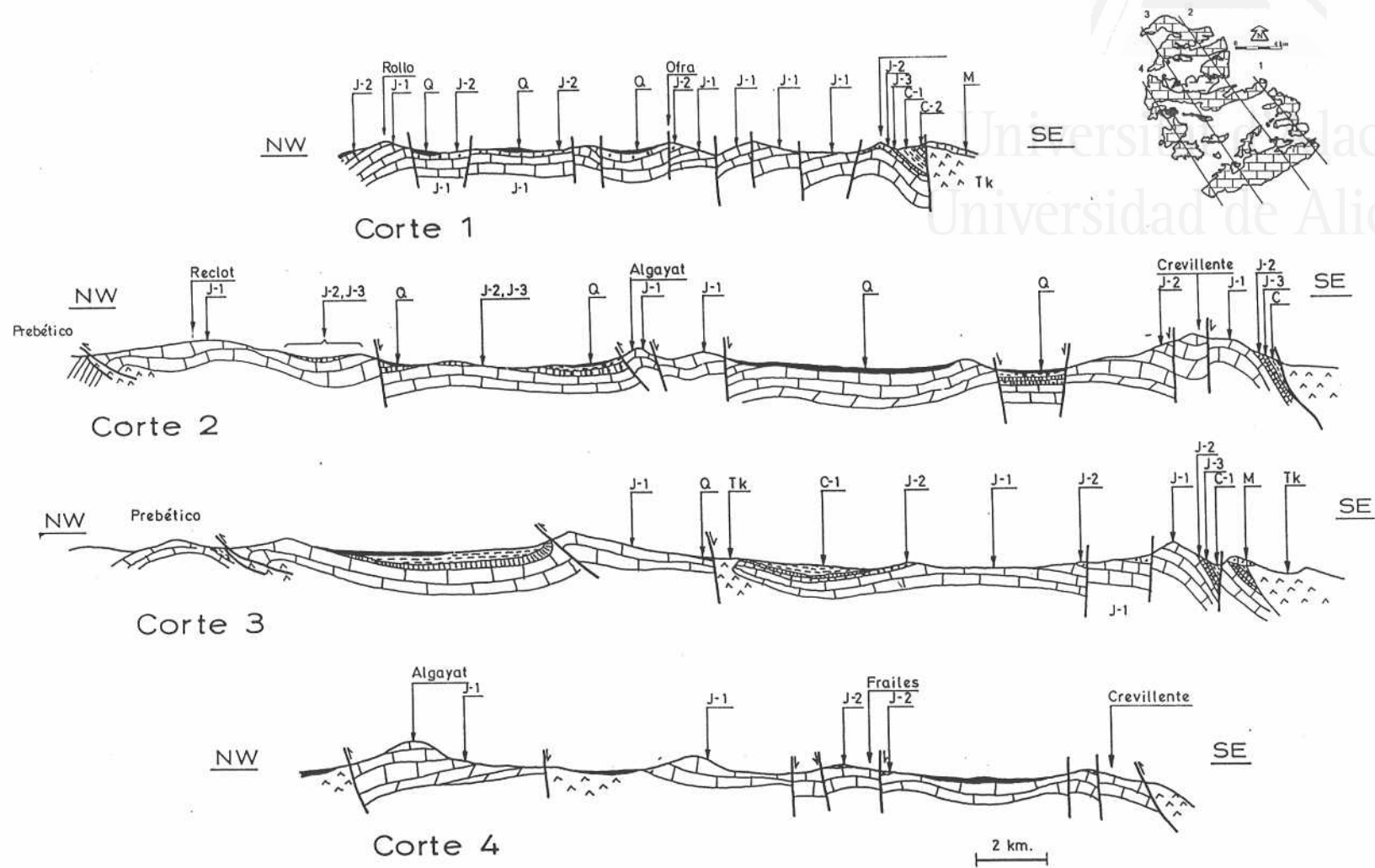


Figura 28. Mapa geológico del Acuífero de Crevillente.

Figura 29. Cortes geológicos del Acuífero de Crevillente.



La Sierra de Algayat tiene una estructura anticlinal de dirección ENE-WSW vergente al N-NW constituida mayoritariamente por materiales liásicos. El flanco septentrional está afectado por una falla inversa que provoca la superposición del bloque de Algayat sobre los materiales cretácicos del sinclinal Algueña-La Romana. El flanco meridional también presenta una complejidad tectónica importante, ya que está cortado por fallas normales que perturban la sucesión de los materiales jurásicos y cretácicos. Esta estructuración se pone de manifiesto en la parte SE en las inmediaciones de La Canalosa donde, aprovechando esta zona de fractura, extruye una banda triásica de yesos. Asimismo, el anticlinal de Algayat se encuentra afectado por diversas fracturas de componente N-S que la cortan hundiendo y reestructurando diferentes bloques.

La Sierra de Crevillente también tiene una estructura anticlinal de dirección ENE-WSW que presenta un hundimiento hacia el E.

El flanco meridional de la Sierra de Crevillente presenta buzamientos superiores a 45° hacia el S-SE. A lo largo de todo el flanco, y en mayor medida en la parte oriental, se encuentran bien representados los distintos materiales supraliásicos. En el sector del Puntal de Matamoros existe continuidad estratigráfica hasta la unidad C-2 del Cretácico superior. La continuidad de la serie en este flanco se interrumpe por el Accidente Cádiz-Alicante (Sanz de Galdeano, 1983), el cual se manifiesta por una banda de arcillas y yesos triásicos que separa los materiales mesozoicos de los postorogénicos. Esta banda triásica se prolonga por toda la vertiente presentando continuidad hacia el SW en la Sierra de Abanilla, mientras que hacia el NE es cubierta por los materiales neógenos poco después de acabar la Sierra de Crevillente.

En el flanco septentrional existen una serie de fallas normales con componente de desgarre de dirección WSW-ENE que hunden sistemáticamente los bloques hacia el N donde se sitúa la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes. En esta depresión los materiales recientes recubren una estructura en sinclinorio fracturado. Otros juegos de fallas afectan a la estructuración hundiendo los bloques situados hacia los extremos.

En definitiva, el anticlinal de la Sierra de Crevillente presenta una estructura compleja de bloques levantados y hundidos, debido a la actuación conjunta de las familias de fallas, unas de dirección subperpendicular al eje del pliegue y otras de dirección subparalela

## 2.3. GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA

### 2.3.1. Modelado

Desde el punto de vista geomorfológico el área de estudio está conformada por

varias alineaciones montañosas carbonáticas principales: Sierra de Crevillente, Sierra de Algayat-Rollo y Sierra del Reclot, entre las que se sitúan unas depresiones rellenas por materiales margosos y/o detríticos. Esta disposición es claramente estructural, de forma que, las partes elevadas que constituyen los relieves coinciden en su mayor parte con antiformes, mientras que las depresiones lo harán con sinformes. El desarrollo del paisaje kárstico se produce únicamente en las partes altas.

A pesar de que en principio la constitución litológica de estos relieves es favorable para el desarrollo del paisaje kárstico, su ubicación bio-climática dentro de la región mediterránea de características semiáridas refuerzan los factores limitantes del desarrollo de este tipo de modelado (López Límia y López Bermúdez, 1987; García Codrón, 1989; López Bermúdez y López Limia, 1989). Las escasas precipitaciones y la fuerte evaporación, que provocan una significativa escasez de agua, hacen que, en líneas generales, la karstificación actual sea muy pequeña y apenas se refleje en formas exokársticas.

El modelado kárstico de esta área no responde a una sucesión de formas espectaculares, sino por el contrario, inicialmente dan la impresión de que no presentan karstificación alguna. No obstante, la karstificación está presente, si bien, las formas más visibles, como son las superficiales, suelen estar representadas casi exclusivamente por los lapiaces de dimensiones modestas desarrollados únicamente en sectores muy localizados (figura 30).

En este estudio no se han realizado determinaciones concretas sobre la tasa de disolución actual, si bien mediante la extrapolación de los datos obtenidos por Garay (1985) y Garay *et al.* (1988) para algunos relieves del N de la provincia de Alicante, es posible estimar que para esta región las tasas de disolución específicas sean inferiores a 25 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año, valores típicos de karsts desarrollados en climas semiáridos.

De los materiales que constituyen este conjunto subbético, las calizas del Jurásico inferior son las que mejores condiciones ofrecen para el desarrollo de la karstificación. Ello se debe a que conservan un grado de pureza elevado y apenas incluyen niveles margosos intercalados.

#### - Formas exokársticas

Las principales y prácticamente únicas formas exokársticas que se observan son los lapiaces o lenares. Se trata de las formas de disolución más características del karst superficial, por lo que han sido objeto de numerosos estudios y clasificaciones en la literatura (Sweeting, 1972; Bögli, 1980; Ford y Williams, 1989).



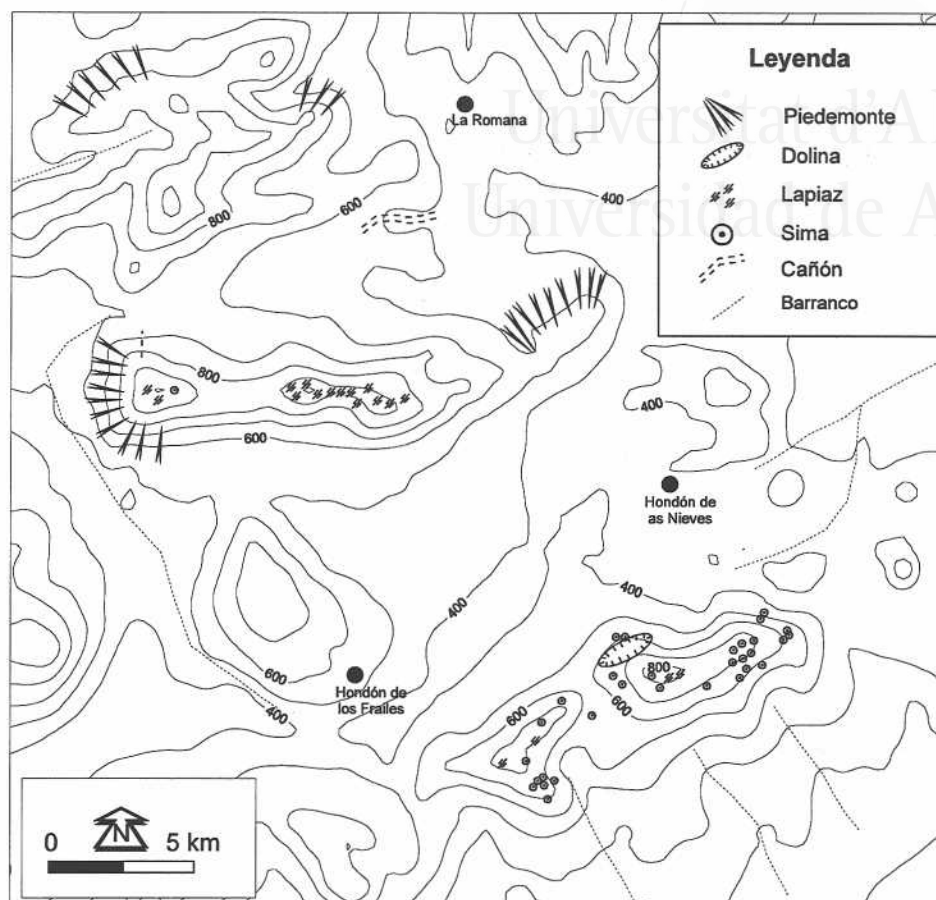


Figura 30. Esquema geomorfológico del área que comprende el Acuífero de Crevillente.

El lapiaz que se desarrolla en estos relieves corresponde a un lapiaz desnudo, es decir, sin cobertera vegetal, originado como consecuencia del ataque químico del agua de precipitación cargada en  $\text{CO}_2$  atmosférico y del bioquímico de hongos y líquenes que pudieran estar adheridos a la roca. En general, muestran un tamaño centimétrico y, en condiciones favorables, decimétrico. Entre las distintas formas de lapiaces encontradas en estos relieves están los que se desarrollan sobre superficies planas desnudas, de forma que el agua circula por ciertas vías preferenciales y moldea unas pequeñas crestas agudas. A este tipo de lapiaz se denomina lapiaz en acanaladura (*Rillenkarren*). También se observa lapiaz de diaclasas o fisuras (*Kluftkarren*), conocido como lapiaz estructural. Al igual que el anterior, se trata de un lapiaz poco desarrollado, originado a partir de la disolución de las paredes de las diaclasas y fracturas de la roca cuando circula el agua de precipitación.

En los afloramientos de dolomías bastante brechificadas, a veces se puede observar un lapiaz de microfisuras, aunque la mayoría de las veces de muy escaso desarrollo.

Respecto a formas mayores, tan sólo he reconocido en la Sierra de Crevillente una depresión cerrada cuyo drenaje es endorréico, con fondo más o menos plano y rodeado por relieves calcáreos. Su morfología es alargada en la dirección SW-NE con una longitud de unos 800 m y una anchura de 200 m. Su génesis ha estado ligada a un control tectónico, puesto que sus bordes coinciden con fracturas que sugieren el hundimiento de este bloque. Se trata de una pequeña fosa tectónica o polje estructural (Ford y Williams, *op.cit.*), si bien dado que su extensión es inferior a 1 km<sup>2</sup> no sería un polje en *s. str.*, sino más bien una dolina alargada de escala hectométrica.

También, como formas fluviokársticas, se puede destacar la presencia de ciertos barrancos. A título de ejemplo cabe destacar un pequeño cañon kárstico emplazado en Sierra Pelada, ya que la rambla procedente de la depresión de La Algueña-La Romana atraviesa la barrera carbonática que constituye Sierra Pelada y queda encajada entre paredes más o menos verticales.

#### - Formas endokársticas

A pesar de que no se conozca ninguna cavidad de dimensiones suficientes como para constituir una red espeleológica, hay pruebas que corroboran la existencia de un endokarst. Así, en la Sierra de Crevillente se han reconocido alrededor de 40 simas o cavidades penetrables aunque de escaso desarrollo (Mas, 1984). El análisis de algunas de las topografías pone de manifiesto un predominio de las cavidades subverticales con secciones en planta alargadas y estrechas. Las profundidades oscilan entre 2 ó 3 m y 80 m. Su ubicación muestra un agrupamiento que corresponde con áreas bastante fracturadas, lo que evidencia su origen tectónico. Se trata, por tanto, de fracturas y diaclasas ensanchadas por la disolución posterior del agua. En alguna de ellas existen concreciones y espeleotemas (Mas, *op. cit.*). También, en la Sierra de Algayat y del Rollo se han desarrollado algunas simas de similares características.

En el interior de la Galería de los Suizos, cuya profundidad respecto la superficie topográfica supera los 200 m, se pueden observar diaclasas y fracturas abiertas. Algunas de ellas presentan una separación entre labios superior al metro. Estas fracturas se presentan tanto en calizas como en dolomías.

La información obtenida a partir de las columnas de sondeos y de la visualización de películas de vídeo introducidas en captaciones sin entubar, muestran la presencia de tramos con cavernas y huecos que también corroboran la existencia de un endokarst.

En la Sierra del Reclot la parte superior de la unidad J-1, presenta cavidades de morfología kárstica (diques neptúnicos) rellenas con calizas pelágicas rojas de edad más



reciente, lo que parece responder a un paleokarst (García-Hernández *et al.*, 1988). Otra característica común de estos relieves subbéticos son las numerosas fracturas y diaclasas que se presentan totalmente selladas por crecimientos cristalinos de calcita. Estas recristalizaciones calcíticas en antiguas fracturas abiertas han sido interpretadas como testigos de paleokarstificación en otros macizos carbonáticos de similares características dentro de la Cordillera Bética (Delannoy, 1987; López Chicano, 1992).

En resumen, en el Acuífero de Crevillente no se ha podido constatar una red espeleológica bien jerarquizada típica de acuíferos kársticos *s.str.* (Mangin, 1975); por el contrario, sí existen numerosas cavidades de pequeña entidad que no suelen tener mucha continuidad. Esta característica es típica de gran parte de los macizos carbonáticos subbéticos (Díaz del Olmo y Delannoy, 1989), ya que la intensa fracturación ligada a las sucesivas fases orogénicas y a la estructuración local provocan una extrema dispersión del drenaje que parece no haber permitido el desarrollo de buenas redes espeleológicas.

### 2.3.2. Evolución del relieve y fases de karstificación

La dilatada y compleja evolución paleogeográfica que ha sufrido este conjunto subbético ha permitido la aparición en el tiempo de varias exposiciones favorables para el desarrollo de la karstificación. En general, estas situaciones han coincidido con eventos de naturaleza tectónica o eustática de significación paleogeográfica importante.

Las primeras karstificaciones sobre las que se tiene constancia datan del periodo Liásico y Jurásico medio. Como consecuencia del inicio de la apertura del Atlántico, hace unos 180-190 millones de años, se produjo la fragmentación de la plataforma del Lías y la emersión de ciertos sectores por encima del nivel del mar, de tal forma que varios episodios de karstificación han quedado bien representados en gran parte de los materiales liásicos del subbético (Vera *et al.*, 1988; Martín Algarra *et al.*, 1989). En este área, y concretamente en la Sierra del Reclot existen evidencias de al menos dos episodios de karstificación (García Hernández *et al.*, *op. cit.*).

La configuración estructural definitiva del área se produjo al final del Serravalliense. En este periodo se origina el levantamiento y erosión regional de toda la Cordillera Bética, subsecuente a las fases principales del paroxismo orogénico del Mioceno inferior, durante las cuales se produjo el cabalgamiento de los materiales subbéticos sobre los prebéticos (Fallot, 1945; Azéma, 1977). Es muy probable que esta región quedara emergida a partir de entonces. Esta situación de exposición subaérea es defendida a partir del Tortoniense inferior por Montenat (1973) y Dumas (1977), a pesar de la transgresión generalizada que sufrió la Cordillera Bética con posterioridad. Tras la fase tectónica intratortoniense, a la que se asocian importantes movimientos verticales, se corrobora que gran parte del conjunto

subbético del Acuífero de Crevillente está emergido, puesto que los depósitos de esta edad situados al S de la Sierra de Crevillente son de facies aluviales (Montenat, *op. cit.*; Alfaro, 1995).

La situación geodinámica de elevación del sector subbético se mantuvo durante el Plioceno inferior. En el Plioceno medio las evidencias de deformación en compresión son de menor intensidad y mucho más localizadas (Alfaro, *op cit.*), de forma que se inicia una época de cierta relajación en la que se originan fallas verticales que provocarán el hundimiento de algunos bloques y desarrollarán pequeñas cuencas como las de la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes, aunque los depósitos encontrados en ellas siguen siendo de carácter continental.

En definitiva, todo apunta a que en buena parte de estos relieves los procesos de karstificación posiblemente se iniciaron tras la configuración de la Cordillera, permaneciendo de forma continua hasta nuestros días. El hecho de que el exokarst no esté muy desarrollado podría deberse a factores climáticos, tectónicos y litológicos.

### 3. ACUÍFERO DEL CID

#### 3.1. LITOESTRATIGRAFÍA

Para realizar la descripción de los aspectos estratigráficos que presentan los materiales que constituyen la Sierra del Cid y sus alrededores también he preferido definir una serie de unidades litoestratigráficas informales (figuras 31 y 33), las cuales describo de forma resumida a continuación:

- Arcillas con yesos (Tk). Se componen principalmente de arcillas rojas y rocas evaporíticas de edad triásica. Ofrecen características semejantes a los descritos anteriormente para el Acuífero de Crevillente. Afloran ampliamente en el Valle del Río Vinalopó; también se encuentran en La Venteta y en menor extensión al N de Serreta Larga.
- Calizas y margocalizas jurásicas (J). La extensión de su afloramiento se reduce únicamente a unos pequeños cerros situados en las proximidades de la Venteta al E de la Sierra del Cid, por lo que he englobado bajo este epígrafe las diferentes litologías que presenta. A grandes rasgos se compone de dolomías, calizas con filamentos, calizas margosas y margocalizas a veces con ammonites. Se encuentran siempre relacionadas con fallas y con materiales triásicos. La potencia estimada para esta serie jurásica es de unos 130 m, mientras que la edad abarca desde el Dogger al Kimmeridgiense (Leclerc, 1971).

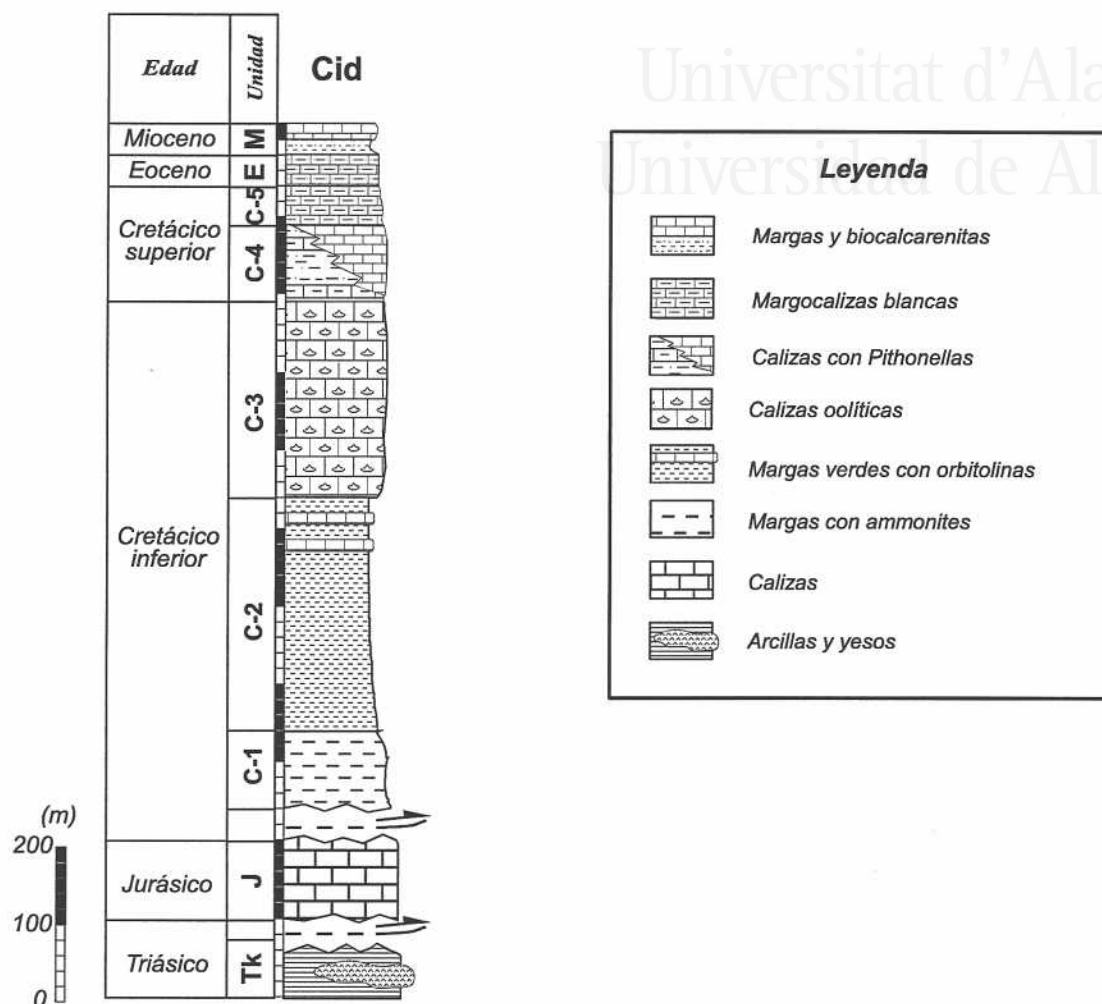


Figura 31. Serie sintética de la Sierra del Cid.

- Margas con ammonites (C-1). Corresponde a la denominada Formación Los Villares definida para el Prebético y Unidades Intermedias (Ruiz-Ortiz, 1980; Vera *et al.*, 1982). Se trata de un tramo compuesto fundamentalmente por margas blancas y grises con algunos bancos de margocalizas y calizas margosas. Se caracterizan por presentar fragmentos de ammonites y belemnites, a veces ferruginosos y piritizados. Los afloramientos no son muy abundantes en las inmediaciones de la Sierra del Cid, encontrándose un pequeño afloramiento al N de la Venteta. Su potencia media estimada en el Barranco de la Almadrava, situado al N de la Sierra del Cid, es de 100 m (Leclerc, 1971). La edad de estos materiales ha sido asignada al Neocomiense-Barremiense (Jiménez de Cisneros, 1907; Leclerc, 1971; Leclerc y Azéma, 1976; Azéma, 1977).

- Margas con braquiopodos y orbitolinas (C-2). Se trata de un conjunto bien estratificado compuesto de margas arenosas de colores verdes y amarillas a veces con orbitolinas, en las que alternan tramos más o menos carbonáticos y biocalcarentíficos, así como lentejones más detríticos a medida que se asciende en la serie. Existen niveles muy ricos en braquiópodos y lamelibranquios (Jiménez de Cisneros, 1907 y 1910). Este conjunto se correlaciona bien con la Formación Arroyo de los Anchos (García Hernández, 1979; Vera *et al.*, 1982). Las series más completas de esta unidad se observan en las vertientes septentrional y oriental de la Sierra del Cid, en donde se alcanzan potencias superiores a los 300 m. Los datos bioestratigráficos indican una edad Albiense superior para la parte alta de esta unidad (Leclerc, 1971; Leclerc y Azéma, 1976; Azéma, 1977).

- Calizas oolíticas (C-3). Por encima del conjunto anterior se dispone un tramo de potentes bancos de calizas oolíticas. Se trata de una barra calcárea de packstones y grainstones ricas en oolitos y orbitolinas, y con restos de moluscos, equinodermos, briozoos y otros bioclastos. Esta unidad, bien desarrollada en esta parte del Prebético (Jerez, 1981), corresponde al miembro inferior de la Formación Caliza de Jaén (Sanz de Galdeano, 1973; Vera, *op. cit.*) y Formación Cid (Rodríguez Estrella, 1977a). La edad asignada por Leclerc (1971) es Cenomaniense inferior, mientras que para Azéma (1977) es Vraconiense-Cenomaniense inferior. La potencia de esta barra carbonática alcanza los 200 m (Azéma, 1977), aunque en los Llanos del Cid los sondeos efectuados han cortado potencias reales que llegan a sobrepasar los 250 m.

- Calizas y margocalizas con Pithonellas (C-4). Se incluye bajo este epígrafe una serie rítmica compuesta por un conjunto de litologías variadas, en las que se incluyen calizas, calizas margosas, margocalizas y, en menor medida, margas que se corresponde con la parte superior de la Formación Caliza de Jaén. En algunos puntos como en el NW del la cima del Cid, se encuentran dispuestos sobre una superficie con acumulaciones de óxidos que podría corresponder a una interrupción sedimentaria. En esta unidad se pueden distinguir una parte basal, en la que predominan las margocalizas con intercalaciones de calizas y algunas pasadas de margas de coloraciones verdes, y una parte superior que gradualmente se hace más calcárea, y en la que predominan las calizas micríticas de colores beige y blancas con Pithonellas y, a veces, con nódulos de sílex. Estos dos tramos que están bien expuestos en la vertiente occidental de la Sierra del Cid, no se mantienen con igual espesor a lo largo de todo el área, pudiendo incluso llegar a faltar alguno de ellos. El espesor que puede alcanzar esta unidad es superior a los 100 m. La edad del tramo inferior corresponde al Cenomaniense inferior, mientras que el superior puede corresponder al "Senoniense" (Azéma, 1977).

- Margocalizas, calizas y margas con Globotruncanas (C-5). Equivale a la denominada Formación Quípar-Jorquera (Vera *et al.*, 1982). Afloran de forma extensa en la vertiente oriental de la Sierra del Cid y en gran parte de la Vega de Agost. Se compone

mayoritariamente de calizas margosas, margocalizas, calizas micríticas e incluso margas; presentan coloraciones blancas y se caracterizan por la gran abundancia de Globotruncanas y presentarse en estratos delgados muy replegados. La potencia de esta formación llega a superar los 200 m (Leret *et al.*, 1976), si bien en las inmediaciones de la Sierra del Cid, no superan el centenar de metros. La asociación faunística librada por estos materiales corresponde al Turoniense-"Senoniense" (Azéma, *op.cit.*).

- Margocalizas y margas eocenas (E). Dentro del área de estudio afloran en muy poca extensión, tan sólo en unos pequeños resaltes de la Vega de Agost y en las inmediaciones de la Venteta. Se encuentran siempre superpuestas a los materiales del "Senoniense" y el paso de unas a otras es difuso y gradual. Esta unidad se compone fundamentalmente por una alternancia de margas, calizas margo-arenosas y algunas pasadas de calcarenitas bioclásticas. El espesor que desarrollan en las inmediaciones de la Sierra del Cid no supera la cuarentena de metros. La edad asignada es Eoceno (Leclerc, 1971).

- Biocalcarenitas y margas miocenas (M). Se agrupan en esta unidad dos litologías claramente diferentes. En los afloramientos meridionales del área de estudio existe un tramo inferior compuesto por margas arenosas blanco-grisáceas, y un paquete superior de calizas bioclásticas en la que se observa la presencia de algas calcáreas, briozoos, fragmentos de moluscos y equínidos. Afloran al S de los Llanos del Cid, y en diversos puntos de la vertiente SW de la Sierra del Cid. Descansan de forma discordante, bien sobre las calizas y margocalizas del Cretácico superior, bien directamente sobre las arcillas y yesos del Trías. Las dataciones efectuadas en estos materiales comprenden desde el Mioceno inferior al Mioceno medio (Azéma, 1977). En los afloramientos de la parte meridional del área de estudio se ha podido hacer la diferenciación cartográfica de los tramos de esta unidad distinguiendo entre el tramo inferior margoso (Mm) y el superior biocalcarenítico (Mc).

- Conglomerados, arenas y limos recientes (P-O). Los depósitos recientes relacionados con este relieve se disponen mayoritariamente en las vertientes meridional y oriental del relieve del Cid. Se componen de cantos heterométricos procedentes de la erosión del macizo, arenas y limos. Gran parte de las veces están cementados y encostrados. En el paisaje dan origen a glacis de amplia extensión. Estos glacis van recubriendo todos los materiales de las zonas deprimidas y sólo se ven interrumpidos por la presencia de barrancos, en donde la erosión excava y muestra el substrato rocoso. La potencia de estos materiales es de escasos metros, si bien en las proximidades de Agost adquieren un mayor espesor.

### 3.2. TECTÓNICA

La Sierra del Cid junto a la Sierra de Ventós, forma parte de una gran unidad



estructural denominada Cid-Ventós (figura 32), la cual cabalga hacia el N sobre la unidad estructural Carrasqueta-Maigmo (Leret *et al.*, 1976). La superficie del cabalgamiento, que transcurre con una dirección E-W a 1 km al N de la Silla del Cid, aflora en el paraje de la Venteta, próximo a la base de la Sierra del Cid. Asociado a esta superficie de cabalgamiento existen arcillas y yesos triásicos así como algunos restos de la serie jurásica. A su vez esta unidad es cabalgada por el S por la Unidad de Gil Martínez.

El relieve de la Sierra del Cid está controlado por una secuencia monoclinall buzante entre 25 y 40° hacia el W. Esta estructura es cortada por numerosas fallas verticales o de gran ángulo que, como norma general, hundén progresivamente los bloques meridionales. Algunas de estas fracturas de dirección WSW-ENE presentan saltos de cierta entidad que llegan a superar los 300 m. El resultado es una estructura escalonada cuya base se sitúa en los Llanos del Cid, donde aflora la secuencia cretácica. Entre la parte N de Serreta Larga y la Mama del Cid otras fracturas de dirección próxima a la N-S rompen la estructura previa y provocan hundimientos y levantamientos de bloques laterales en "teclas de piano" (figuras 33 y 34).

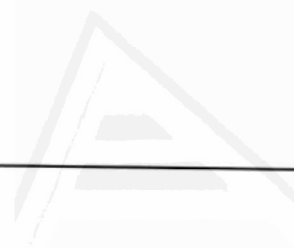


Figura 32. Esquema tectónico de la Sierra del Cid.

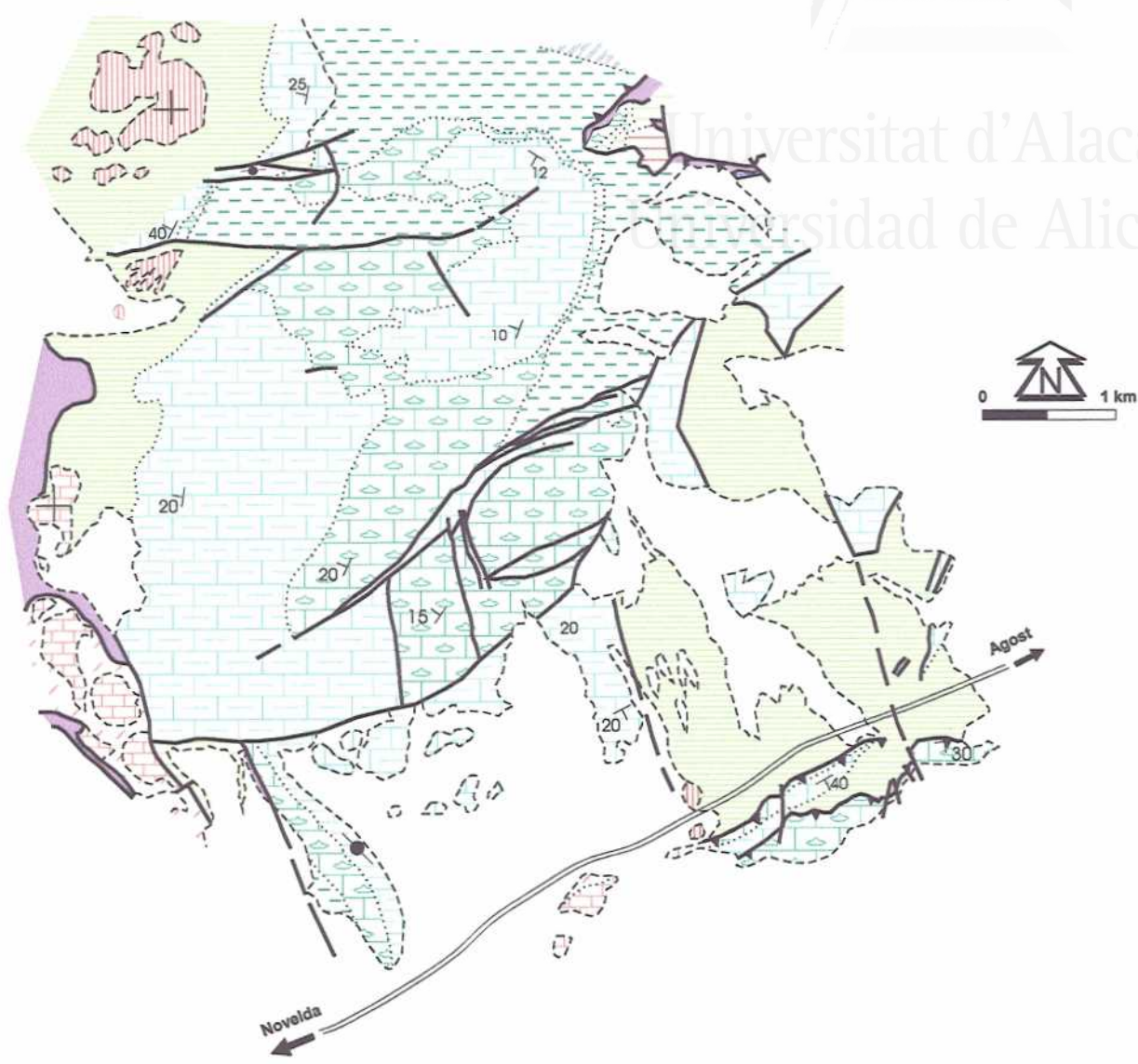
Hacia el W, la serie cretácica está cortada bruscamente por las arcillas y yesos del Triásico antes de alcanzar el curso del Río Vinalopó. Se trata de un contacto mecánico relacionado con la extrusión diapírica de los materiales triásicos (Leret *et al.*, 1976). Esta actividad diapírica hace que sobre las arcillas y yesos triásicos, se apoyen directamente tanto los materiales del "Senoniense" como los terciarios; éste es el caso de los pequeños relieves del W de la Sierra del Cid como la Loma de la Chirichola.

En la parte SW del área de estudio, la Serreta Larga está constituida por calizas y calcarenitas de la unidad C-3 con una dirección N-S y un buzamiento que supera los 70° hacia el E. Esta disposición estructural también parece estar relacionada con el empuje diapírico de los materiales triásicos al W de la misma, los cuales aprovechan una fractura de dirección N-S para extruir. La existencia de arcillas rojas del Triásico en la parte NW de Serreta Larga apoya esta hipótesis.





Universitat d'Alacant  
 Universidad de Alicante



Leyenda	
	C-4 Calizas y Margocalizas
	C-3 Calizas oolíticas
	C-2 Margas con orbitolinas
	C-1 Margas con ammonites
	J Calizas
	Tk Arcillas y yesos
	P-Q Materiales detríticos recientes
	M Biocalcarenitas y margas
	Mc Biocalcarenitas
	Mm margas arenosas
	E Margocalizas y margas
	C-5 Margocalizas, calizas y margas

Signos Convencionales	
	Cabalgamiento
	Contacto discordante
	Contacto concordante
	Contacto mecánico
	Dirección y buzamiento
	Buzamiento subvertical
	Buzamiento horizontal

Figura 33. Mapa geológico de la Sierra del Cid.

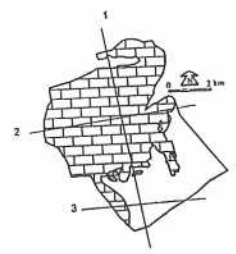
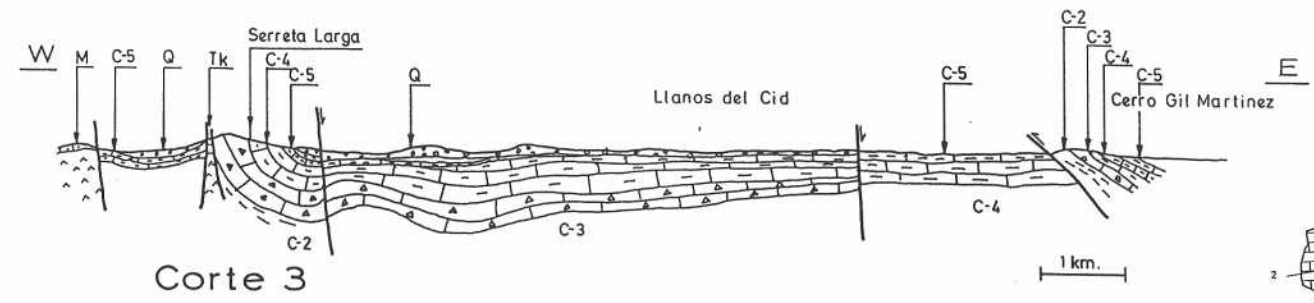
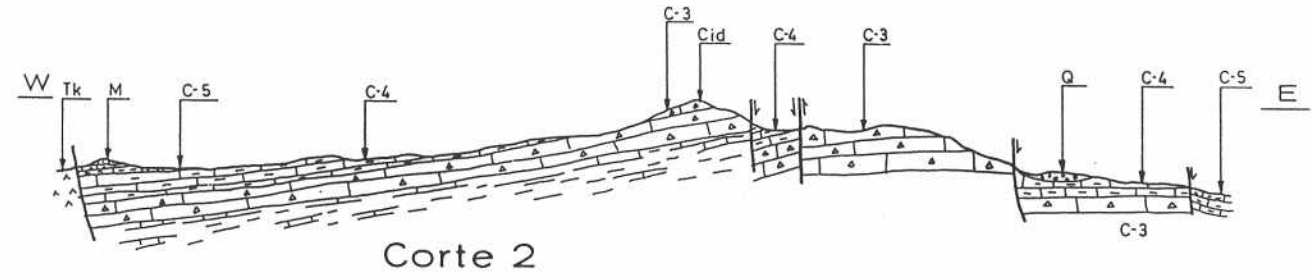
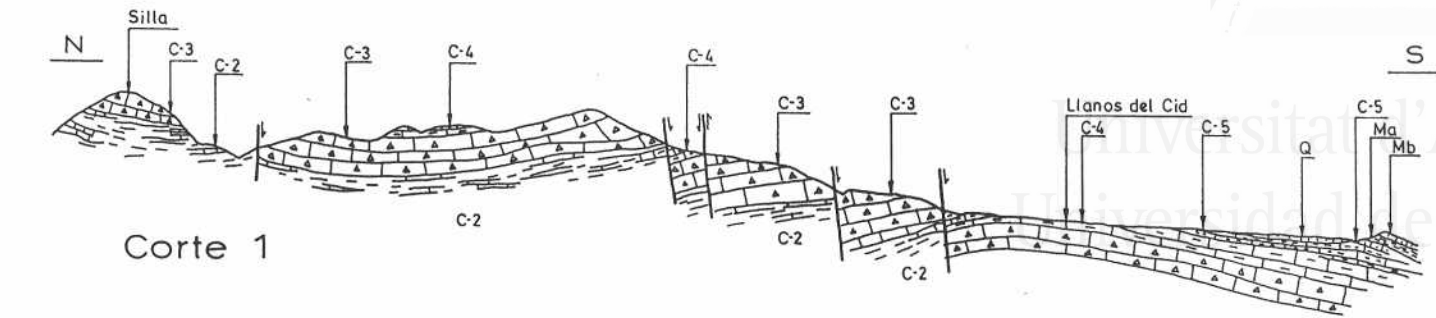


Figura 34. Cortes geológicos del Acuífero del Cid.

La planicie que se dispone entre Serreta Larga y la Vega de Agost se encuentra cubierta en su mayor parte por depósitos recientes que dan origen al glacis; no obstante, llegan a aflorar materiales cretácicos y terciarios, los cuales se encuentran afectados por fracturas de dirección N-S que hunden los bloques orientales. En la parte oriental de esta depresión existen pequeños resaltes topográficos originados por el ascenso de materiales del Cenomaniense inferior a favor de accidentes tectónicos; se trata de las denominadas por Leclerc (1971) "extrusiones cenomanienses". Finalmente, en las proximidades de Agost son los materiales cuaternarios los que recubren totalmente el área.

Inmediatamente al S de la carretera comarcal entre Agost y Novelda se ubica una pequeña alineación montañosa denominada Colinas de Gil Martínez. Está constituida por materiales cretácicos que emergen a favor de fallas inversas de dirección E-W y vergencia N. Estos materiales llegan a superponerse a las calizas y margas del "Senoniense" de la unidad Cid Ventós. Se trata de la unidad estructural más meridional Gil Martínez.

### 3.3. GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA

#### 3.3.1. Modelado

La Sierra del Cid es un macizo carbonático con escasa representación del modelado kárstico (figura 35). La poca pureza de un gran número de las calizas aflorantes, ya que muchas de ellas son calizas margosas o con niveles de margas intercalados, unida a los factores bio-climáticos de esta región, pueden explicar el escaso desarrollo de la karstificación, al menos superficial, de este relieve.

#### - *Formas exokársticas*

A lo largo de la cumbre en donde se exponen las calizas de mayor pureza y se adquieren condiciones topográficas más apropiadas, se puede observar el desarrollo de un incipiente lapiaz. Se trata de un lapiaz estructural (*Kluftkarren*), en el que el agua disuelve las fisuras por donde percola. Las grietas ensanchadas albergan algo de *terra rossa*, que por su capacidad de retención del agua permite el crecimiento de una pequeña cobertera vegetal.

De forma muy puntual se puede observar en algunos estratos horizontales pequeñas depresiones que recuerdan a las kamenitzas. Presentan una forma subcircular con paredes relativamente verticalizadas y cuya profundidad no sobrepasa los 30 cm. El origen de estas formas suele estar relacionada con la presencia en su fondo de algas o materia orgánica (Garay, 1983; López Limia y López Bermudez, 1987).

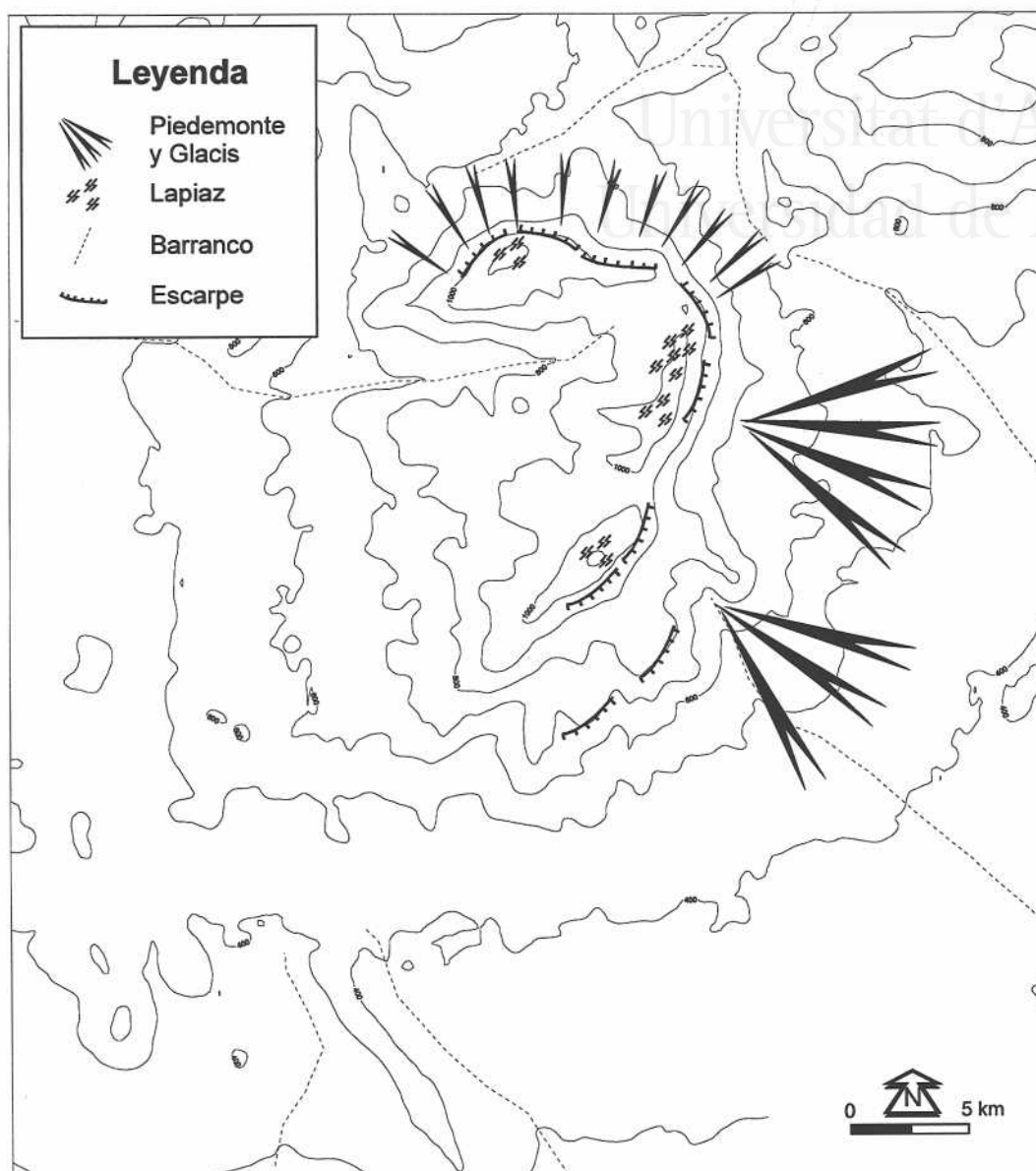


Figura 35. Esquema geomorfológico de la Sierra del Cid.

#### - Formas endokársticas

Hasta el momento no se ha podido constatar la existencia de redes espeleológicas en esta sierra; sin embargo tengo constancia, a partir de la información de las columnas aportadas en el momento de la realización de las captaciones y de películas de video introducidas en los sondeos, de la presencia de grandes fracturas y/o cavidades en profundidad. A título anecdótico baste decir que, a escasos metros del punto acuífero nº 2 existió otro, que no podía ser utilizado puesto que no guardaba la verticalidad y no entraba la bomba de extracción. En un intento de conseguir enderezarlo se le introdujeron varios camiones de piedras con el objeto de rellenarlo, sin embargo, éstas no quedaron

retenidas y fueron dispersadas en cavidades. Finalmente hubo de realizarse otro nuevo, al no ser factible su relleno. Esto hace suponer que en profundidad, al menos debe existir una red de fracturas de cierta entidad.

### 3.3.2. Evolución del relieve y fases de karstificación

La Sierra del Cid plantea serias dificultades para establecer la existencia y cronología de posibles fenómenos que hayan originado modelados kársticos. Del estudio de las series estratigráficas no se han obtenido criterios que indiquen la existencia de procesos kársticos previos al paroxismo del Mioceno inferior. No obstante, la importante discontinuidad estratigráfica del límite Cretácico-Terciario en algunas zonas prebéticas está relacionada con fenómenos de paleokarst (Martín Algarra *et al.*, 1989).

Durante la transgresión tortoniense la Sierra del Cid constituía ya un relieve elevado (Dumas, 1977), continuando desde entonces por encima del nivel del mar. Los diferentes esfuerzos neotectónicos junto a la actuación diapírica a la que se ha visto sometida esta región ha provocado un levantamiento prácticamente continuo en los últimos millones de años. Los importantes depósitos en forma de glaciares que aparecen en la vertiente meridional atestiguan la intensa erosión a la que se ha visto sometido este relieve, sobre todo en el Cuaternario. En este sentido es muy posible que la karstificación de la formación cretácica no se produjo hasta que la erosión no ha alcanzado las calizas cenomanienses y albienses susceptibles de karstificación.

## 4. ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

### 4.1. LITOSTRATIGRAFÍA

Para la descripción de la estratigrafía de este relieve he seguido el mismo criterio que para las otras áreas de trabajo; he definido una serie de unidades litoestratigráficas informales (tabla 16 y figura 36). En la tabla 16 se comparan las unidades utilizadas para el Jurásico y Cretácico con las formales para la Cordillera Bética, así como con las utilizadas anteriormente por otros autores en el mismo Cabeço d'Or .

- Calizas jurásicas (J). Se trata de los materiales carbonáticos que mayoritariamente constituyen el relieve de la Sierra de Cabeço d'Or. Coincide con la denominada Formación Cabañas utilizada por el IGME-IRYDA (1978a), aunque con características particulares con el miembro inferior de la Formación Sierra del Pozo (Vera *et al.*, 1982), así como con las unidades litoestratigráficas informales de "Calizas con Clypeinas", "Oolitas con Trocholinas" y "Calizas con Trocholinas" definidas por Granier (1986). A pesar de que las



he considerado como una única entidad litoestratigráfica, dentro de ella se pueden observar dos grandes conjuntos:

	<b>IGME 1978</b>	<b>VERA et al. 1982</b>	<b>GRANIER 1986-87</b>	<b>ESTE TRABAJO</b>
<b>"Senoniense"</b>	CAMUS	QUIPAR JORQUERA		C-6
<b>Turonense</b>				
<b>Cenomaniense</b>		CALIZA DE JAÉN		C-5
<b>Albiense</b>	JIJONA		MARGAS CON ERIZOS	C-4
<b>Aptiense</b>		ARROYO DE LOS ANCHOS	CORALES CALCARENITAS CON FAVUSELLAS	C-3
<b>Barremiense</b>			MARGAS CON ANMONITES	
<b>Hauteriviense</b>		LOS VILLARES	NIVELES CONDESADOS	C-2
<b>Valanginiense</b>				
<b>Berriasiense</b>			ARENAS	C-1
<b>Portlandiense</b>	MARIOLA	SIERRA DEL POZO	CALIZAS CON TROCHOLINAS	
	CABAÑAS		OOLITOS CON NEOTROCHOLINAS	J
			CALIZAS CON CLYPEINAS	

Tabla 16. Correlación entre las distintas unidades litoestratigráficas y formaciones del Jurásico-Cretácico utilizadas para el Cabeçó d'Or.

- *Calizas con Clypeinas*: situado en la parte basal de la serie, se trata de un tramo relativamente homogéneo de calizas micríticas grises, muchas veces con abundantes estructuras biosedimentarias. Afloran de forma masiva o en bancos bastante potentes. El espesor de este conjunto se desconoce, puesto que en ningún momento llega a aflorar su muro; no obstante, por datos regionales parece que podrían estar en torno a los 300 m (Granier, 1986). La asociación de los diferentes organismos que se observan en sus microfacies incluyen este término dentro del Portlandiense.

- *Calizas con Trocholinas*: se trata de un tramo en continuidad estratigráfica con el anterior, también de naturaleza calcárea y cuya potencia puede superar los 180 m (Granier, 1986 y 1987). Está formado mayoritariamente por calizas (packstones y grainstones) ricas en oolitos, fragmentos de lamelibranquios, algas calcáreas, corales y foraminíferos bentónicos, siendo característica la gran abundancia de Trocholinas. En él se incluyen niveles calcareníticos e incluso algunos estratos margoso-limosos. Presenta una disposición



mucho mejor estratificada que las calizas con Clypeinas. La asociación de organismos junto con la presencia de ciertos géneros de Calpionellas permiten asignarles una edad Berriasiense (Azéma *et al.*, 1975; Azéma, 1977; Estévez *et al.*, 1984; Granier, 1986 y 1987).

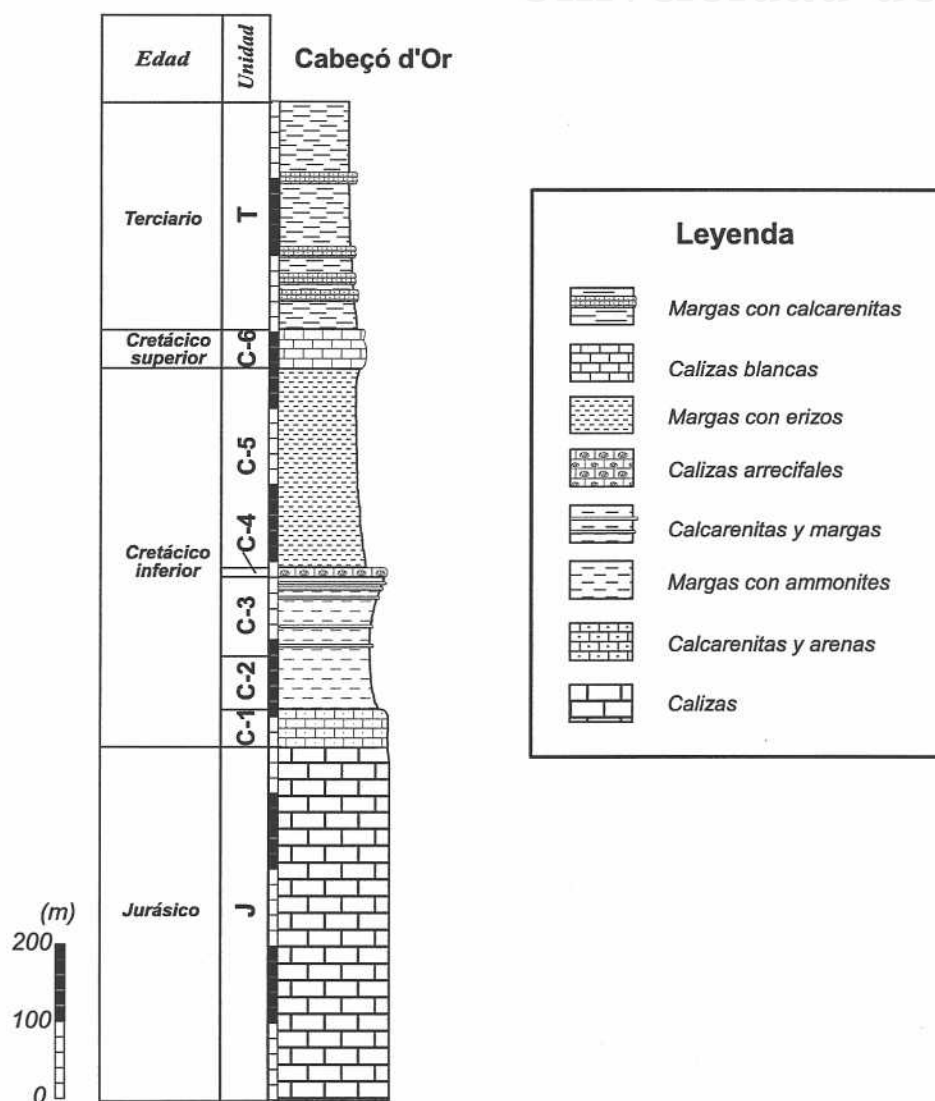


Figura 36. Serie sintética del Cabeçó d'Or.

- Calcarenitas y arenas (C-1). Equivalen a la Formación Mariola (IGME-IRYDA, 1978a), al miembro superior de la Formación Sierra del Pozo y a la unidad de "Arenas superiores, areniscas y calcarenitas con Pseudo-cyclamminas" (Granier, *op.cit.*). Está formado por un paquete calcarenítico-areniscoso que corona la serie de calizas con Trocholinas.

Generalmente afloran en bancos de orden centimétrico bien estratificados. Estos niveles son ricos en fragmentos siliciclásticos, principalmente granos de cuarzo, aunque también incluyen oolitos, bioclastos de equinodermos, moluscos, algas, así como gran abundancia de Trocholinas. En algunos niveles se observan estratificaciones cruzadas, laminaciones paralelas, y restos de bioturbación. En general, la secuencia es más calcarenítica en la parte basal, mientras que hacia techo se hace más detrítica. La potencia de este tramo está en torno a los 25-30 m, aunque en algunos puntos puede ser algo superior. La asociación de organismos incluida en estos materiales se asigna al Berriasiense-Valanginiense inferior (Azéma *et al.*, 1975; Azéma, 1977; Estévez *et al.*, 1984; Granier, 1986 y 1987).

- Margas con ammonites (C-2). Esta unidad coincide plenamente con la Formación Los Villares y parte inferior de la Formación Arroyo de los Anchos. También se puede correlacionar con las unidades litoestratigráficas de "Niveles condensados" y "Margas con ammonites" (Granier, 1986). Se trata de un conjunto eminentemente margoso que engloba materiales desde el Valanginiense superior al Aptiense superior. Las mayores potencias se desarrollan en la vertiente occidental de la sierra, concretamente en el corte de Toni Tomasa, donde llegan a superar los 70 m. De forma detallada la serie se inicia con una sucesión condensada bien expuesta en la localidad de Busot, constituida por 5 a 10 m de margas y margocalizas limosas con abundante fauna del Valanginiense superior-Hauteriviense basal. Inmediatamente encima afloran de 3 a 5 m de calizas y margocalizas con oolitos ferruginosos y fragmentos de ammonites, coronado por 3 m de calizas margosas ocres con oolitos y abundante fauna. La edad asignada a estos últimos materiales es Barremiense inferior (Lillo, 1973), aunque podría estar representado el Barremiense superior (Estévez *et al.*, 1984). El resto del conjunto es una serie rítmica bien estratificada constituida por margocalizas y margas de coloraciones pardo-amarillas y gris-azuladas, bastante limosa en los primeros metros y cuya edad corresponde al Aptiense.

- Calcarenitas con orbitolinas (C-3). Se engloba bajo este epígrafe un conjunto conformado por niveles duros calizo-arenosos y niveles blandos margosos-limosos. Este tramo coincide con la unidad de "Calcarenitas con Favusellas" (Granier, 1986), y corresponde a parte de las formaciones Jijona utilizada por el IGME-IRYDA, *op.cit.* y Arroyo de los Anchos. Se encuentra mejor desarrollado en la vertiente oriental del relieve y se compone de diferentes estratos de margas, calizas, calcarenitas, areniscas cuarzosas y areniscas micáceas. Los niveles más arenosos presentan estratificaciones cruzadas tabulares, siendo abundante la bioturbación en todo el conjunto. También se caracterizan por la constante presencia de orbitolinas, las cuales son extremadamente abundantes en algunos niveles margosos del techo de la serie. La potencia que adquieren estos materiales está en torno a los 100 m, aunque en la parte meridional de la vertiente occidental del Cabeço d'Or esta unidad se acuña y termina por desaparecer. Pertenecen al Aptiense terminal-Albiense (Granier, *op.cit.*), aunque es posible que se encuentre ya en el Albiense superior (Estévez *et al.*, 1984).

Hay que destacar que en algunos sectores del Cabeço d'Or existe gran dificultad en la distinción de esta unidad con la anterior (C-2); por consiguiente, en esos casos he optado por realizar su representación cartográfica conjunta bajo la denominación C-2-3.

- Calizas arrecifales (C-4). Se incluyen dentro de la Formación Jijona y Arroyo de los Anchos; coincide con la unidad "Biolitito de corales" (Granier, 1986). Están formadas por calizas grises oolíticas que contienen abundantes restos de corales, algas, rudistas, y otros bioclastos. Se caracterizan por presentar relieves positivos, puesto que se encuentran intercaladas entre dos unidades margosas. En algunos puntos se observa a techo una superficie con óxidos de hierro que muy probablemente puede corresponder al desarrollo de un *hard-ground*. La potencia de este tramo litológico no suele sobrepasar los 10 m; no obstante, en el Barranco de Salmitre se engrosa algo más. Al igual que ocurre con la unidad C-3, en la vertiente occidental, se acuña hacia el S y termina por desaparecer. La edad atribuida a estos materiales es Albiense (Azéma *et al.*, 1975; IGME-IRYDA, 1978a; Granier, 1986), posiblemente Vraconiense (Estévez *et al.*, 1984).

- Margas con erizos (C-5). Coincide plenamente con la unidad litoestratigráfica de "Margocalizas de erizos" (Granier, 1986) y con la Formación Caliza de Jaén. Se encuentran dispuestas sobre al *hard-ground* de techo de las construcciones arrecifales. Constituye una secuencia rítmica de calizas margo-arenosas y margas limosas de coloración parda grisácea, aunque en las inmediaciones del Alto de las Ferrerías este conjunto es mucho más calcáreo. La potencia máxima se alcanza en los alrededores de Aigües, donde desarrolla algunos centenares de metros (Granier, 1986). La edad de estos materiales varía según los autores; así, unos la atribuyen al Albiense superior incluido el Vraconiense (IGME-IRYDA, 1978a; Granier, 1986), mientras que otros la asignan al Cenomaniense-Turonense (Lillo, 1973; Estévez *et al.*, 1984).

- Calizas con Globotruncanas (C-6). Está formado por un tramo de naturaleza carbonática y claramente diferenciado del resto del Cretácico. Corresponde a la denominada Formación Camús (IGME-IRYDA, 1978a) o Formación Quípar-Jorquera. Se compone principalmente de calizas tableadas blancas con algunas intercalaciones de niveles margosos, que aumentan hacia techo. Finalizan con un tramo de calizas margosas rojas que dan paso a los materiales verdoso-rojizos del Terciario. Pueden aflorar concordantemente sobre los materiales inmediatamente infrayacentes, o bien de forma discordante sobre otros más antiguos. Es muy característica la presencia de Globotruncanas, así como de Pithonellas, sobre todo en las capas rojas. La edad de estos materiales corresponde al "Senoniense" (Azéma *et al.*, 1975) y su potencia varía desde unos pocos metros en los afloramientos situados al N del Cabeço d'Or a más de 50 m conforme nos alejamos del relieve hacia el E.

- Serie flysch (T). En el área de estudio y rodeando prácticamente a todo el relieve del Cabeçó d'Or, afloran unos materiales de edad terciaria y con carácter turbidítico. Se disponen discordantemente sobre los materiales cretácicos. Están formados por una sucesión de margas blancas que incluye episodios de calizas bioclásticas. Las calizas bioclásticas son fácilmente reconocibles, tanto por la gran abundancia de organismos que incluyen algas, briozoos, lamelibranquios, y sobre todo macroforaminíferos, especialmente Discocyclinas y nummulítidos. Estas calizas también muestran un carácter típicamente turbidítico, pudiéndose reconocer la presencia de estructuración interna y evidentes marcas de corriente en el muro de los estratos. La potencia que adquieren es elevada pudiendo alcanzar los 300 m (Colodrón *et al.*, 1980). La edad de estos materiales está comprendida entre el Eoceno superior y el Mioceno inferior (Azéma *et al.*, 1975).

- Coluvial (Q-1). Se incluyen bajo esta denominación los piedemonte y canchales, siempre situados en las laderas de la sierra, barrancos y en la base de los escarpes. Se disponen discordantemente sobre el resto de los materiales más antiguos y están constituidos principalmente por fragmentos heterométricos de materiales calizos procedentes de la erosión del relieve. Cuando no se trata de canchales suelen estar embebidos dentro de una matriz más o menos arcillosa. No obstante, el espesor de estos materiales no suele sobrepasar los 10 m.

- Travertinos (Q-2). Aparecen de manera muy puntual y con poco desarrollo espacial. Siempre se encuentran relacionados con las antiguas surgencias termales de las inmediaciones de Busot y Aigües. Se trata de depósitos carbonáticos originados como consecuencia de la precipitación del carbonato del agua sobre antiguos restos vegetales. La potencia de estos travertinos no sobrepasa los 5 m.

#### 4.2. TECTÓNICA

En el N de la provincia de Alicante existen algunos relieves que presentan una orientación N-S, cuando la orientación general de la Cordillera Bética es ENE-WSW. El Cabeçó d'Or es uno de los relieves más meridionales que presenta esta singularidad.

Se trata de una estructura de anticlinal asimétrico de dirección N-S. Su flanco occidental es vertical y a lo largo del mismo las calizas jurásicas originan en el paisaje una pared de más de 200 m de altura. Por el contrario, su flanco oriental presenta un buzamiento, y un relieve más suave. La estructura de detalle de este pliegue presenta cierta complejidad (figuras 37 y 38).

El pliegue se encuentra afectado por fallas inversas de dirección N-S que originan escamas y provocan una superposición y traslación de bloques hacia el W.



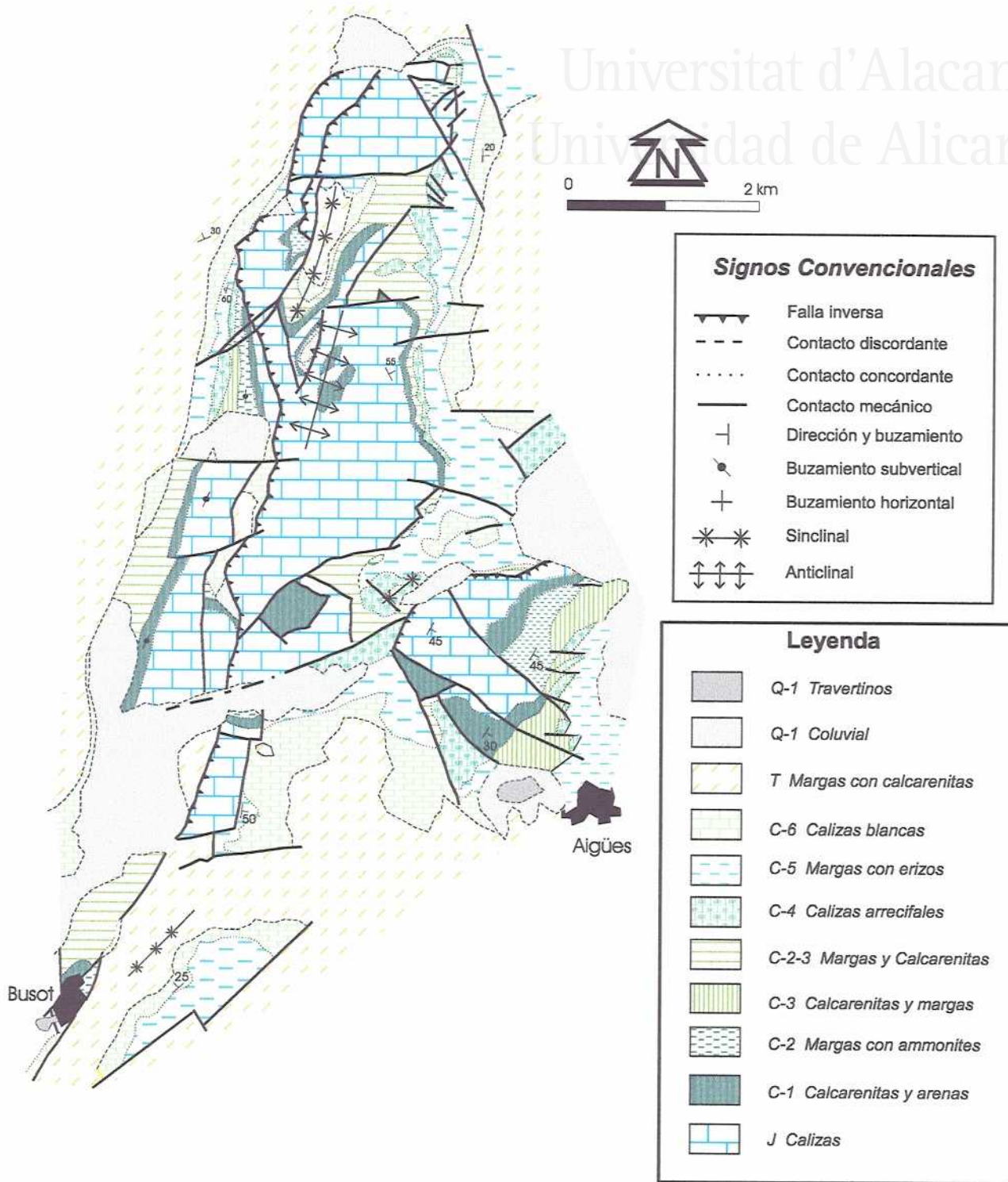


Figura 37. Mapa geológico de la Sierra del Cabeço d'Or.

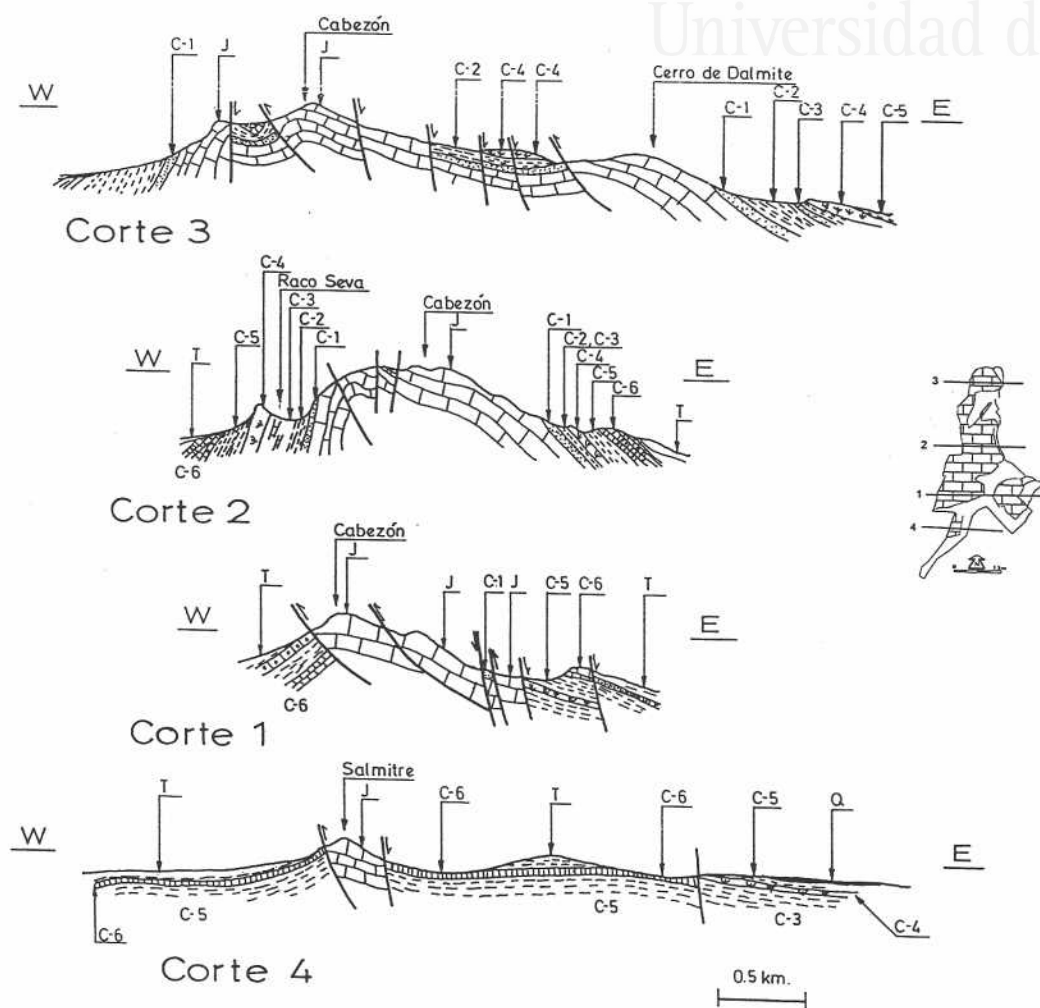


Figura 34. Cortes geológicos del Acuífero del Cabeço d'Or.



El Cabeçó d'Or también se encuentra afectado por algunas fallas normales y de desgarre, más o menos oblicuas a la dirección del relieve que provocan el reajuste del macizo y levantan, hundien y desplazan algunos bloques.

La terminación meridional del relieve se produce por una fractura que hunde el bloque S, por lo que el jurásico se sitúa en profundidad. No obstante, más al S la actuación de otras fracturas subverticales produce el afloramiento de nuevos bloques jurásicos como el Alto de Salmitre. Similar comportamiento ha sido el causante del afloramiento de terrenos del Jurásico-Cretácico inferior en la localidad de Busot.

Han sido varios los estudios en los que se trata el problema de la dirección aberrante de la estructura, para la cual se han propuesto diversas interpretaciones tectónicas:

- La primera teoría que intentó dar una explicación a tal efecto corresponde a Polveche (1963), quien interpretó el origen de este relieve como una extrusión de las calizas jurásicas. Debido a la sobrepresión que este sector sufrió durante la principal fase orogénica, los materiales jurásicos se desestabilizaron y fueron expulsados de su emplazamiento original. Como consecuencia de ello se presenta este plegamiento no concordante con la norma habitual de la cordillera.

- Rodríguez Estrella (1977a y b) invoca un origen extrusivo, si bien, no relacionado con la principal fase orogénica, dado que está en desarmonía con la orientación típica de la Cordillera Bética, sino como consecuencia de los efectos halocinéticos de las evaporitas triásicas que deben encontrarse a muro de los materiales jurásicos. Se trata por tanto, de un diapiro abortado puesto que no llegan a aflorar los materiales triásicos, los cuales deben haberse quedado a no mucha profundidad. Este ascenso triásico debió originarse en una zona de debilidad causada por una fractura del basamento

Finalmente, de Ruig *et al.* (1987) exponen que la orientación N-S que presenta el Cabeçó d'Or, así como otros relieves con plegamiento semejantes se han podido desarrollar como consecuencia de una compresión E-W, que se produjo previamente a la compresión bética. Esta hipótesis se basa en la presencia de estructuras de interferencia y direcciones de paleoesfuerzos obtenidos mediante el análisis de ciertas microestructuras como son los estilolitos.

### 4.3. GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA

#### 4.3.1. Modelado

Se trata del relieve más karstificado de los que se incluyen en este trabajo, aunque

todavía el modelado aparece poco representado en el paisaje. Las principales formas se originan en la formación de calizas del Jurásico-Cretácico inferior, y en menor cantidad en las calizas y calcarenitas del Albiense (C-4) y "Senoniense" (C-6). También se han observado lapiazes en las areniscas de edad Valanginiense (C-1). Inicialmente esta litología no es propicia para desarrollar estas formas, sin embargo la presencia de abundante cemento calcáreo facilita los procesos de disolución.

#### - Formas exokársticas

Dentro de las morfologías superficiales podemos distinguir, como principal y prácticamente única, al lapiaz (Sánchez, 1991; Andreu y Estévez, 1992). El más abundante es el lapiaz estructural (*Kluftkarren*). Aparece bien expuesto en algunos sectores de la cima en los que se observa una intensa fracturación (figura 39). En estos lugares la lluvia circula por las diaclasas y fracturas y ensancha las discontinuidades. Dentro de las fracturas suele encontrarse algo de terra rossa en donde se instala la vegetación. La presencia de ciertos líquenes o pequeñas plantas contribuye a aumentar el avance de la perforación a causa del aporte de CO<sub>2</sub>, ácidos húmicos y fúlvicos. Mucho menos abundante son los lapiazes en acanaladura o cinceladura (*Rillenkarren*) los cuales se presentan en superficies inclinadas, muy frecuentemente planos de estratificación. Este tipo de formas no suelen sobrepasar los 2 cm de profundidad y se caracterizan por originar unas crestas puntiagudas y cortantes que suelen adoptar formas dendríticas y producir un efecto de microrelieve. En aquellas superficies en donde la inclinación es próxima a la vertical como son ciertos escarpes aparecen los lapiazes de pared (*Wandkarren*). Otras formas asociadas a los lapiazes son las perforaciones cilindroideas subverticales, algunas de las cuales se deben a la intersección de diaclasas.

La fuerte tectonización que presenta este relieve dificulta el desarrollo de otras formas mayores. Sin embargo, en la parte septentrional del macizo, en la que aparecen áreas planas existen pequeñas depresiones de poca profundidad que podrían interpretarse como protodolinas o dolinas en estado embrionario.

#### - Formas endokársticas

La Cueva de Canelobre, al parecer descubierta en el siglo XI por los árabes y citada desde antiguo como la antigua hornada de un volcán apagado en tiempos muy remotos, o como, el camino subterráneo que, desde los abismos del monte, va por debajo del mar hasta alcanzar las costas de África (Madoz, 1842-50; Figueras, 1916), es una de las cavidades más representativas de las comarcas meridionales valencianas. Se trata de una sima de aproximadamente 100 de profundidad con una morfología más o menos cilíndrica, si bien no se descarta su continuidad en profundidad, ya que hasta el momento no ha sido explorada debido a su estrechez en la parte más profunda.

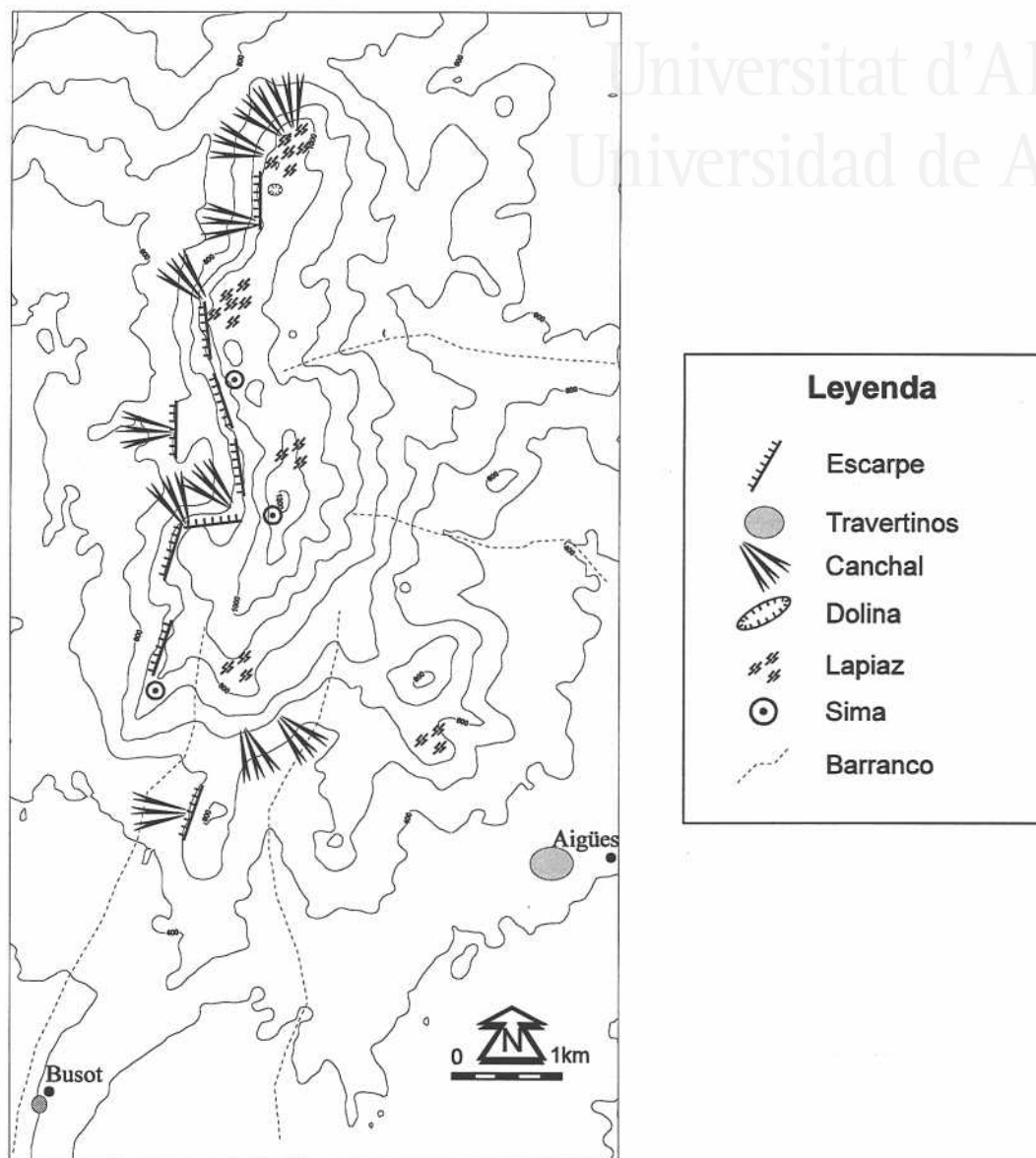


Figura 39. Esquema geomorfológico del Cabeçó d'Or.

Además de la Cueva de Canelobre, Figueras (*op. cit.*) hace referencia a la denominada Cova de la Granota (Cueva de la Rana), la cual presentaba una dirección SW-NE y tenía la misma riqueza de estalactitas y estalagmitas, aunque en recintos más estrechos de difícil entrada. Este mismo autor señala que esta cavidad fue explorada hasta una profundidad de 350 m. Desconozco la situación exacta de esta cueva, aunque bien pudiera ser alguna de las representadas en la figura 39.

La presencia de estas manifestaciones de endokarst apuntan hacia la posibilidad de la existencia de una red kárstica subterránea mejor desarrollada en el Cabeçó d'Or que en

los otros macizos.

Finalmente, en las partes más elevadas del relieve existen conductos más o menos circulares de dimensiones métricas que necesariamente implican la circulación de agua "forzada" para su formación. Se trata, por tanto, de un endokarst relicto o fósil que se encuentra actualmente exhumado, lo que pone de manifiesto la existencia de un paleokarst.

#### 4.3.2. Evolución del relieve y fases de karstificación

En este relieve existen diferentes interrupciones sedimentarias puestas de manifiesto en trabajos estratigráficos anteriores (Estévez, *et al.*, 1984). Entre ellas destaca la que se encuentra en la base de las calcarenitas y arenas del C-1. Se caracteriza por presentar una superficie ferruginosa de entidad decimétrica que puede considerarse como nivel guía en todo el relieve. En el presente estudio se ha comprobado que las mineralizaciones también presentan morfologías de relleno en grietas y fracturas, que apuntan a la posible existencia de una paleokarstificación. La edad atribuida a esta superficie ha sido al límite Berriasiense-Valanginiense o intravalanginiense (Estévez, *op. cit.*), por lo que es posible que durante esta época los materiales jurásicos pudieran haber estado emergidos y, por tanto, haber desarrollado un karst.

La edad de la estructuración del Cabeço d'Or no parece diferir de las estructuras del su entorno, la cual coincide con las principales fases orogénicas del Mioceno inferior. No obstante, algunas disconformidades encontradas en los materiales del Eoceno-Oligoceno sugieren que podría haber empezado antes (de Ruig *et al.*, 1987). Tampoco la transgresión del Tortonense afectó a este relieve (Dumas, 1977), por lo que se puede establecer que al igual que en gran parte del área mediterránea, el proceso de karstificación no ha cesado, al menos desde el término de las fases alpinas.

El inicio de la karstificación en etapas incluso anteriores a la propia terminación de la estructuración del relieve podría explicar la presencia de las formas paleokársticas exhumadas que se observan en las partes altas. Es común que en el Prebético la mayores formas kársticas se hayan producido en fases precuaternarias o de Cuaternario antiguo, constituyendo un modelado que continúa posteriormente evolucionando bajo condiciones climáticas diferentes (López Bermúdez y López Limia, 1989). Así en la Sierra de Mariola, relieve próximo al NW del Cabeço d'Or, se han detectado dos momentos principales de la karstificación, uno bajo clima tropical húmedo en el Plioceno inferior, y otro posiblemente Riss-Würm de ambiente húmedo, templado o cálido (Gualda, 1988).



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

#### **IV. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DE CREVILLENTE**





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

La actualización del inventario de puntos de agua se ha efectuado a partir del realizado dentro del PNIAS por el IGME entre los años 1972-1977, y de algunos trabajos hidrogeológicos posteriores (Pulido-Bosch y Fernández Rubio, 1980; CGS, 1985; MOPU, 1989; EVREN, 1989-91). En el nuevo inventario confeccionado se incluyen algunos puntos de agua que no pertenecen al Acuífero de Crevillente, pero he creído conveniente incluirlos, dado que sirven para establecer las relaciones de este acuífero con el área que le rodea. Del mismo modo, se incluyen puntos acuíferos, tales como algunos manantiales que se han secado o sondeos que han sido tapados, pero que tienen especial interés a causa de la información hidrogeológica que suministran.

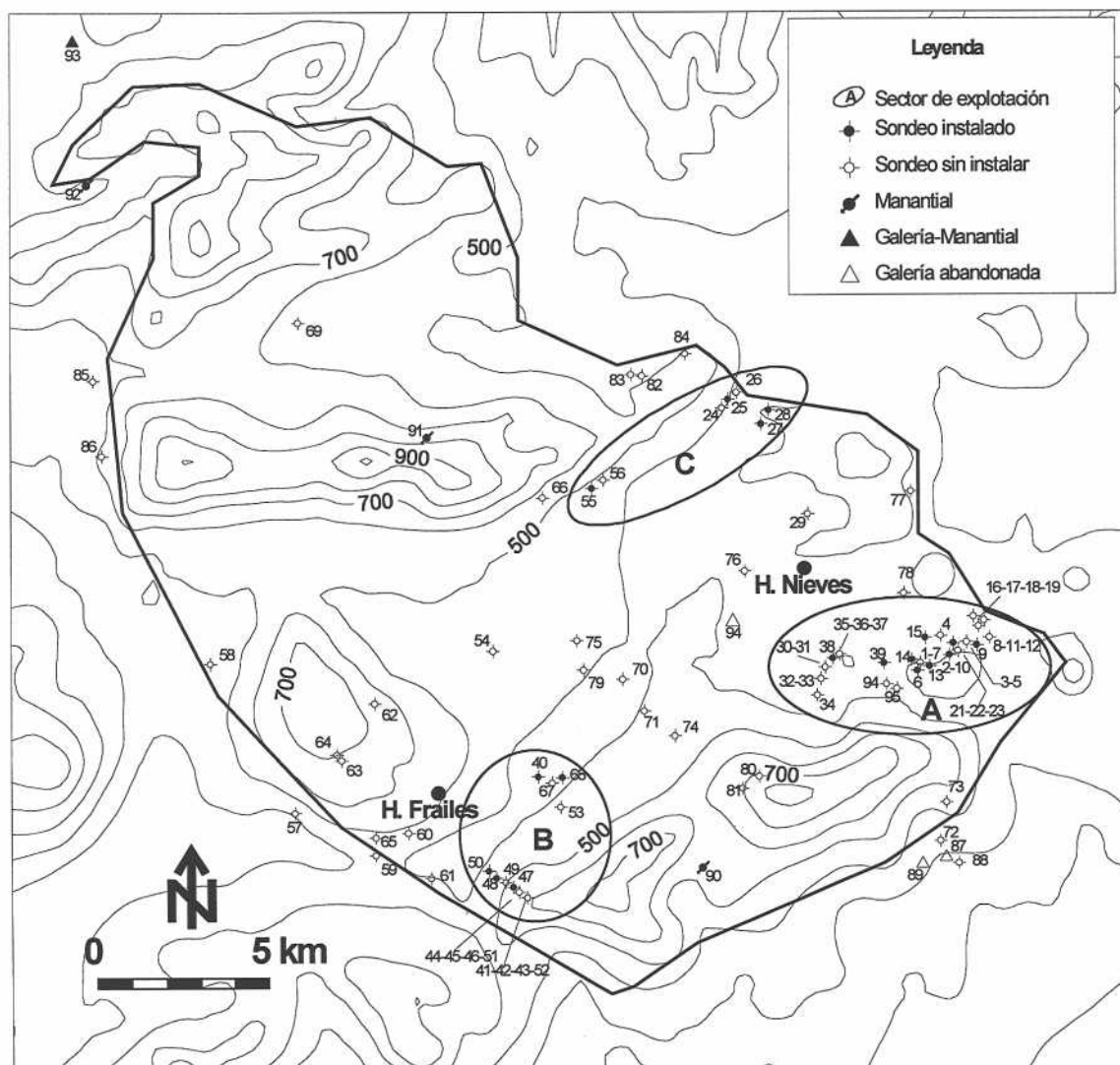


Figura 40. Distribución de los puntos acuíferos en el Acuífero del Crevillente. A:sector oriental; B:sector occidental; C: sector septentrional.

En el área seleccionada se han contabilizado 94 puntos de agua, de los cuales la mayoría corresponde a sondeos, y el resto a otro tipo de aprovechamientos. La repartición de las captaciones es muy desigual, concentrándose principalmente en tres sectores de explotación (figura 40). Además, existen otros sondeos repartidos en la depresión Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes, entre ellos, los realizados con el objeto de trasladar las explotaciones del Barranco del Tolomó (MOPU, 1989; Corchón *et al.*, 1989). Por el contrario, en las Sierras del Reclot y la parte septentrional de Algayat los puntos acuíferos son casi inexistentes, pudiéndose encontrar algunos manantiales de pequeña entidad. Los tres sectores en cuestión se describen a continuación.

- *Sector oriental de la Sierra de Crevillente.* Comprende todas las captaciones situadas en el Barranco del Tolomó y parte meridional de Hondón de las Nieves. El alumbramiento de las aguas subterráneas se inició en el propio Barranco del Tolomó en 1959 (Asensio, 1982) y, debido a los elevados caudales obtenidos por las captaciones que allí se realizaban, se ha continuado con la perforación de sondeos hasta la actualidad. La densidad de sondeos es bastante alta, pudiéndose encontrar perforaciones emplazadas a menos de 50 m de distancia.

La expansión de las captaciones originó que a partir de la década de los setenta se sobrepasara el Barranco del Tolomó y se alcanzaran los parajes situados al S de Hondón de las Nieves. En esta parte el IRYDA realizó nueve sondeos, algunos con más de 600 m de profundidad; de ellos, únicamente funcionan dos en la actualidad de forma continuada.

Las aguas bombeadas en este sector oriental sirvieron para transformar en regadío tierras anteriormente incultas situadas en los términos de Aspe, Hondón de las Nieves, Elche y Crevillente. En estos momentos funcionan regularmente diez de las más de treinta captaciones efectuadas. A pesar de ello, continúa siendo uno de los lugares de máxima extracción del acuífero. El uso de las aguas es principalmente para agricultura, aunque también se destina parte para el abastecimiento urbano de Aspe, Hondón de las Nieves y algunos parajes de Elche.

- *Sector occidental de la Sierra de Crevillente.* Comprende la Galería de los Suizos y las captaciones emplazadas en los alrededores del paraje de Casas de Galiana. La Galería "Riegos de la Salud", más conocida, como "Galería de los Suizos", está ubicada en el paraje de La Algueda, en la extremidad SW de la Sierra de Crevillente. Su boca de entrada tiene las coordenadas UTM  $x = 683.500$ ,  $y = 4235.700$ ,  $z = 250$ . Su acceso se realiza por un pequeño camino situado en el km 9 de la carretera comarcal que une las poblaciones de Albatera y Hondón de los Frailes.

Alcanza una longitud de 2360 m, su anchura varía de 2.5 a 3 m, su altura es de 3.5 m y su pendiente está en torno al 1%. La orientación general es NW-SE aunque se compone de varios tramos con diversas orientaciones (figura 41). Presenta un primer tramo de 775 m revestido totalmente de hormigón, debido a que los primeros terrenos atravesados son poco consistentes. El resto, se adentra en roca desnuda, excepto 20 m en el que se vuelven a cortar materiales deleznable y es necesario el recubrimiento. Con el objeto de hacerla transitable fácilmente y evitar la infiltración, la totalidad del suelo se encuentra cementada.

Fue construida por la compañía La Salud de San Antonio, S. A., entidad desaparecida en la actualidad. En su realización, además de otras empresas consultoras francesas, participó como socio directo la empresa *Etablissements pour l'Investigation du Sous-sol* de nacionalidad suiza, por lo que popularmente esta captación adquirió el nombre de "Galería de los Suizos". La idea original era captar las aguas de la depresión de Hondón de los Frailes, ya que se pensaba que la barrera triásica de las sierras de Crevillente y Abanilla actuaba como

una cerrada subterránea en la que se embalsaba el agua procedente de La Mancha; el agua que se infiltraba en La Mancha, llegaba a este lugar debido a la existencia de vías comunicantes en los materiales triásicos de Yecla, Pinoso y El Cantón, por donde circulaba y escapaba hasta llegar a la depresión de Hondón de los Frailes. Esta depresión actuaba como una cubeta y constituía el último remanso en que presentaba calidad aceptable antes de escapar y alcanzar el mar por la Vega Baja.

Durante la década de los cincuenta Riegos de la Salud efectuó diversos estudios hidrogeológicos entre los que se incluyeron sondeos de investigación y geofísica eléctrica. Tras varios años de seguimiento del comportamiento hidrogeológico de la depresión de Hondón de los Frailes y varias modificaciones del proyecto original (inicialmente se pensaba perforar un pozo en la parte central de la depresión y a partir de él efectuar dos galerías horizontales), se decidió que la mejor forma de explotación debía ser mediante una galería

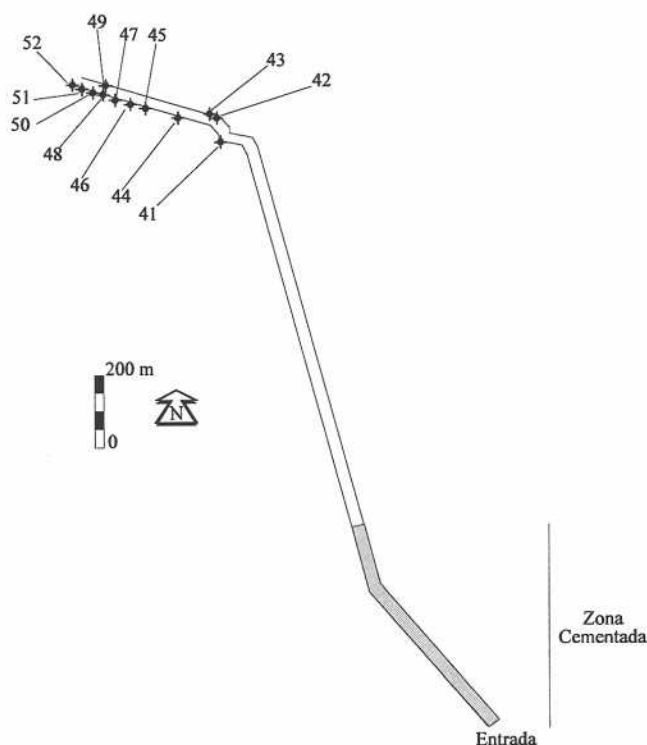


Figura 41. Detalle de la Galería de los Suizos.

horizontal emplazada en La Algueda, situado en la ladera meridional de la Sierra de Crevillente. Se pretendía atravesar toda la sierra captando el acuífero de la depresión y extraer un caudal de 5 m<sup>3</sup>/s.

La obra comenzó a realizarse en 1961, dándose por concluida en 1964. En ella intervinieron directamente una treintena de personas, que repartidas en grupos de 10 a 12 hombres realizaban tres turnos, por lo que se trabajaba de forma ininterrumpida las 24 horas del día, de lunes a sábado. Los materiales que se atravesaron inicialmente fueron margas del Tortonense superior, aunque es posible que se corten también más antiguas, pasando posteriormente a arcillas, margas, yesos y cantos de caliza que deben corresponder a los materiales del Trías Keuper, Cretácico e incluso parte del Jurásico. En la parte final de este tramo recubierto se puede observar perforaciones horizontales usadas para la inyección de cemento, que parece ser aportaron bastante agua. Tras estos materiales se entra en dolomías grises del Lías (libres de recubrimiento), siendo esta litología la más abundante a lo largo del túnel; la parte final sigue siendo de naturaleza carbonática, pero son las calizas oolíticas y calizas micríticas los materiales más representativos.

A lo largo de los materiales carbonáticos aparecieron algunos puntos de agua muy localizados que vertían sobre la galería en forma de manantial. Los caudales de estas surgencias oscilaban entre 6 l/s y 75 l/s, lo que supuso que la Galería llegase a aportar caudales punta de hasta 200 l/s según los aforos efectuados en febrero de 1962. La Galería fue drenando agua durante su realización, de modo que cuando se finalizó quedó prácticamente seca. A partir de ese momento se entró en otra fase de la obra consistente en la perforación de sondeos verticales en su interior.

Con la puesta en funcionamiento de los sondeos se inició la forma de explotación que ha permanecido hasta la actualidad. Se bombea el agua y se vierte al suelo para que circule libremente hasta la salida. También existen dos perforaciones que desde la superficie topográfica alcanzan la Galería y se utilizan para el suministro de agua a Hondón de los Frailes y de respiraderos.

Dentro del túnel existen un total de doce perforaciones (figura 41). Inicialmente estos sondeos fueron pequeñas captaciones de escasa profundidad, que con el paso del tiempo debieron de reprofundizarse hasta alcanzar 100 m. La mayor parte de ellos fueron muy productivos extrayendo caudales superiores a 100 l/s. La intensa explotación, que a partir de 1970 superó los 10 hm<sup>3</sup>/año y alcanzó su máximo en 1980 con 18.1 hm<sup>3</sup>, provocó descensos superiores a 10 m/año, por lo que nuevamente hubieron de ser reprofundizados, algunos hasta alcanzar los 300 m que tienen en la actualidad. Otros, a pesar de la reprofundización, perdieron rendimiento y terminaron por abandonarse. El número de sondeos en funcionamiento fue disminuyendo poco a poco y, por consiguiente,

las extracciones. Actualmente existen en funcionamiento únicamente tres sondeos con una capacidad de extracción alrededor de 250 l/s, cuyo régimen de explotación es prácticamente continuo a lo largo del año. El agua procedente del túnel es utilizada en su mayor parte para el riego en Albaterra, Orihuela, Crevillente y Elche. También se usa para el abastecimiento de Hondón de los Frailes y alguna urbanización de Elche.

Además de las captaciones existentes dentro de la Galería, existen otras no muy distantes de éstas en superficie, concretamente en las inmediaciones de Casas de Galianas perteneciente a Hondón de los Frailes. En la actualidad dos de estos sondeos se encuentran activos, y su agua se utiliza para riego y abastecimiento de Hondón de los Frailes.

- *Sector Rollo-Algayat*. Es el sector más septentrional que explota el sistema, ubicándose entre la Sierra del Rollo y N de la Sierra de la Ofra, y el que menor número de captaciones presenta. A principios de esta década funcionaban de forma ininterrumpida cuatro sondeos, pero actualmente existen afecciones entre algunos de ellos por lo que no pueden bombear simultáneamente. Las aguas de este sector son las de mejor calidad del acuífero, y su principal destino es el riego.

En cuanto a los manantiales, se han inventariado tanto aquellos que siguen alumbrando aguas en la actualidad, como aquellos otros que debido a la sobreexplotación dejaron de hacerlo. Los primeros se sitúan generalmente en la parte septentrional del acuífero (sierras del Reclot y Algayat) y se trata de pequeños nacimientos que se localizan en los contactos entre la roca carbonática y materiales impermeables. Se utilizan fundamentalmente para el riego, aunque algunos también para abastecimiento -este es el caso manantial de la Canalecha (nº93) que abastece a la pedanía de Encebras-. Finalmente, las escasas surgencias situadas en la Sierra de Crevillente y de Algayat se encuentran secas desde hace bastantes años. La mayor parte de estos alumbramientos están relacionados con excavaciones y galerías realizadas por el hombre. Entre las principales se pueden citar el manantial de la Solana del Rollo (nº94) cuyas aguas eran canalizadas hasta la localidad de Hondón de las Nieves, la Mina de la Font Antiga (nº87) y la Mina de la Cata (nº 89), éstas últimas ubicadas en la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente.

## 2. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS MATERIALES

He seguido un esquema similar al establecido en el apartado de litoestratigrafía, si bien hay ligeras modificaciones, ya que he dividido, agrupado y simplificado las unidades litoestratigráficas establecidas anteriormente en función de su comportamiento hidrogeológico y de su posible relación con el acuífero.

- Triásico (Tk). Fundamentalmente se compone de materiales margo-arcillosos con



evaporitas, por lo que presentan un comportamiento acuicludo. A veces pueden incluir materiales arenosos y carbonáticos con carácter acuífero, pero en este área generalmente carecen de continuidad. En la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente afloran algunos bloques de dolomías altamente brechificadas del Trías, a las cuales se les asignó un comportamiento acuífero (Dupuy de Lôme y Novo, 1917). Sin embargo, la mayor parte de estos bloques aparecen inconexos dentro de yesos y arcillas por lo que su interés hidrogeológico es escaso. La riqueza de la secuencia evaporítica de este sector en halita y yeso les podría conferir una porosidad secundaria por disolución. No obstante, la característica principal de este conjunto es que se encuentra altamente tectonizado, y habitualmente constituye una mezcla de litologías englobada en una matriz arcillosa, por lo que su comportamiento es eminentemente impermeable. En general, los materiales triásicos han sido considerados como el impermeable regional por excelencia.

- Conjunto jurásico (J-1, J-2 y J-3). Queda englobada bajo esta denominación toda la serie jurásica que constituye el Acuífero de Crevillente. Se conforma principalmente por calizas y dolomías que presentan una porosidad secundaria como consecuencia de los procesos de fracturación y karstificación a la que han estado sometidas.

La elevada potencia del tramo basal constituido por calizas blancas y/o dolomías de edad Hettangiense-Pliensbachiense (J-1) y la ausencia de niveles margosos, le hace ser el tramo con mejores características acuíferas de toda la serie jurásica. Se trata de la litología que captan todos los sondeos productivos de este acuífero. Las formaciones comprendidas entre el Lías superior y el Jurásico superior, además de tener una menor potencia, litológicamente incluyen alternancias de tramos margosos (J-2 y J-3) que pueden actuar como impermeables locales y que reducen la potencialidad acuífera de este conjunto superior. En resumen, se puede establecer que el reservorio jurásico del Acuífero de Crevillente está constituido por un acuífero bueno en su parte basal y pobre en su parte superior.

- Cretácico inferior (C-1). Bajo este epígrafe incluyo el conjunto de margas, margocalizas y calizas margo-arenosas que abarca desde el Neocomiense que aflora extensamente en la falda septentrional de la Sierra de Algayat, hasta el Albiense, representado de forma más o menos continua en la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente. Su comportamiento hidrogeológico es claramente acuicludo, pudiendo actuar de impermeable de techo, al encontrarse en continuidad con los materiales jurásicos, así como de impermeable lateral en sectores donde la tectónica ha rebajado su cota. Este sería el caso de la parte SE de la Sierra de Crevillente y la parte E de Sierra Pelada, en las proximidades de La Romana.

- Cretácico superior (C-2). Está compuesto por calizas y margocalizas blancas o rosadas que afloran en una banda al SE de la Sierra de Crevillente. A pesar de presentar características acuíferas, su escasa extensión, y a veces su elevada componente margosa, hacen que se

le pueda catalogar de acuífero pobre.

- Calizas bioclásticas (M). Presentan comportamiento acuífero, si bien el hecho de no tener mucha extensión y estar situadas en cotas elevadas quedando colgadas, apenas presentan interés en este área. En las proximidades del Alto de San Cayetano, se encuentran en contacto directo con los materiales del Cretácico superior conformando, ambas formaciones, un minúsculo sistema acuífero, cuya descarga se produce por el manantial del mismo nombre (nº90).

- Materiales recientes (P-O). En general, tienen permeabilidades muy bajas, pudiendo actuar como acuitardo o acuífero muy pobre. En algunos sectores de la depresión Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes existen pequeños pozos que captan los niveles más permeables. A veces, su emplazamiento suprayacente a los terrenos jurásicos lo hacen mero transmisor del agua al acuífero profundo.

Especial atención merecen los materiales detríticos "cuaternarios" dispuestos en la depresión del Tarafa o Vega de Aspe, ya que debido a la potencia que alcanzan -en algunos casos superior a 100 m (Pulido-Bosch, *et al.*, 1986)-, junto a la presencia de cuerpos arenosos y conglomeráticos bastante permeables, les confiere un relativo interés acuífero, tal y como atestigua la gran cantidad de sondeos que lo captan.

### 3. GEOMETRÍA Y LÍMITES

El Acuífero de Crevillente constituye la unidad hidrogeológica de mayor entidad dentro del presente estudio. Con una superficie aproximada de 140 km<sup>2</sup>, engloba como más importantes los relieves de Crevillente en la parte meridional, la Sierra de Algayat-Rollo, en su parte central y la Sierra del Reclot en su parte septentrional. En algunos trabajos previos no se ha considerado este conjunto de relieves como un único acuífero, sino que se habían definido varios sistemas:

- Acuífero de Crevillente: comprendiendo la Sierra de Crevillente y la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes, así como todos los relieves que en ésta hay -de los Frailes, Ofra, Caminanto, etc... (IGME-Dip. Alicante, 1982; Solís *et al.*, 1983; Mas, 1984; CGS, 1985; EVREN, 1989-90).

- Acuífero de Algayat: definido como un acuífero independiente y con entidad propia (IGME-Dip. Alicante, 1992), comprende las sierras de Algayat, del Rollo y de la Cava.

- Acuífero de la Madara: incluye la Sierra del Reclot, así como las del Coto y Gorgorí, estas últimas incluidas en el dominio Prebético. Inicialmente había sido incluido dentro del

Sistema de Quibas, el cual en los últimos años ha quedado compartimentado a consecuencia de la sobreexplotación, de forma que la parte comprendida por esos relieves se ha individualizado de Quibas (IGME-Dip. Alicante, 1992).

La extensión de afloramiento de los materiales carbonáticos que constituyen el Acuífero de Crevillente es aproximadamente de 74 km<sup>2</sup> (figura 42). El resto del área se encuentra principalmente cubierto por depósitos recientes de edad plioceno-cuaternario, o confinado por margas del cretácico. La potencia que pueden llegar a alcanzar es variable dependiendo del lugar. Así, mientras que en la Sierra del Reclot el conjunto de la serie jurásica se puede estimar en aproximadamente 320 m, el espesor en la Sierra de Algayat y Crevillente puede llegar a sobrepasar los 500 m.

Los materiales subbéticos reposan sobre los prebéticos. Esta disposición se observa claramente en la Sierra del Reclot. En ella, el frente de cabalgamiento lleva asociado una franja de arcillas y yesos triásicos que ha actuado como nivel de despegue del dominio subbético (Gallego *et al.*, 1981), por lo que es muy probable que esta lámina triásica permanezca en la base de todo el conjunto subbético y constituya parte del impermeable basal del Acuífero de Crevillente. Esta ha sido la idea defendida en la mayoría de trabajos (Fallot, 1945; Azéma, 1977; Pulido-Bosch y Fernández Rubio, 1980). El hecho de que algunas veces esta franja se encuentre muy laminada, como ocurre en la propia Sierra del Reclot, hace pensar que en algunos sectores los materiales jurásicos podrían encontrarse en conexión hidráulica con los materiales prebéticos permeables (IGME-IRYDA, 1978a). Sin embargo, en mi opinión, la existencia de surgencias en ambas vertientes del Reclot, ubicadas en el contacto de los materiales jurásicos con las arcillas triásicas hace sospechar en la desconexión hidráulica entre los materiales prebéticos y subbéticos.

En la Sierra de Crevillente algunas captaciones del Barranco del Tolomó han alcanzado los materiales del Keuper en profundidad, aunque hay que tener en cuenta que se trata de perforaciones muy próximas al borde SE, y el mismo Trías aflora a poca distancia. Sin embargo, no se tiene constancia de que los sondeos ubicados más al centro del acuífero hayan cortado este impermeable. Lo que sí parecen alcanzar, según las columnas litológicas de que dispongo, son unas "margas blancas". En realidad, y a tenor de la información obtenida recientemente en el sondeo nº23, no se trata de margas blancas *s. str.*, sino de una roca cataclástica constituida mayoritariamente por una fracción fina de tamaño arcilla de composición calcárea y, en menor medida, por pequeños fragmentos tamaño arena y algo mayores de naturaleza calizo-dolomítica. Posiblemente, esta litología constituye la base del cabalgamiento subbético. Las propiedades de este material son claramente impermeables por lo que pueden constituir un tramo impermeable suprayacente a los materiales triásicos. Estos mismos materiales blancos han sido encontrados en algunos sondeos de la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes y de la Sierra de Algayat a profundidades superiores a 500 m.

Universitat d'Alacant  
 Universidad de Alicante

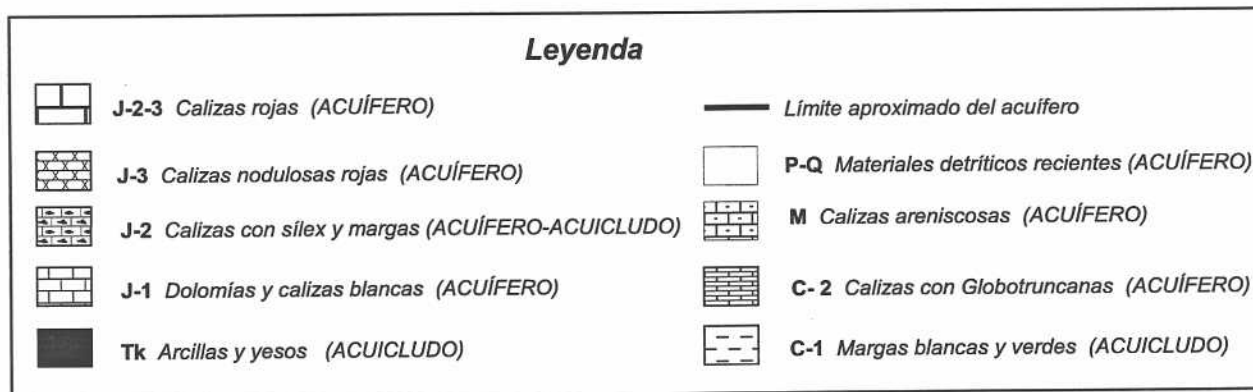
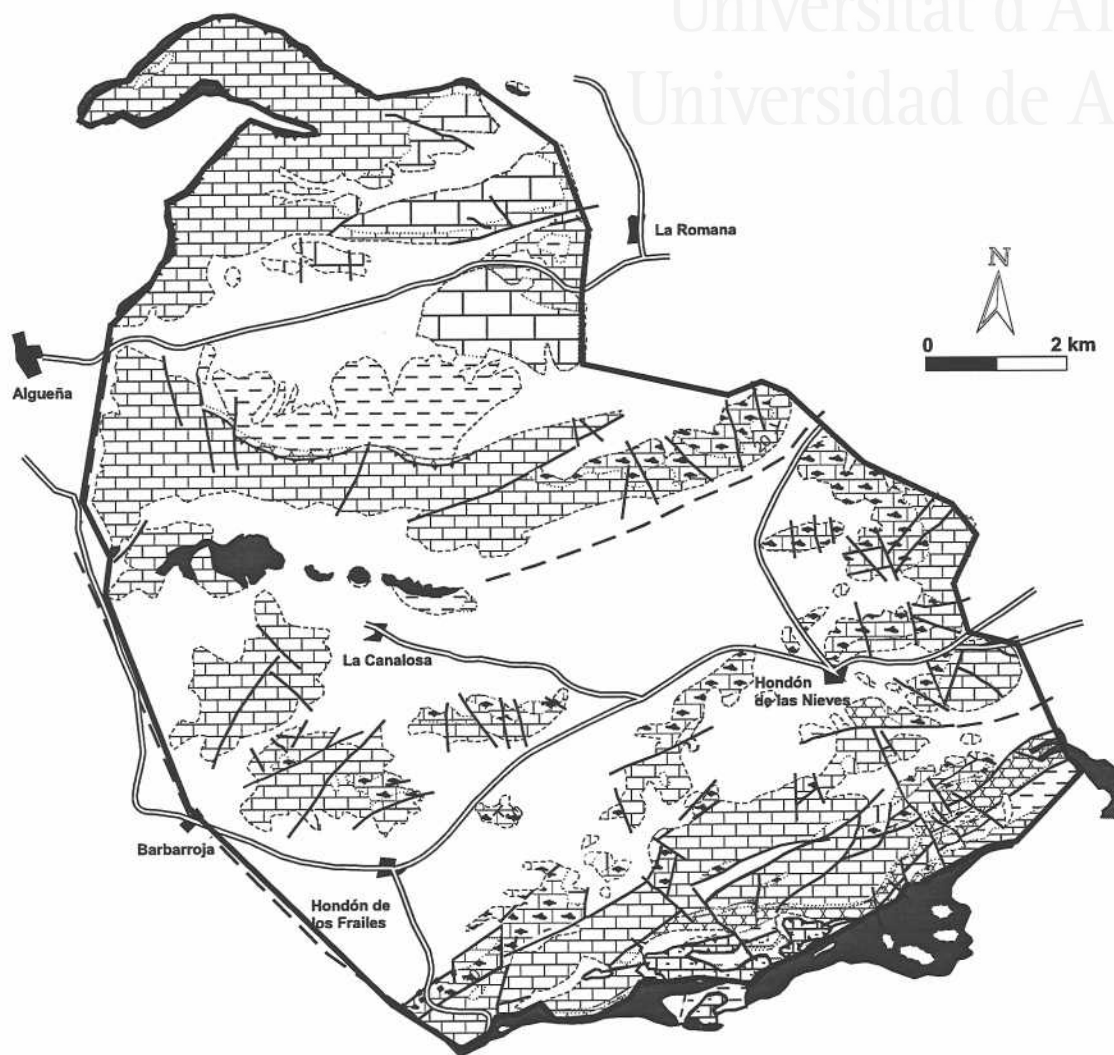


Figura 42. Esquema hidrogeológico del Acuífero de Crevillente.

El borde septentrional del sistema coincide con el frente de cabalgamiento subbético de la vertiente N de la Sierra del Reclot. El acuífero queda en este sector colgado a una cota de forma que se trata de un límite abierto sin apenas enraizamiento. Coincidente con este borde existen algunas surgencias que ponen de manifiesto el carácter abierto del mismo.

En cuanto al límite meridional del acuífero, coincide con la franja triásica de arcillas, margas y yesos que se dispone de forma cortante en el flanco S del anticlinal de la Sierra de Crevillente. La inyección triásica coincide en este sector con el denominado Accidente de Cádiz-Alicante (Sanz de Galdeano, 1983).

El borde SW lo constituye la barrera triásica de Barbarroja-Monte Alto, que aunque no llega a aflorar en superficie, debido al relleno de materiales recientes, fue detectada por métodos geofísicos (CGEGESA, 1963; IGME-IRYDA, 1982) y por los sondeos de investigación que realizó la compañía Riegos de la Salud en las proximidades de Barbarroja.

Similares características presenta el límite occidental entre Barbarroja y Algueña, ya que los depósitos recientes impiden la observación de la Falla del Cantón. No obstante, a lo largo del estrecho corredor por donde circula la Rambla Cutillas, existen pequeños afloramientos triásicos que apoyan esta idea. Además, el nivel de 300 m s.n.m. que presenta el punto acuífero nº 57, situado al pie de la Sierra del Cantón, únicamente puede explicarse por una desconexión hidráulica entre la Sierra del Cantón y el Acuífero de Crevillente.

Habitualmente, el límite lateral E se encuentra oculto bajo los depósitos de ladera, si bien en algunos puntos se puede observar que está definido por el contacto directo entre los materiales jurásicos y las margas cretácicas. Este contacto es visible en Sierra Pelada por una falla subvertical, mientras que en la Sierra de la Ofra la falla se hace más tendida y aparece el jurásico superpuesto al cretácico. En la parte más meridional de este límite, concretamente en la terminación oriental de la Sierra de Crevillente, son los yesos y arcillas rojas triásicas las que actúan de pantalla impermeable.

La estructuración que presenta el acuífero puede observarse en los diferentes cortes geológicos (figura 29). A grandes rasgos, de N a S el sistema ofrece dos partes diferentes: una septentrional donde la formación acuífera no presenta enraizamiento y, por tanto, constituye un bloque colgado; su condición es puramente transmisiva y con poca capacidad para el almacenamiento; y otra parte en que queda hundido y cuyas características son propicias para el almacenaje. La complejidad estructural que presentan los relieves meridionales queda reflejado en el ascenso y descenso de bloques, que en profundidad pueden provocar compartimentaciones.



## 4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

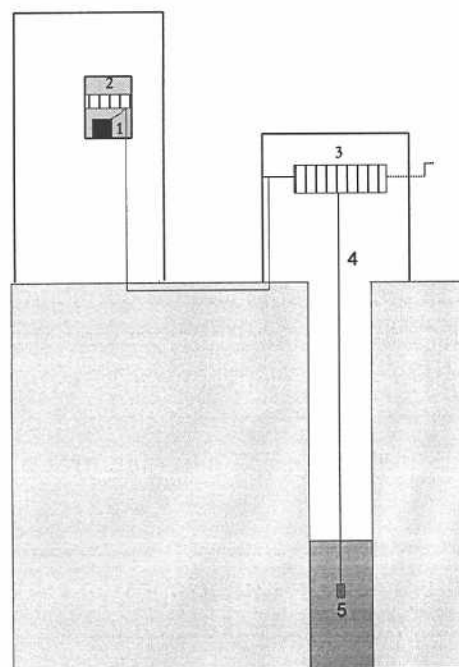
### 4.1. PIEZOMETRÍA

#### 4.1.1. Red de control piezométrico

Para efectuar el control piezométrico de este acuífero he establecido una red de medición que ha contado con 5 puntos: 2 en el sector oriental, 1 en el occidental y 2 en el sector Rollo-Algayat. Esporádicamente he realizado alguna medición en otros sondeos que no pertenecían a esta red. A pesar de la irregularidad en la distribución de los piezómetros, con ellos se controlan los tres sectores clásicos de explotación del sistema. Además de los propios datos medidos en estas redes, he podido contar con los registros de niveles pertenecientes a las redes de seguimiento piezométrico del ITGE, CHJ y Dip. de Alicante, así como de mediciones realizadas por las comunidades de regantes, cuyos datos han servido para completar y ampliar los registros.

Fundamentalmente, y a pesar de las elevadas profundidades a las que se encuentran en ciertos puntos, los niveles han sido tomados de forma manual mediante una sonda Meyer de 500 m. A partir de marzo de 1994 se pudo contar con el apoyo de una estación automática de lectura de nivel, instalada permanentemente en el nº 1, emplazado en el Barranco del Tolomó.

Esta estación de medida de nivel automático se compone básicamente de un sensor de presión, modelo PTX 530 fabricado por *Druck Limited* (Gran Bretaña). Tiene un peso de 330 g, excluyendo las conexiones eléctricas opcionales, cables, y otros. Su longitud es de aproximadamente 20 cm y su anchura de 4 cm. Es capaz de realizar medidas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $+50^{\circ}\text{C}$  con un error del 1%. Se alimenta por una fuente de energía, que en este caso es una batería de 12 V. Sumergida bajo el agua, realiza lecturas de presión y, por tanto, de la altura de la columna de agua que soporta. El valor de presión se traduce en un impulso eléctrico que, con intensidades comprendidas entre 4 y 20 mA, proporciona una señal de salida que es recogida por un conversor analógico-digital de 8 bytes. Éste asigna la señal eléctrica a una escala



**Figura 43.** Esquema de la estación automática de medida de nivel emplazada en el punto nº 1; 1: fuente de alimentación; 2: data-logger; 3: tambor giratorio; 4: cable de 500 m; 5: sonda.



de 256 niveles de medida, transformándola en un valor digital de longitud. Para ello es imprescindible establecer adecuadamente un rango de medida, el cual se calibra por el fabricante previamente a su instalación en función de las oscilaciones piezométricas que sufra el sondeo. La selección del rango de medida debe ser suficientemente precisa, pero a su vez, que ofrezca una buena autonomía operacional. En el caso del sondeo nº 1, cuyos registros previos indicaban variaciones estacionales superiores a la treintena de metros, hubo de realizar una calibración para 10 m. Con esta calibración la sonda es capaz de medir láminas de agua de hasta 10 m por encima de ella. Las alturas superiores ofrecen impulsos de 20 mA por lo que no se distinguen. Con esta calibración los errores cometidos son ligeramente inferiores a 4 cm. La metodología de trabajo obliga a situar la sonda dentro del agua a una profundidad adecuada en función de la tendencia estacional, de forma que no quede ni por encima del agua, ni tampoco sumergida con una columna de agua superior a 10 m. Para ello se dispone de una polea o tambor que, de forma manual, facilita la corrección de su posición cuando convenga (figura 43).

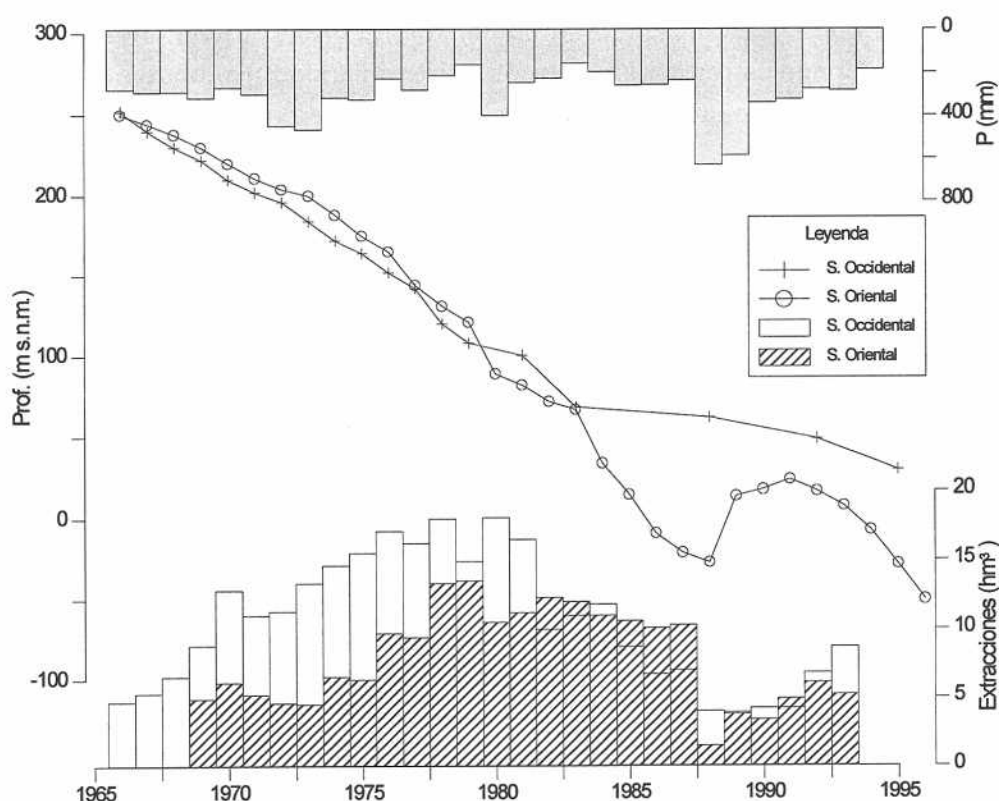
#### 4.1.2. Evolución piezométrica

Los sondeos efectuados en la depresión de Hondón de los Frailes por la compañía Riegos de la Salud en los años cincuenta demostraron que el conjunto de zonas acuíferas perforadas constituían una serie de "vasos comunicantes", ya que cualquiera que fuese la profundidad a la cual un sondeo encontraba el agua, el nivel estático se situaba invariablemente en la cota de 258 m, incluso para sondeos situados a una distancia de 6 km.

También la parte oriental debía tener niveles semejantes puesto que la información más antigua de que dispongo pertenece al sondeo nº 29, que en agosto de 1958 situaba su nivel estático a 117.60 m, es decir, a una cota absoluta de 260.4 m s.m.m., nivel prácticamente coincidente con los medidos por Riegos de la Salud en la parte occidental. Todo ello apunta a que previamente a la explotación del sistema, el nivel estático era sensiblemente el mismo a lo largo de todo el sistema, permaneciendo prácticamente constante a lo largo del tiempo, puesto que Riegos de la Salud realizó su seguimiento durante cuatro años sin encontrar grandes variaciones.

Con la situación expuesta anteriormente, entre 1959 y 1964 comienza la proliferación de captaciones en el acuífero; en la parte occidental se ejecuta la Galería, y en la oriental, concretamente en el Barranco del Tolomó (Asensio, 1982), se realizan perforaciones verticales. La evolución piezométrica del acuífero queda bien caracterizada por los sondeos nº 1 en el sector oriental y los registros de la Galería en el sector occidental (figura 44). Desde el inicio de las extracciones comenzaron a producirse descensos del nivel piezométrico. Inicialmente fueron del orden de 2 m, aumentando a partir de 1965 a medida

que el volumen extraído era mayor. Las caídas de niveles más importantes se produjeron en los años 1979 y 1983 cuando las pérdidas de cota de la superficie piezométrica fueron superiores a 30 m. La evolución en ambos sectores del acuífero presenta una total semejanza hasta 1983. A partir de esta fecha, a pesar de que se continuó con la misma proporción de extracciones en cada sector, el comportamiento de la piezometría comienza a ser irregular, lo que se podría interpretar, bien como una desconexión entre sectores, o bien como una reducción de la comunicación entre ambos.



**Figura 44.** Evolución de la piezometría de los principales sectores de explotación frente a la precipitación y las extracciones.

Aunque después de 1983 en ambos sectores el descenso piezométrico continuó siendo la norma habitual, dado que las precipitaciones recibidas fueron inferiores al módulo pluviométrico del área, en el sector del Tolomó la caída de los niveles se agudizó mucho más, pasando a tener descensos relativos de 18 m/año para el periodo 1983-88; por el contrario, en la Galería no se alcanzaron los 2 m/año.

El periodo 1989/1991 se caracterizó por ser muy húmedo, hecho que tuvo una respuesta notable en el sector del Tolomó provocando una recuperación piezométrica. El ascenso de nivel experimentado en 1989 superó 40 m. Sin embargo, pasado el inicio de la década de los noventa se entró en otra etapa seca en la que nuevamente se

intensificaron los bombeos y provocaron la caída de los niveles hasta profundidades que en diciembre de 1995 se situaron a 56 m b.n.m.

Por el contrario, en el sector de la Galería la etapa lluviosa no llegó a originar una recuperación en la piezometría. Durante este periodo se mantuvo la tónica descendente que ha perdurado hasta la actualidad y que en los últimos años ha originado descensos relativos medios en torno a 5 m/año.

La evolución piezométrica en las captaciones ubicadas en la Sierra de Algayat-Rollo, no se conoce con precisión, dado que previamente a este trabajo no ha existido ningún piezómetro en donde se realizaran medidas con regularidad. No obstante, trataré de hacer una reconstrucción evolutiva utilizando niveles de diferentes sondeos, de forma que se pueda tener una idea lo más aproximada del comportamiento hidrodinámico de este sector.

En 1964 el IRYDA efectuó un sondeo de 300 m en la parte N de la Sierra del Rollo que tenía el nivel a 132 m de profundidad. En función de la altitud de la captación recogida en la ficha técnica, el nivel del agua se encontraba a una cota absoluta de 232 m s.n.m. Este nivel, casi 30 m por debajo del encontrado en la Sierra de Crevillente, parece demasiado profundo para esa fecha en la que las extracciones eran muy pequeñas. El intento de localizar este sondeo en campo, para comprobar su cota real, fue infructuoso, probablemente porque debió abandonarse, ya que como se recoge en la ficha técnica del IRYDA no se consideró explotable para riego.

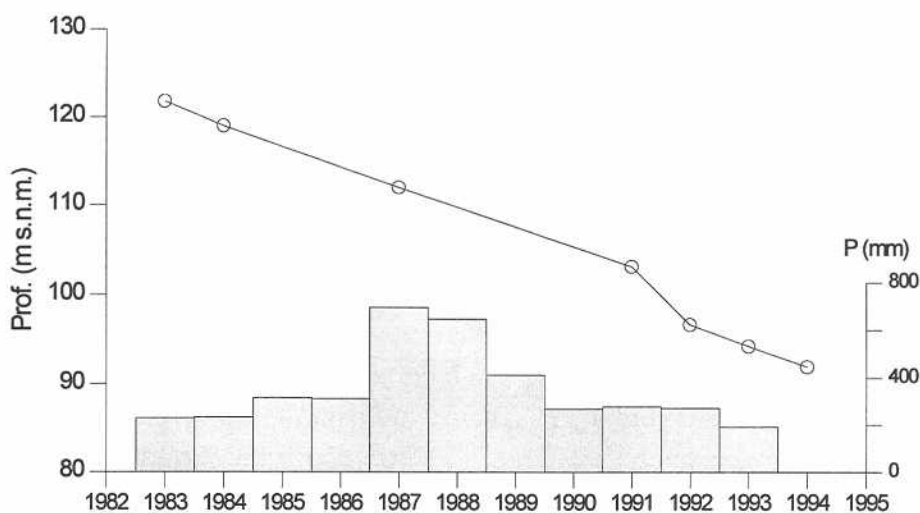


Figura 45. Evolución piezométrica del sector septentrional.

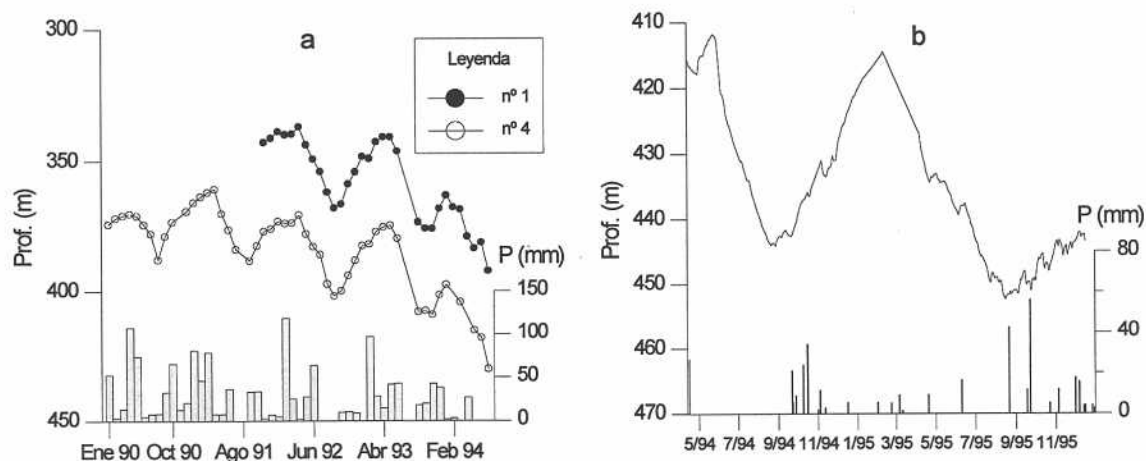
Los primeros sondeos en la vertiente meridional de la Sierra de Algayat se efectuaron en la década de los setenta. El nº 66 cortaba la superficie piezométrica en junio de 1973 a 188 m s.n.m, cota muy semejante a 192.5 m s.n.m. que presentaba la Galería

en la misma fecha, por lo que en función de estos datos se pone de manifiesto la existencia de una total conexión hidráulica de este sector con la parte meridional del acuífero.

En cuanto a la evolución que ha seguido la superficie piezométrica en esta parte, ha sido también descendente con el tiempo, ya que el sondeo nº 55 situaba su lámina de agua a 121 m s.n.m. en 1983, lo que supone una pérdida de cota media de 6.7 m/año con respecto al nivel del punto nº 66 en 1973. Al comparar los 121 m s.n.m. con los medidos en Crevillente para esa misma fecha, se observa que este sector presentaba su lámina de agua 50 m más alta. Esta diferencia podría estar justificada por una posible desconexión o pérdida de comunicación entre esta parte del acuífero y los sectores de la Sierra de Crevillente. El comportamiento del nivel piezométrico de los últimos años (figura 45) continúa teniendo la misma tendencia descendente.

#### 4.1.3. Variaciones estacionales

Con el fin de observar las posibles fluctuaciones estacionales que se producen en el acuífero a lo largo de un año se han seleccionado aquellos pozos que presentan registros piezométricos mensuales de más de un ciclo.



**Figura 46.** Variaciones estacionales de los puntos nº1 y nº 4 del sector oriental (a). Detalle del comportamiento del nivel piezométrico con lecturas diarias en el punto nº 1 (b).

Los piezómetros nº 1 y nº 4 (figura 46), reflejan claramente un comportamiento estacional bien marcado en el sector del Tolomó, el cual depende del régimen de extracciones y de la pluviometría de cada año. En general, las máximas depresiones de la superficie piezométrica se suelen producir en los meses de septiembre y octubre, mientras que las cotas más altas se alcanzan en primavera. Las oscilaciones observadas en estos dos piezómetros son bastante acusadas, siendo superiores a 30 m. Un hecho evidente que refleja el estado de sobreexplotación del sector es que desde 1990 la recuperación primaveral ha sido siempre inferior al nivel del año anterior, por lo que existe un descenso

generalizado de la superficie piezométrica, que se ha agudizado en los últimos años como consecuencia de las escasas precipitaciones caídas.

Las precipitaciones de cierta entidad originan una respuesta en los niveles cuando se producen en otoño e invierno, periodo en el cual los bombeos se reducen considerablemente. Cuando coinciden con la época de fuertes extracciones apenas se reflejan en la piezometría.

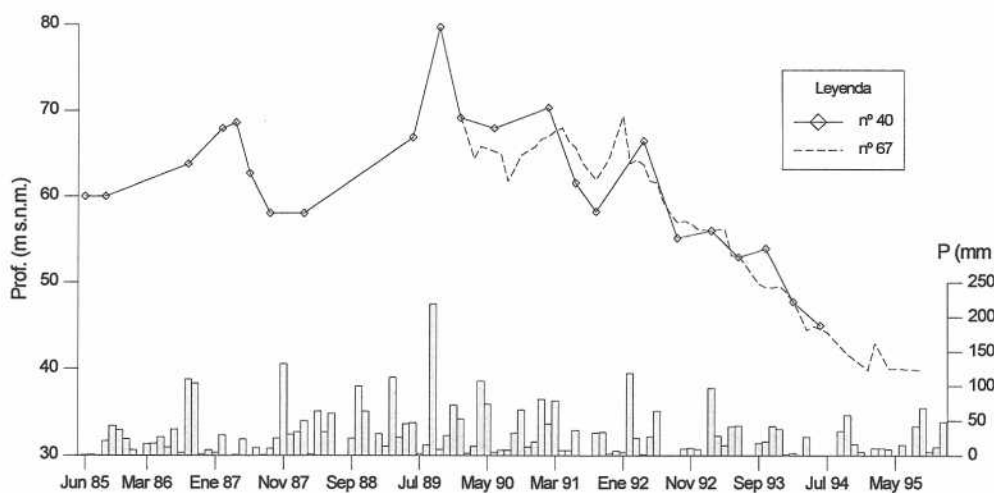


Figura 47. Comportamiento estacional de la piezometría en el sector occidental.

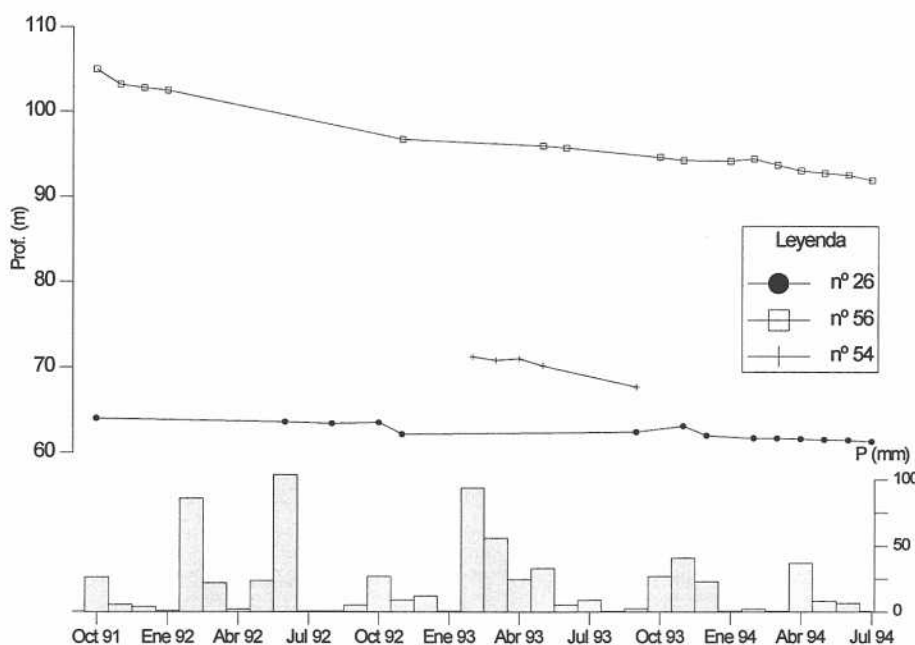


Figura 48. Comportamiento estacional de la piezometría en el sector septentrional.

Los sondeos n° 40 y 67 (figura 47), reflejan el comportamiento del sector occidental. El n° 40 muestra ligeramente una variación estacional hasta 1992, momento

a partir del cual entra en una tendencia descendente y casi continua. Únicamente aquellos meses en que las precipitaciones están en torno a los 100 mm parecen tener influencia en la piezometría.

Son pocos los datos pertenecientes a la Sierra de Algayat-Rollo, a pesar de que se seleccionaron dos piezómetros para controlar la evolución del nivel del agua (figura 48); algunos problemas para poder efectuar las mediciones, unido a que este sector del acuífero no se encuentra incluido en ninguna red privada o administrativa explica la falta de información al respecto. El comportamiento de este sector viene marcado por los registros de los puntos nº 55 y 26, los cuales presentan una tendencia ligeramente descendente continua. En ninguno de los dos puntos las influencias de las precipitaciones producidas durante el periodo de seguimiento se han acusado en los niveles.

#### 4.1.4. Comportamiento hidrodinámico del acuífero

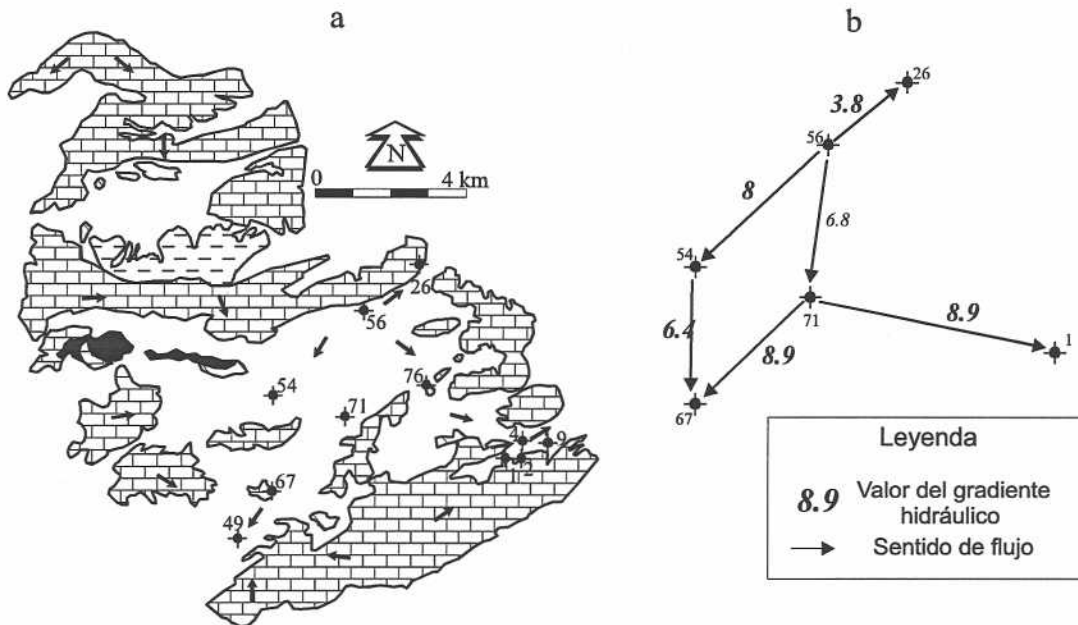
Las diferencias piezométricas existentes entre los sondeos situados en la Sierra de Algayat con los de la Sierra de Crevillente, unido a la presencia de la denominada Falla de La Canalosa, han sido utilizados como criterios para establecer el límite septentrional del Acuífero de Crevillente (IGME-Dip. Alicante, 1982; Solís *et al.*, 1983; MOPU, 1989; Corchón *et al.*, 1989, EVREN, 1989-90). Sin embargo, dentro del marco de este estudio se ha podido constatar que existe comunicación entre los puntos acuíferos de las sierras de la Ofra y del Rollo, es decir, entre ambos lados de la citada falla.

A finales de agosto de 1993 se interrumpieron los bombeos en este paraje, por lo que se pudieron medir los niveles estáticos de los nº 24 y nº 28; ello suponía poder medir simultáneamente las captaciones de ambos lados de la falla y, por tanto, de acuíferos diferentes. Los niveles encontrados fueron de 84.7 m s.n.m. en el nº 24 y de 82.6 m s.n.m. en el nº 28. Estas diferencias pueden deberse a los propios errores a la hora de establecer las altitudes exactas de los puntos acuíferos. Si se aceptan las nivelaciones altitudinales, se obtiene un gradiente del 4‰, valor muy diferente al 27‰ obtenido en 1989 (Corchón *et al.*, 1989), por lo que este criterio no parece suficiente para establecer la desconexión entre ambos labios de la falla, ya que las zonas de transición entre sistemas anexos se caracterizan por la existencia de gradientes muy elevados (Mangin, 1975 y 1984). No obstante, este criterio por sí sólo no puede ser concluyente y necesita el apoyo de otros criterios hidrogeológicos. En este sentido, elevados saltos piezométricos sin desconexión alguna han sido puestos de manifiesto en acuíferos kársticos por la presencia de fallas que elevan el muro impermeable de uno de los labios, provocando que el nivel del agua también quede más elevado (Bonacci, 1987; Jeannin *et al.*, 1993).

En definitiva, este sistema se caracteriza porque presenta piezometrías diferentes en cada una de las áreas de extracción, probablemente originadas como consecuencia de



la estructuración geológica, reducciones de permeabilidad del medio y cantidad de agua extraída. La existencia de comunicación entre las distintas partes del sistema se apoya en la presencia de gradientes inferiores al 10‰ (figura 49) y los comportamientos piezométricos como los experimentados en el Tolomó, donde tras la paralización de los bombeos se originaron recuperaciones incluso en años en que las precipitaciones fueron escasas. De cualquier forma, la posible presencia de materiales impermeables del Trías en profundidad impide descartar taxativamente la existencia de barreras que dejen partes individualizadas.



**Figura 49.** Direcciones y sentido del flujo dentro del acuífero (a). Esquema de gradientes entre algunos puntos (b).

La figura 49 propone un esquema simplificado de flujo en el conjunto del sistema. En líneas generales, el flujo presenta una dirección N-S para el conjunto del sistema, afectado por las áreas de extracción que tienden a polarizarlo hacia cada una de estas áreas.

## 4.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

### 4.2.1. Introducción

La determinación de los parámetros hidráulicos en algunos puntos de los acuíferos porosos da una idea bastante acertada de sus condiciones hidráulicas, ya que este tipo de acuíferos presenta un flujo difuso de características relativamente homogéneas. En el caso de los acuíferos kársticos, su estructuración, como resultado de los complejos procesos de

karstificación (Cvijic, 1918; Gèze, 1965; Herak y Stringfield, 1972; Bakalowicz, 1979 y 1982; Ford y Williams, 1989), provoca una acusada heterogeneidad y anisotropía en el medio capaz de concentrar el flujo en determinados conductos. Esto impide muchas veces obtener con facilidad valores de transmisividad suficientemente representativos, por lo que a nivel científico no existe un acuerdo unánime a la hora de usar este parámetro para este tipo de reservorios.

Puesto que el medio kárstico posee características hidrodinámicas particulares, no siempre dentro de los límites de validez de las leyes de circulación clásicas, se ha intentado resolver este problema mediante la utilización de parámetros equivalentes. La utilización de las curvas características de los pozos, obtenidas a partir de las pruebas de bombeo, puede ser un elemento comparativo entre los diferentes sistemas kársticos que puede sustituir la búsqueda de valores de transmisividad (Mangin, 1975). De cualquier forma, las determinaciones de transmisividad en acuíferos kársticos, bien a partir de curvas de agotamiento de manantiales, bien sobre pozos también han sido ampliamente utilizadas (Schoeller, 1965; Bear y Schwarz, 1966; Mijatovic, 1974; Kiraly y Morell, 1976; Burger, 1983; Gouin, 1988).

No cabe duda de que la heterogeneidad que presenta el medio implica realizar un mayor número de observaciones regularmente espaciadas para poder obtener una idea aproximada del comportamiento hidráulico. Sin embargo, en la mayoría de estos acuíferos la información se encuentra en puntos muy localizados y desigualmente distribuidos; los valores obtenidos por los ensayos de bombeo tan sólo tienen una representación local, generalmente controlado por el efecto de las macrofisuras (Kiraly, 1975) y multitud de veces no son extrapolables a otros sectores del acuífero; a pesar de ello, pienso que los resultados pueden aportar una idea de las características físicas que presenta actualmente este acuífero.

#### 4.2.2. Bombeos de ensayo

He efectuado cinco bombeos de ensayo repartidos entre las diferentes áreas de explotación. También he contado con algún aforo llevado a cabo por la *Confederación Hidrográfica del Júcar* en nuevas captaciones. Las pruebas se han realizado aprovechando los equipos de bombeo instalados en los sondeos, por lo que los caudales han estado fijados en cada caso por las propias características de la bomba. Además, he asumido que las variaciones de caudal a lo largo de la prueba son insignificantes. En la mayor parte de los casos no he podido controlar los descensos en los mismos pozos de bombeo, dado que no poseían tubo piezométrico, por lo que las medidas de descenso y recuperación se efectuaron en piezómetros próximos; ello ha posibilitado calcular también los valores del coeficiente de almacenamiento (S). En todos los sondeos las pruebas de bombeo se han interpretado según la metodología de Jacob (1946). Aunque el acuífero captado actuaba

siempre como libre, no he procedido a la corrección de Dupuit dado que los descensos producidos son inferiores al 15% del espesor saturado (Villanueva e Iglesias, 1984).

- **Prueba nº 1.** Se efectuó en enero de 1992 aprovechando la época invernal en la que las extracciones de este sector son mínimas. La prueba superó las 48 h y se pudo controlar la recuperación. El bombeo se realizó en el sondeo nº 10, el cual extraía un caudal en torno a 45 l/s; los descensos se midieron en el nº 2, situado a 50 m. La curva de descensos (figura 50a) permite deducir una transmisividad de 700 m<sup>2</sup>/día, y un coeficiente de almacenamiento de 1.4x10<sup>-3</sup>. Los primeros descensos podrían interpretarse como la respuesta del vaciado de una zona más conductora tal como una cavidad o fractura de cierta entidad, mientras que el tramo inferior corresponde al aporte de una zona mucho menos transmisiva, una vez producido el vaciado de la anterior. Las últimas mediciones pusieron de manifiesto la existencia de una ligera recuperación de difícil explicación. No se descarta que corresponda a la influencia de áreas más transmisivas alcanzadas por el "conoide" pasado ese tiempo inicial de bombeo; en cualquier caso, debe corresponder a la existencia de una recarga, suficiente como para anular el efecto del bombeo y provocar, además una subida de nivel.

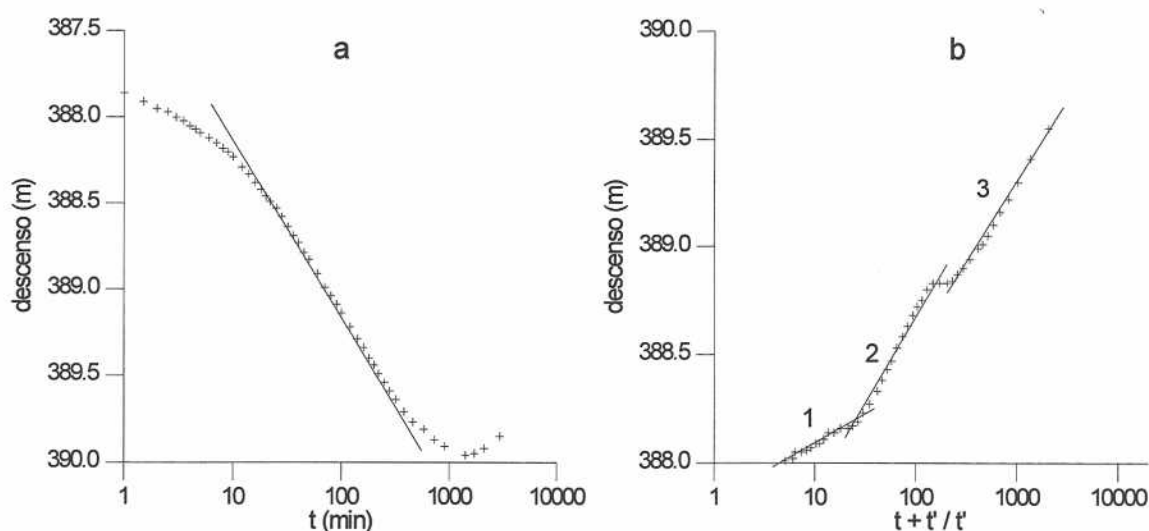


Figura 50. Evolución del nivel piezométrico del punto nº 2 durante la prueba de bombeo realizada en el punto nº 10. Descenso (a) y recuperación (b).

La curva de recuperación (figura 50b) presenta varios tramos en los que se han podido obtener transmisividades de 900 m<sup>2</sup>/día, 350 m<sup>2</sup>/día y 2800 m<sup>2</sup>/día, lo que puede ser interpretado como irregularidad en el aporte de agua, debido a la presencia de partes más transmisivas y partes más capacitivas. Utilizando los valores de transmisividad obtenidos en el ensayo de recuperación, se estima que la permeabilidad varía entre 3 y 25 m/día.

- **Prueba nº 2.** Fue realizada en la Galería de los Suizos en marzo de 1993. En este bombeo

de ensayo se contó con el registro de descensos del sondeo nº 47, el cual bombeaba un caudal de 100 l/s, y del piezómetro 49, situado a 40 m. El ensayo de bombeo se dió por finalizado después de 33 horas ya que el comportamiento de los niveles era anómalo. No se midió la recuperación puesto que el sondeo no dejó de bombear.

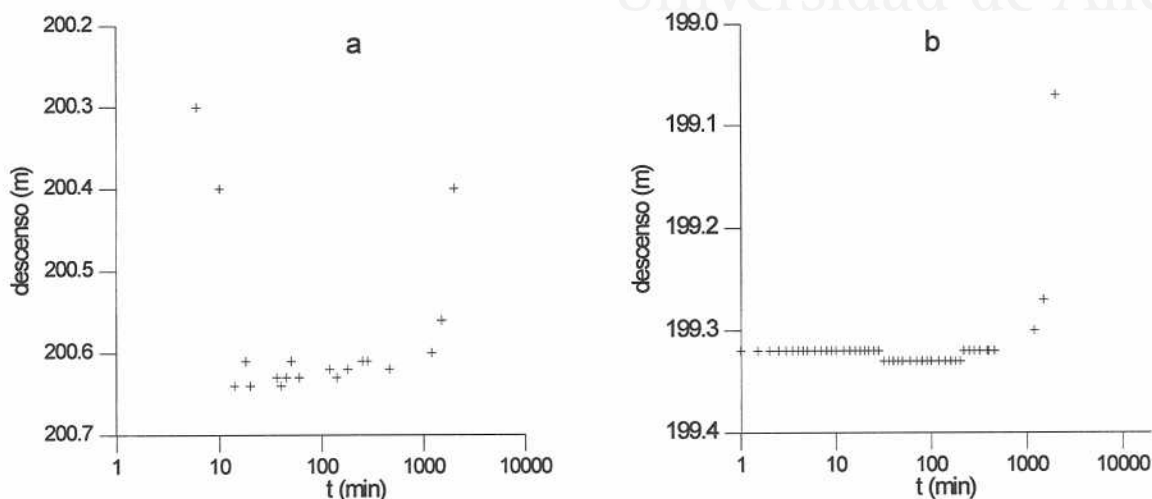


Figura 51. Bombeo de ensayo en el punto nº 47. Descensos en el pozo de bombeo (a) y en el piezómetro nº 49 situado a 35 m (b).

La curva de descensos en el pozo de bombeo (figura 51a) muestra una caída del nivel en los primeros minutos para después mostrar una cierta estabilización. Esta estabilización casi inmediata en acuíferos kársticos ha sido explicada con la posibilidad de que el sondeo está próximo a una zona muy karstificada, o bien con comunicación directa con las zonas conductoras como fracturas o conductos kársticos (Gouin, 1988). Los descensos iniciales probablemente se deben a las pérdidas de carga propias del pozo.

El piezómetro no experimenta ninguna señal de afección a causa del bombeo (figura 51b) lo que apoya la idea anteriormente expuesta; sin embargo, cabría la posibilidad de que no se vea afectado por la ausencia de comunicación entre ambos al estar emplazados en bloques distintos. La resolución de esta dualidad necesita del apoyo de técnicas de trazadores; de cualquier forma ambas soluciones parecen apuntar a que nos encontramos ante evidencias de karstificación.

Se observa que, tanto en el punto de bombeo como en el piezómetro, se produce un ascenso del nivel del agua en función del tiempo. Ello ha sido interpretado como un efecto de recarga sobre el sector. Los sondeos de esta Galería funcionan ininterrumpidamente día y noche, por lo que se produce un cono de depresión sectorial tal y como refleja el mapa de flujos (figura 49), con gradientes hidráulicos dirigidos hacia la Galería. Si a esto unimos que los días anteriores a la prueba se produjeron precipitaciones importantes, parece lógico pensar que al dejar de bombear y efectuar la prueba, el sector

experimentó una recuperación general, de ahí que existan ascensos de nivel tanto en el pozo como en el piezómetro.

- **Prueba nº 3.** También se llevó a cabo en el sector oriental del acuífero, si bien en este caso se utilizaron los sondeos nº 68 que bombeaba un caudal de 90 l/s y el nº 67 utilizado como piezómetro. Se trata del bombeo de ensayo más largo de los efectuados en este acuífero, ya que se midieron los niveles durante 9 días; sin embargo, el sondeo continuó en funcionamiento durante meses, por lo que no se pudo proceder a la medición de la recuperación de niveles.

En la curva de descensos de la gráfica semilogarítmica (figura 52) se observa un tramo inicial con una transmisividad de 7500 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de  $4.3 \times 10^{-3}$ , y un segundo tramo a partir de los 1000 min en el que se producen los mayores descensos; el valor de transmisividad fue de 2000 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento 0.13. Este último tramo sugiere la presencia de un límite impermeable, el efecto de otro bombeo o el vaciado de un dominio capacitivo que no presenta una realimentación suficiente.

La variación del valor del coeficiente de almacenamiento apunta a un posible cambio de acuífero confinado a acuífero libre, probablemente relacionado con la estructuración geológica local.

- **Prueba nº 4.** Para este bombeo de ensayo realizado en la Sierra de Algayat, se utilizaron los puntos nº 55 y 56 situados a una distancia de 250 m. Se bombeó con un caudal de 55 l/s. La transmisividad calculada para el tramo final de la curva ha sido de 10800 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento de  $1.8 \times 10^{-3}$  (figura 53). En cuanto a la permeabilidad, ésta se encuentra en torno a 50 m/día. No se pudo efectuar la prueba de recuperación, puesto que el sondeo siguió bombeando ininterrumpidamente durante meses.

- **Prueba nº 5.** Fue realizada en el sector del Rollo donde se utilizó el nº 25 como pozo de bombeo, extrayendo un caudal de 14 l/s y el nº 26, situado a 30 m, como piezómetro. La figura 54 representa la curva de los descensos en función del log (t) en la que se observan distintos tramos que pueden interpretarse como variaciones de las condiciones

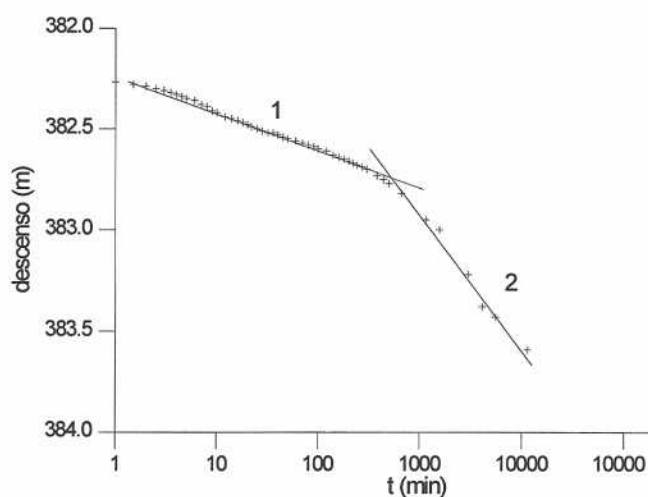


Figura 52. Evolución del nivel piezométrico en el punto nº 67 durante la realización del bombeo de ensayo en el nº 68.

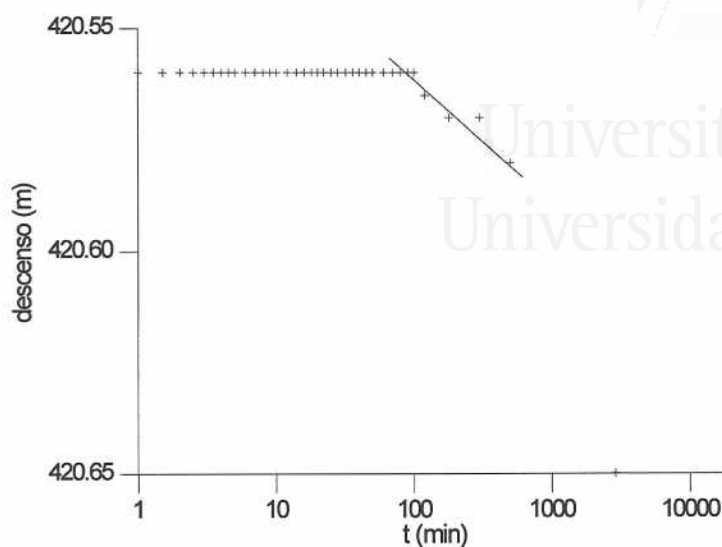


Figura 53. Evolución del nivel piezométrico en el punto nº 56 durante la realización del bombeo de ensayo en el nº 55.

hidráulicas. Los valores de transmisividad han estado comprendidos entre 20 y 200 m<sup>2</sup>/día, y el coeficiente de almacenamiento medio en  $1.8 \times 10^{-4}$ , valor que en principio parece demasiado pequeño para este acuífero. También las permeabilidades son las más bajas encontradas para todo el sistema, siendo inferiores a 1.5 m/día.

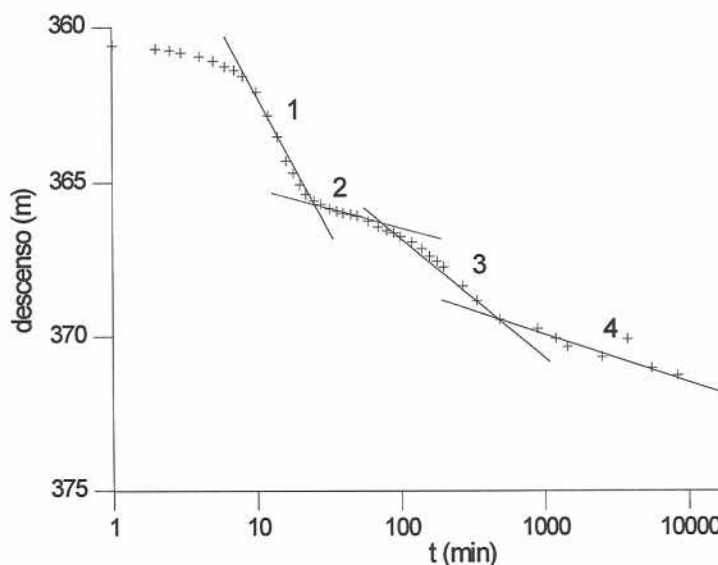


Figura 54. Comportamiento del nivel piezométrico en el punto nº 26 durante la realización del bombeo de ensayo en el nº 25.

En resumen, se observa cómo las transmisividades calculadas presentan una amplia variación pudiendo abarcar desde 50 a más de 10000 m<sup>2</sup>/día. Esta clara distribución espacial se corresponde bastante bien con el modelo de un acuífero karstificado. Los



coeficientes de almacenamiento obtenidos parecen ser demasiado pequeños para corresponder a acuíferos kársticos libres. Es posible que esta característica se deba a confinamientos locales como consecuencia de la superposición de tramos margosos a las partes acuíferas, debido a la intensa tectónica que ha sufrido el área. En este sentido, en el interior de la Galería de los Suizos se puede observar cómo una falla pone en contacto materiales carbonáticos con margas del Lías superior.

## 5. HIDROGEOQUÍMICA

### 5.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los estudios hidrogeoquímicos de los acuíferos kársticos han tomado una gran importancia en el conocimiento de este medio. Las características fisicoquímicas de sus aguas pueden llegar a poner de manifiesto una serie de procesos químicos que aportan abundante información sobre los factores litológicos, geométricos, geográficos y climáticos, así como contaminantes que afectan y controlan el funcionamiento, estructura, génesis y evolución de los acuíferos kársticos (Bakalowic, 1979, 1982, 1986 y 1992; Hanshaw y Back, 1979; Tadolini *et al.*, 1982; Worthington *et al.*, 1982; Antigüedad, 1986; Custodio, 1986; Antigüedad y Sancho, 1988; Pulido-Bosch y Cerón, 1991; Worthington y Ford, 1995). En este sentido el comportamiento de los isótopos también contribuye a aumentar este conocimiento y se considera como otra herramienta de gran importancia dentro de la hidroquímica kárstica (Back y Zoetl, 1975; Bakalowicz y Jussserand, 1987; Bishop y Lloyd, 1990).

Con el objeto de obtener una caracterización hidrogeoquímica del acuífero, establecer las variaciones espaciales y temporales, así como los procesos involucrados en ellas, he realizado un seguimiento hidrogeoquímico durante un periodo ligeramente superior a dos años.

### 5.2. SISTEMÁTICA DEL MUESTREO HIDROGEOQUÍMICO Y ANÁLISIS

La caracterización hidrogeoquímica y las variaciones espaciales y temporales de los principales parámetros fisicoquímicos se han llevado a cabo mediante el establecimiento una red de muestreo, cuyo diseño estuvo condicionado por las infraestructuras que presentaba el sistema. En total han sido veinte puntos los incluidos dentro de esta red. Además, he tomado algunas muestras esporádicas en otros puntos no incluidos en ella.

El muestreo ha sido efectuado con periodicidad mensual; sin embargo, la irregularidad de las necesidades hídricas para el riego y las frecuentes averías de las bombas de extracción de las captaciones, han ocasionado frecuentes lagunas en las series

de datos.

Las muestras se recogieron directamente en la salida de la tubería de la captación. Para ello se utilizaron botellas de polietileno de 1 litro. El método seguido para la toma del agua ha sido el utilizado habitualmente en este tipo de muestreos, lavando previamente la botella dos veces con el mismo agua, y llenándola hasta su totalidad para intentar evitar la formación de burbujas de aire en su interior. La conductividad y la temperatura fueron medidas *in situ* durante el muestreo.

Las muestras se llevaban al laboratorio pocas horas después de su toma. Inmediatamente se procedía a la determinación del pH, carbonatos y bicarbonatos. Así mismo se separaban dos alícuotas de agua, una para la determinación de aniones y otra para la determinación de cationes. A esta última se le adicionaba 0.25 ml/l de HNO<sub>3</sub> para evitar posibles precipitaciones. Ambas alícuotas, distribuidas en sendas botellas de polietileno, se conservaban en la cámara frigorífica a una temperatura de 4°C, hasta el momento de su análisis.

Los parámetros determinados se pueden agrupar en parámetros no específicos (conductividad eléctrica, pH y temperatura), constituyentes químicos mayoritarios (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, sodio y potasio), y constituyentes químicos minoritarios (silíce, estroncio, boro, bario, hierro, aluminio, manganeso, níquel, cobalto, cromo, plomo, zinc, cadmio y cobre).

A continuación se exponen de forma muy simplificada los métodos empleados para la obtención de cada uno de estos parámetros.

- *Conductividad eléctrica.* Con un conductímetro modelo *Hi-8733*, de marca *Hanna Instruments*. Las conductividades son referidas automáticamente a una temperatura de 25°C y son expresadas en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- *pH.* Potenciometría directa mediante un pH-metro de laboratorio con compensación automática de temperatura modelo *micropH 2001* de la marca *Crison*. A pesar de que el pH-metro ofrece dos cifras decimales he preferido utilizar únicamente la primera, debido a que la segunda cifra podría estar sometida a error al no haberse determinado este parámetro en campo.
- *Temperatura.* Termómetro digital portátil modelo *Hi-8733* de la marca *Hanna instruments*.
- *Alcalinidad.* Valoración ácido-base con CIH, utilizando como indicadores fenolftaleína y anaranjado de metilo.

- **Cloruros.** Volumetría en medio neutro con una solución de  $\text{AgNO}_3$  en presencia de cromato potásico.
- **Sulfatos y nitratos.** Cromatografía iónica, utilizando un cromatógrafo marca *Dionex QIC*, siguiendo los métodos estándar descritos en AOAC Official Methods of Analysis (1990).
- **Calcio, magnesio, sodio y potasio.** Espectrofotometría de absorción atómica utilizando un espectrofotómetro *Instrumental Laboratory S11*. Para el análisis de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se utilizaron disoluciones con un 4% de  $\text{LaCl}_3$  para impedir la interferencia por ionización de la llama.
- **Constituyentes químicos minoritarios.** Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP), en un espectrómetro marca *Leemam Labs-PS*.

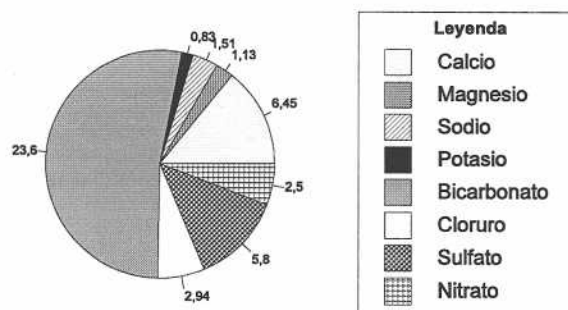
La detección de errores analíticos y la estimación de la bondad de los resultados ha sido calculada a partir del error porcentual del balance iónico mediante la ecuación de Schoeller (Schoeller, 1962):

$$\text{Err (\%)} = \frac{\sum \text{cat} - \sum \text{an}}{\sum \text{cat} + \sum \text{an}} \times 100$$

siendo  $\sum \text{cat}$  y  $\sum \text{an}$  el sumatorio de cationes y aniones respectivamente, expresados en meq/l. Los análisis que presentaban errores por encima del 8 %, fueron repetidos o desestimados.

### 5.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA LLUVIA

Puesto que el agua de precipitación es la fuente directa que recarga los acuíferos, no quisiera entrar en el estudio hidrogeoquímico de las aguas subterráneas sin previamente esbozar brevemente los rasgos hidroquímicos esenciales del agua de lluvia que se produce sobre el Acuífero de Crevillente. Este acuífero queda incluido en la "Zona D: Alicante al S de la Sierra de Bernia" establecida por Carratalá (1993). Esta zona comprende la parte meridional de la provincia de Alicante y se caracteriza por presentar elevadas concentraciones en bicarbonatos, sulfatos y calcio, así como una alta dispersión de los valores analíticos.

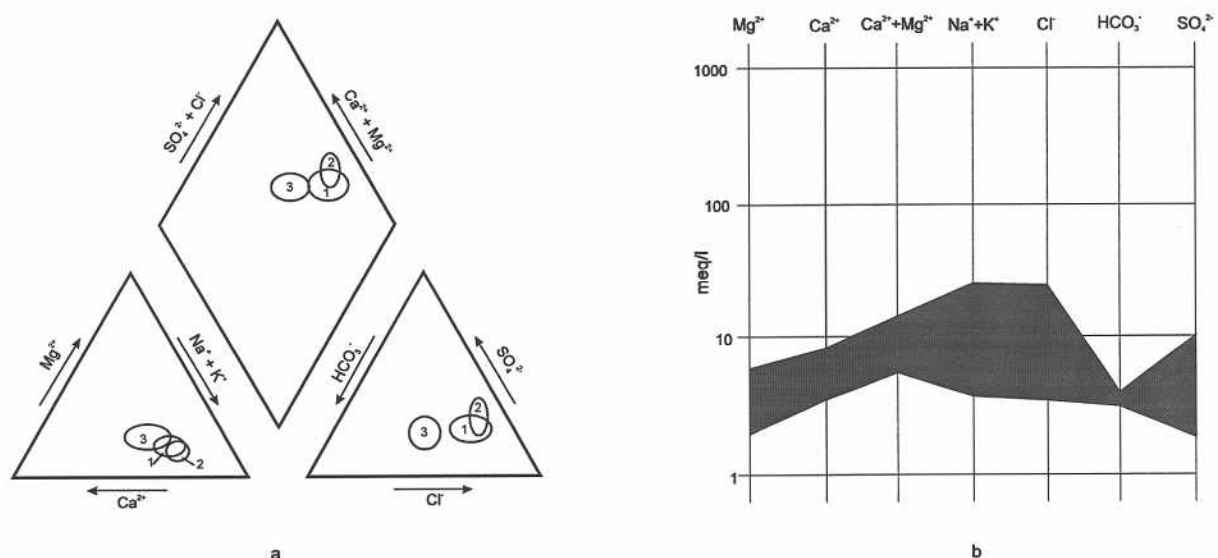


**Figura 55.** Contenidos medios (mg/l) de los diferentes iones mayoritarios del agua de precipitación en Pinoso (datos tomados de Carratalá, 1993).

Las lluvias recogidas en las estación de Pinoso presentan facies bicarbonatada cálcica, alcanzando una conductividad media de  $55 \mu\text{S}/\text{cm}$  y un pH de 7.07. Las concentraciones medias de los principales iones estimados a partir de 38 muestras de agua recogidas entre diciembre de 1989 y diciembre de 1991 por Carratalá (*op. cit.*) se muestran en la figura 55.

#### 5.4. FACIES HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para caracterizar el tipo de agua que contiene este sistema acuífero he representado los resultados analíticos del muestreo de marzo de 1994 en los diagramas de Piper, Schoeller-Berkaloff y Stiff modificado (figuras 56 y 57).



**Figura 56.** Diagramas de Piper de la aguas del acuífero de Crevillente. 1: sector oriental; 2: sector occidental; 3: sector septentrional (a). Representación del área en la que quedan comprendidas las muestras de la totalidad del acuífero dentro del diagrama Schoeller-Berkaloff (b).

Los tipos de facies hidroquímicas presentan una clara distribución espacial. La mayoría de las captaciones situadas en la Sierra de Crevillente bombean aguas cloruradas sódicas, mientras que aquellas otras ubicadas en la Sierra de Algayat-Rollo adquieren facies mixtas, del tipo clorurado-bicarbonatado cálcico-sódico.

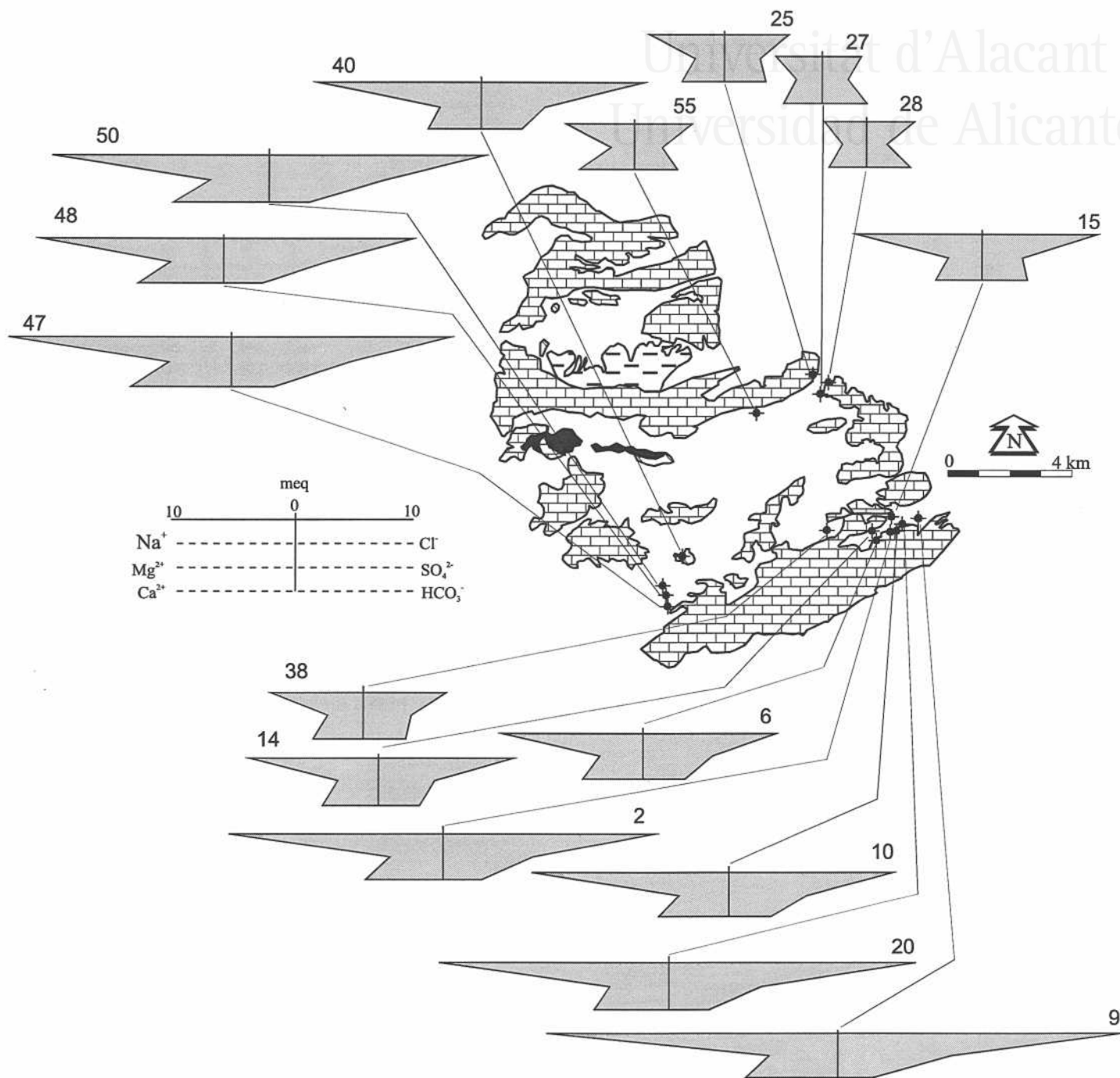


Figura 57. Diagramas de Stiff modificado de las aguas del Acuífero de Crevillente para el muestreo realizado en marzo de 1994

## 5.5. VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES

### 5.5.1. Parámetros no específicos

#### **Conductividad**

Las conductividades encontradas durante el último muestreo efectuado en marzo de 1994 están comprendidas entre 800 y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este intervalo no puede considerarse cerrado, ya que hay que tener en cuenta que existen sondeos abandonados a causa de sus elevadas salinidades, cuyas conductividades son mayores (anejo II).

La distribución espacial de este parámetro permite realizar una clara diferenciación entre el sector Rollo-Algayat y el resto del acuífero. Las mayores conductividades se alcanzan en algunos puntos del Barranco del Tolomó, donde existen sondeos que no se utilizan a causa de su elevada salinidad. No obstante, en esta misma área hay otras captaciones que no sobrepasan los 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En el sector occidental se bombea agua entre 2000 y 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Las conductividades mínimas, con valores inferiores a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se registran en las aguas de algunos de los puntos acuíferos del sector Rollo-Algayat.

La figura 58 recoge la evolución de los tres sectores de explotación. En el sector del Tolomó se observa cómo algunos de los sondeos presentan variaciones de conductividad que podrían estar ligadas a oscilaciones piezométricas. En general, los puntos acuíferos con conductividades altas muestran una respuesta a tales variaciones, mientras que por el contrario, los que tienen mineralizaciones más bajas no parecen influenciarse.

El comportamiento de la conductividad en el sector oriental viene marcado por una leve tendencia al aumento. Al igual que ocurre con la curva de evolución piezométrica de este sector, la conductividad no presenta oscilaciones estacionales. El sector septentrional, también se caracteriza por ofrecer un comportamiento relativamente homogéneo, reflejando cierta estabilidad a lo largo del año, a pesar de que el nivel piezométrico ha experimentado un descenso durante ese tiempo.

#### **Temperatura**

Las temperaturas de las aguas se encuentran comprendidas entre 22°C y 26°C. Las más bajas se observan en los puntos emplazados en Rollo-Algayat, mientras que las de la Sierra de Crevillente son más altas. Los incrementos de temperatura en acuíferos kársticos pueden estar relacionados con el aumento de la distancia al área de recarga. Estas diferencias de temperatura entre la parte septentrional y meridional del acuífero están en



Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

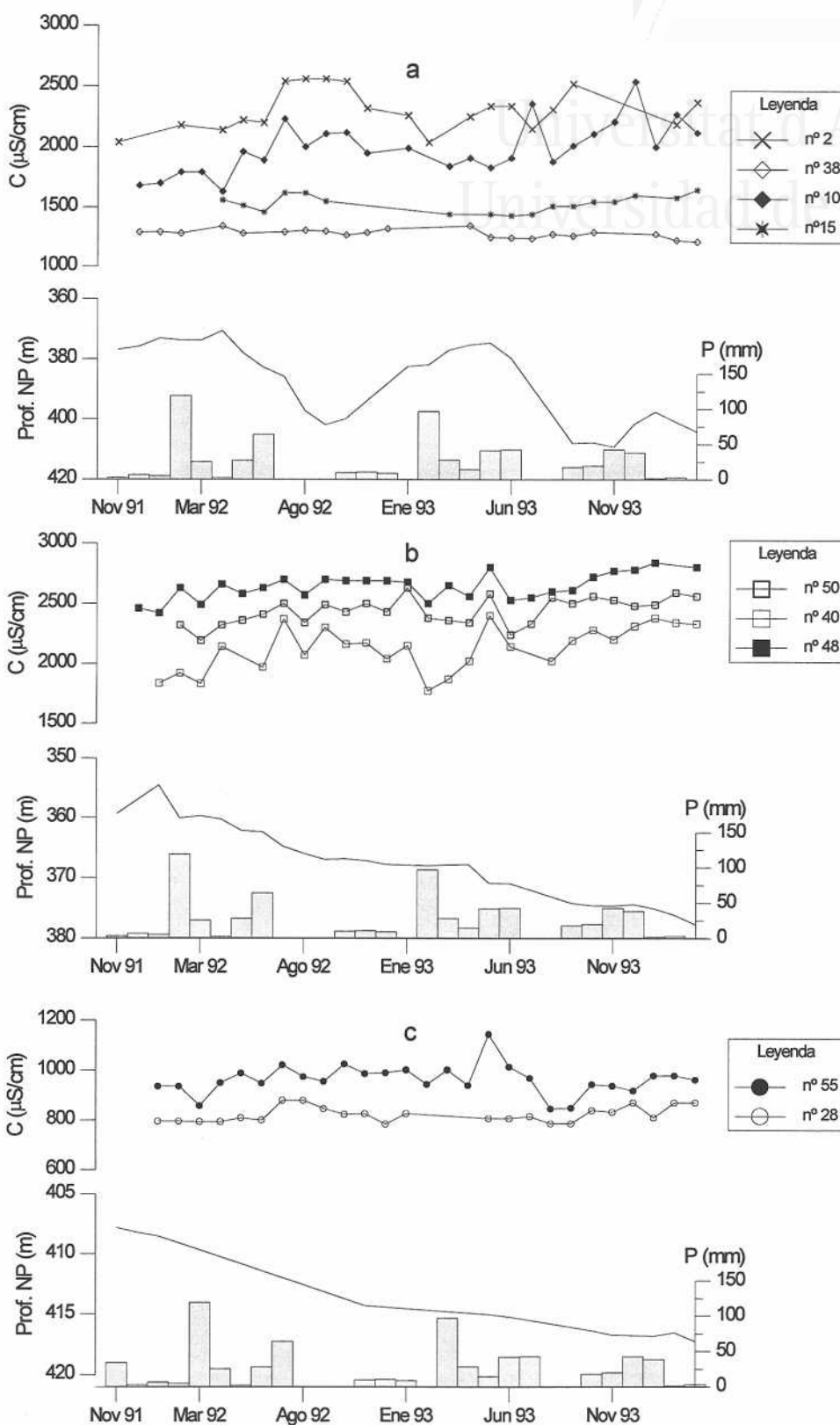


Figura 58. Evolución de la conductividad durante el periodo noviembre de 1991-marzo de 1994; a: sector oriental; b: sector occidental; c: sector septentrional.

concordancia con los gradientes de los flujos encontrados.

La temperatura media del aire en el área en la que se ubica el acuífero aumenta de N a S. Los valores obtenidos a partir del mapa de isotermas medias anuales (figura 17) se sitúan entre 15°C al N de la Sierra del Reclot y 18°C en la falda meridional de la Sierra de Crevillente, por lo que la temperatura media anual queda dentro de ese intervalo.

Analizando las características térmicas de las aguas subterráneas y teniendo en cuenta que se extraen de profundidades superiores a 300 m, estos valores, que inicialmente podrían parecer altos, son inferiores a la temperatura media anual con un incremento de 4°C y el aumento de la temperatura correspondiente al gradiente geotérmico. En definitiva, se las puede calificar como ortotermales (Schoeller, 1962).

Sin embargo, existen reseñas sobre la existencia de cierto termalismo en la Sierra de Crevillente, concretamente en las aguas procedentes de la Font Antiga (nº87). Así, Cavanilles (1795-97), al relatar su visita a la mina, comenta "*...seguí andando contra su corriente como 200 pasos, y experimente un calor bastante fuerte producido por el agua:...: tomé el de la derecha por donde venía el agua caliente, y continué hasta el manantial que está en la hendedura de las peñas: su gusto es grato y su calor moderado;*"; también Jiménez de Cisneros (1910) comenta que la temperatura del agua era bastante elevada, aunque no aporta ningún valor sobre la misma. En este mismo sentido, se tiene conocimiento que el sondeo nº 73, relativamente cercano a la mina anterior, extraía agua caliente. En el presente trabajo no se han podido obtener datos cuantitativos sobre la temperatura de estas aguas, ya que ambos aprovechamientos se encuentran secos como consecuencia de los descensos piezométricos.

Estas evidencias de termalismo están relacionadas con la proximidad del límite meridional del acuífero, el cual coincide con el accidente Cádiz-Alicante (Sanz de Galdeano, 1983). Este accidente de magnitud regional debe presentar un enraizamiento que alcanza el zócalo, ya que en los materiales triásicos asociados a la fractura aparecen rocas volcánicas extrusivas. Algunos de estos enclaves volcánicos afloran al SE de Hondón de los Frailes. Ello significa que esta fractura puede actuar como vía preferente de posibles ascensos de flujos de elevadas profundidades, los cuales pueden ser los responsables de este termalismo. Fracturas de similares características originan alineaciones de puntos termales (Rodríguez-Estrella, 1977, Benavente y Sanz de Galdeano, 1989; Cerón, 1995).

En cuanto a la distribución temporal de las temperaturas, en la figura 59 se representan algunos de los puntos muestreados en cada uno de los sectores. Durante el año 1992 se aprecia una fuerte estabilidad de este parámetro, más acusada en los sectores de Rollo-Algayat y Galería, mientras que a partir de 1993 se detecta un comportamiento estacional, el cual es bastante patente en el sector oriental. La estabilidad de la temperatura

se debe a que el agua se encuentra a profundidades muy distantes de la zona de heterotermia. El hecho de que a partir de 1993 ascienda ligeramente la temperatura puede tener una correlación con la considerable bajada de los niveles piezométricos, sobre todo en el sector oriental del acuífero, de modo que las aguas extraídas son de profundidades mayores.

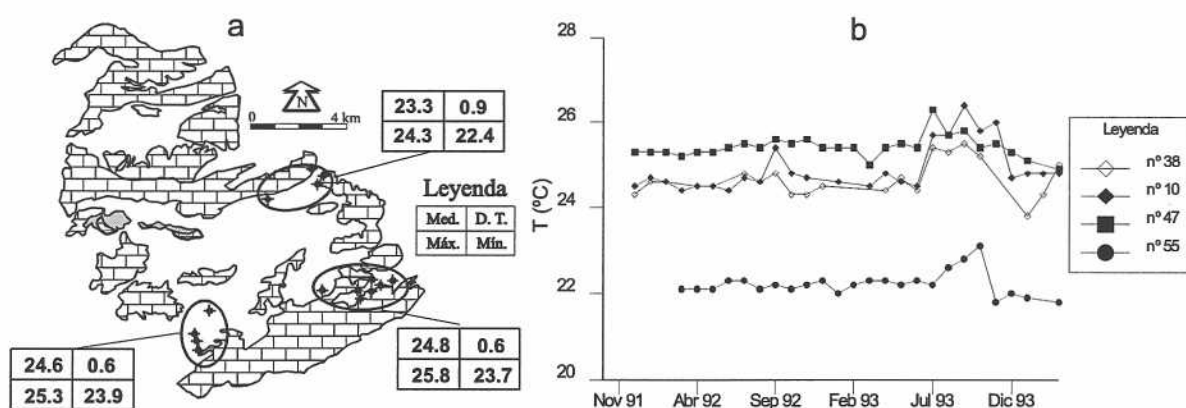


Figura 59. Distribución de la temperatura en el muestreo de marzo de 1994 (a). Comportamiento en algunos puntos durante el periodo de muestreo.

### Gradiente geotérmico

En octubre de 1990 se realizó una campaña de testificación geofísica en colaboración con del *Departamento de Ingeniería Geológica de la Universidad Politécnica de Madrid*. En ella, además de otros registros, se determinaron las variaciones de la temperatura del agua en profundidad. Para ello se seleccionaron cuatro sondeos, cuyos registros térmicos (figura 60) se comentan a continuación:

**Sondeo n° 1.** La testificación se inició con una temperatura del agua superficial de 23.4°C, finalizando, después de 116 m, en 22.7°C. A lo largo de ella no aparecen oscilaciones importantes, aunque se puede constatar la presencia de un tramo intermedio de temperatura ligeramente inferior a la encontrada en la parte superficial y profunda.

**Sondeo n° 38.** Existe un tramo inicial desde la superficie piezométrica, situada a 364 m, hasta 442 m, cuya temperatura permanece constante en 23.6°C. A continuación, adquiere un gradiente negativo y desciende a 22.8°C en apenas 6 m, permaneciendo así hasta el metro 496; en los siguientes 4 m experimenta una recuperación de 0.2°C. El incremento de temperatura, con un gradiente de +0.4°C/100 m descendidos, se mantiene hasta el final de la testificación, finalizando en 23.6°C.

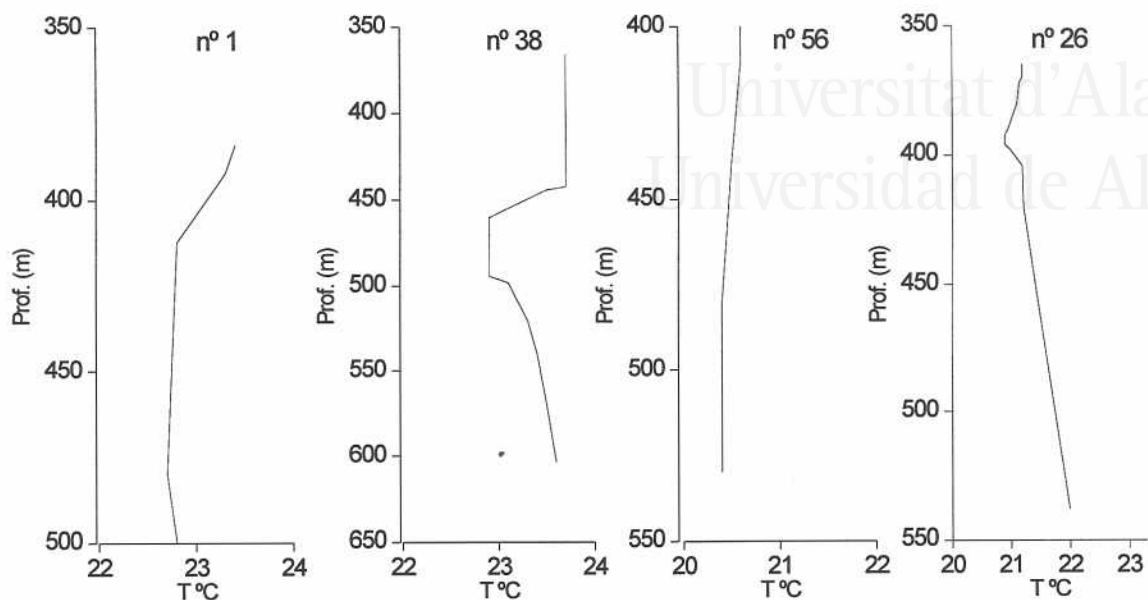


Figura 60. Variaciones de la temperatura con la profundidad.

**Sondeo n° 56.** Registra un comportamiento inicial que muestra un tenue descenso de temperatura a medida que se profundiza, pasando de 20.6°C en las cercanías del nivel piezométrico a 20.3°C a 482 m. Entonces queda estabilizada hasta el final del sondeo.

**Sondeo n° 26.** La franja más superficial presenta 21.2°C. A partir del m 371 toma una tendencia negativa situándose en 20.5°C a los 397 m. A continuación se invierte la tendencia adquiriendo un gradiente positivo de 0.5°C/100 m, el cual se mantiene hasta el final de la testificación.

Los resultados obtenidos a partir de estas diagráffas ofrecen pocas variaciones de temperatura, lo que significa que en general no existen grandes cambios de temperatura en la zona saturada testificada. Tan sólo la diagráffá del n° 26 muestra de forma clara un gradiente positivo con la profundidad, siendo éste mucho menor que el gradiente geotérmico terrestre medio (3°C/100m). Esto supone que, o bien existe una débil difusión térmica entre la roca y el agua o, lo que es más probable, este parámetro presenta homogeneización térmica debido a los flujos hidráulicos existentes en el acuífero, de forma que aguas de diferentes procedencias y distancias producen una ruptura del posible gradiente geotérmico natural.

### **pH**

Los valores de pH medidos han oscilado entre 7.1 y 7.9 con valores medios en torno a 7.5. A pesar de que las variaciones entre distintos sectores son muy pequeñas, la parte

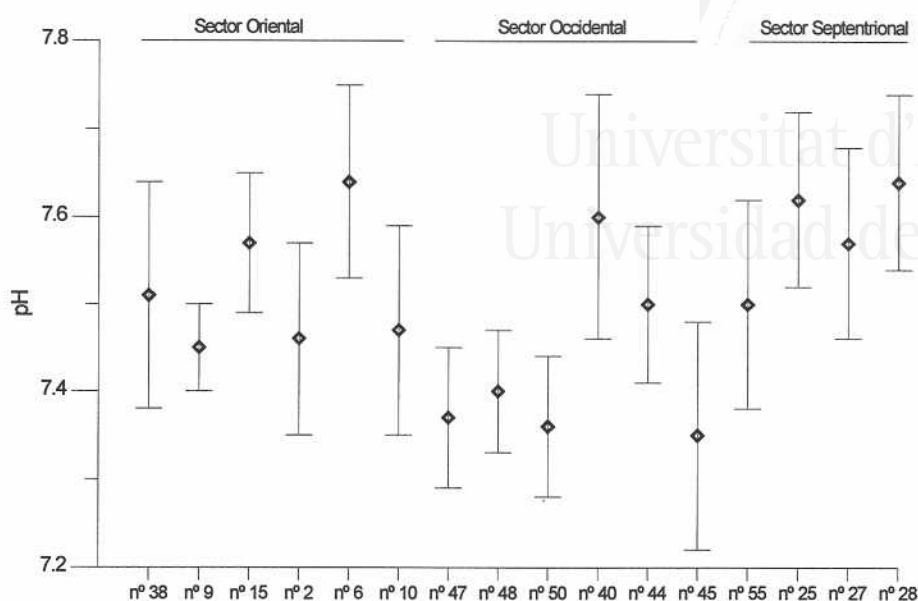


Figura 61. Distribución de los valores de pH en los puntos muestreados durante el periodo noviembre 1991-marzo 1994.

de Rollo-Algayat presenta valores medios superiores, mientras que los más bajos se han determinado en el sector occidental, concretamente en los sondeos emplazados en el interior de la Galería.

La figura 61 muestra el intervalo del pH en algunos de los sondeos más característicos del acuífero. En general, se observa un comportamiento relativamente estable en los tres sectores de explotación.

### 5.5.2. Constituyentes mayoritarios

#### **Cloruros**

El ión cloruro presenta concentraciones comprendidas entre 100 y 900 mg/l, -siempre teniendo en cuenta que estos valores están referidos a los sondeos que continúan funcionando en la actualidad-. Valores por encima de los 1000 mg/l fueron determinados en algunos puntos del Barranco del Tolomó, los cuales tuvieron que ser abandonados a causa de la excesiva salinidad de sus aguas (anejo II).

El sector occidental presenta unas concentraciones por encima de 400 mg/l, y algunos puntos del interior de la Galería llegan a rebasar 650 mg/l. En la parte oriental del acuífero su variabilidad es bastante acusada, pudiendo encontrar valores desde 250 a 900 mg/l. En este sector, se observa un incremento de cloruros hacia el E. Así, el sondeo nº 38 tiene concentraciones en torno a los 250 mg/l, mientras que los más orientales del Barranco del Tolomó superan los 500 mg/l (nº 2, 10, 20 y 9). Los contenidos menores de todo el

acuífero se han determinado en la parte septentrional, ya que no se sobrepasan los 250 mg/l. Las captaciones nº 27 y 28, con cantidades próximas a 120 mg/l, son las que aportan las aguas menos cloruradas.

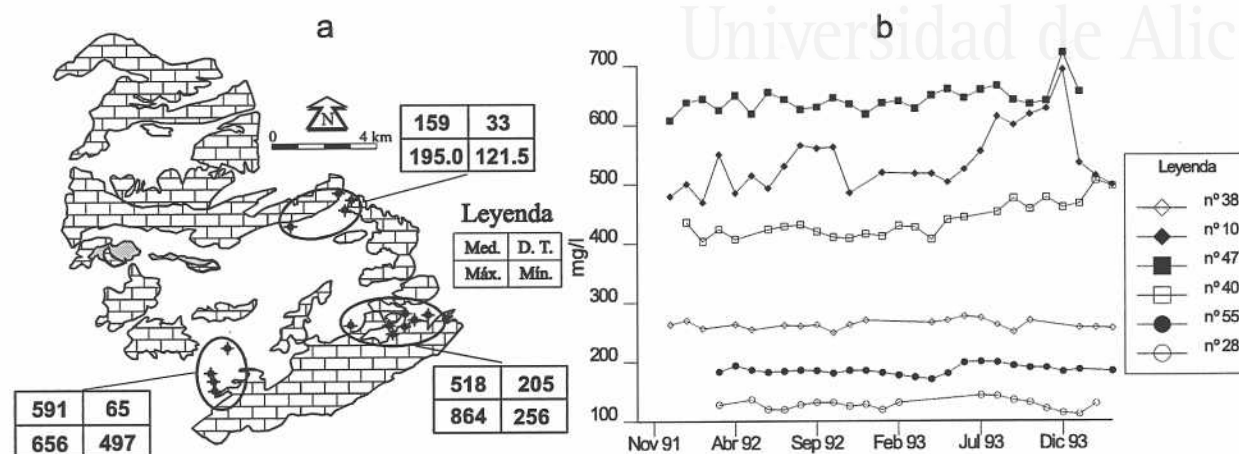


Figura 62. Distribución del contenido en cloruros en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

La distribución temporal que ha registrado este ión se recoge en la figura 62. Los sondeos de Rollo-Algayat presentan como característica principal un comportamiento estable. En el sector occidental el nº 40 muestra un aumento que no se ha identificado en la galería. Finalmente, en el sector oriental se observan distintos comportamientos; por un lado, los puntos cuyas aguas contienen concentraciones bajas en cloruros no suelen tener variaciones estacionales y han mantenido cierta estabilidad, mientras que las que presentan concentraciones altas tienden a incrementar sus cantidades. Además, en estos últimos se observa un claro comportamiento estacional.

### Sulfatos

Las concentraciones de sulfato oscilan entre 80 y 550 mg/l. Al igual que ocurre con los cloruros, los sulfatos muestran una variabilidad espacial alta. Sin embargo, a diferencia del cloruro las mayores cantidades de sulfatos se han determinado en el sector occidental, concretamente en los sondeos de la Galería, los cuales llegan a alcanzar 500 mg/l. En cuanto a los mínimos contenidos, los nº 27 y nº 28 del sector septentrional son los que menores contenidos registran. Dentro del sector oriental, los situados en el propio Barranco del Tolomó presentan concentraciones más elevadas que los ubicados al SE de Hondón de las Nieves.

La distribución temporal de los sulfatos en cada uno de los sectores puede observarse en la figura 63. En el sector Rollo-Algayat parece existir una ligerísima



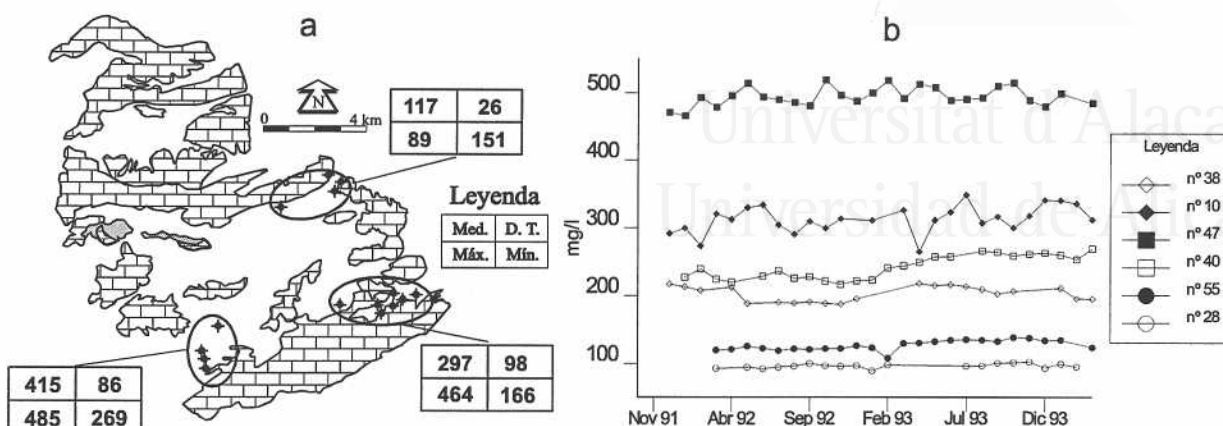


Figura 63. Distribución del contenido en sulfatos en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

tendencia ascendente, si bien en las últimas determinaciones sus concentraciones han disminuido. En la parte occidental se aprecia un ascenso en el n° 40, mientras en el interior de la Galería permanece relativamente constante e incluso, en algún caso, disminuyendo ligeramente en los últimos meses. En el sector oriental el sulfato tiene un comportamiento similar al del cloruro, ya que los sondeos con baja salinidad apenas varían sus concentraciones, mientras que los de salinidad alta muestran más oscilaciones.

**Bicarbonatos**

Los contenidos medios de bicarbonatos oscilan entre 190 y 250 mg/l. En general, las mayores concentraciones se dan en las captaciones de la parte septentrional. Sin embargo, su distribución espacial es bastante compleja, dado que cada punto presenta

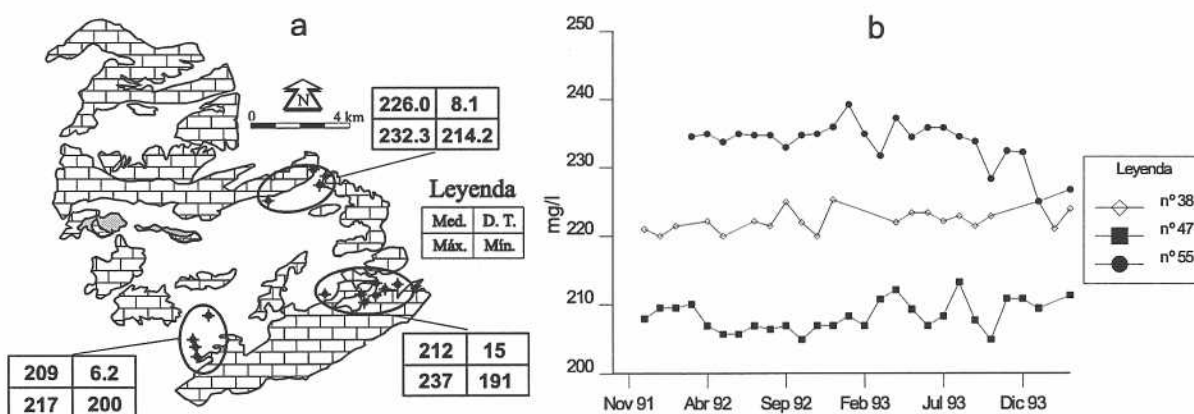


Figura 64. Distribución del contenido en bicarbonatos en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

contenidos que a veces difieren bastante de los puntos próximos. Un ejemplo de ello se observa en el sector del Barranco del Tolomó, donde está el sondeo nº 9 con contenidos en torno a 190 mg/l, y el nº 15 con valores que superan 240 mg/l. En líneas generales, se pone de manifiesto que los aguas más salinas suelen presentar las menores concentraciones de bicarbonato disuelto.

En ninguno de los tres sectores definidos se aprecian variaciones estacionales o de mayor orden (figura 64); este anión se ha caracterizado por mantener sus concentraciones de forma más o menos constante a lo largo de todo el periodo de seguimiento.

### Nitratos

Las concentraciones de nitrato oscilan entre 3 y 35 mg/l. Hay que destacar que la mayoría de los puntos muestreados presentan valores inferiores a 15 mg/l, cantidades por debajo de 25 mg/l (orientador de calidad referente a este ion en la legislación europea y española). A diferencia de lo que ocurre con otros aniones, los nitratos se distribuyen de forma más o menos homogénea en todo el acuífero, no observándose diferencias espaciales.

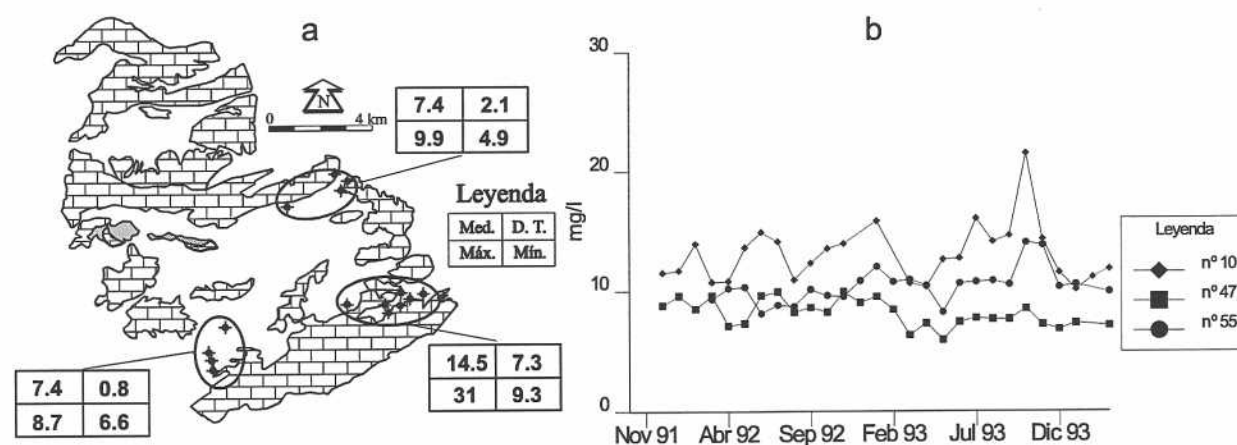


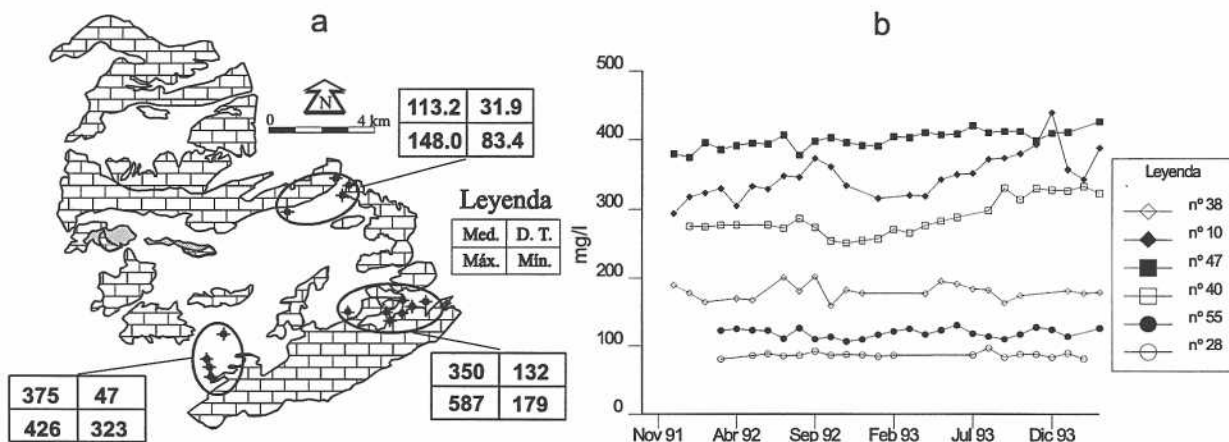
Figura 65. Distribución del contenido en nitratos en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

Ofrecen una distribución temporal sin ningún tipo de oscilaciones estacionales ni tendencias al aumento o la disminución, es decir, están estabilizados (figura 65). Esta estabilidad tan sólo se ha visto interrumpida por algunos episodios muy puntuales que producen algunos aumentos de difícil explicación, aunque frecuentemente no llegan rebasar el límite de 25 mg/l.

## Sodio

Las concentraciones de sodio disuelto en el agua de las captaciones utilizadas para la caracterización hidroquímica de este acuífero han proporcionado valores situados entre 80 y 600 mg/l. Nuevamente, hay que tener en cuenta que estas cantidades tan sólo reflejan el estado de los sondeos que funcionaban hasta marzo de 1994 ya que, de la misma forma que ocurre con los cloruros, los sondeos abandonados a causa de la salinidad sobrepasaban el umbral de 600 mg/l (anejo II).

Los menores contenidos de este ión se encuentran en el sector septentrional, más concretamente en los ubicados en las estribaciones de la Sierra de la Ofra (nº 27 y 28) con concentraciones inferiores a 90 mg/l. Algo más elevados son en otros puntos situados en la propia Sierra del Rollo y Algayat, aunque siempre por debajo de 200 mg/l. Las aguas más enriquecidas en sodio son las procedentes de la Galería y de las captaciones más orientales del Barranco del Tolomó. En las primeras, los contenidos oscilan entre 350 y 450 mg/l, mientras que en las segundas se sitúan muy próximos a 600 mg/l. El sondeo nº 54, situado lejos de los clásicos lugares de bombeo, presentó valores cercanos a 300 mg/l en un análisis efectuado en abril de 1993 con motivo de su aforo.



**Figura 66.** Distribución del contenido en sodio en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

La figura 66 recoge la variabilidad temporal durante el periodo de seguimiento. En el sector Rollo-Algayat se observa una evolución de relativa estabilidad respecto a este ión. En el sector occidental existen dos comportamientos diferenciados; por un lado el nº 40 que experimenta un aumento del contenido en sodio a partir de 1993, y por otro los sondeos del interior de la Galería que no presentan evoluciones tan marcadas. Respecto al sector oriental, los puntos con bajas mineralizaciones no presentan alteración en su concentración, mientras que los más salinos tienden a empeorar su calidad al presentar más sodio disuelto; éste es el caso de los números 2, 9 y 10 (anejo II).

## Calcio

Entre 60 y 180 mg/l de calcio han sido determinados en los sondeos pertenecientes a la red de muestreo de este acuífero. Los sondeos del interior de la Galería, así como algunos de los sondeos ubicados en el Barranco del Tolomó son los que mayores concentraciones presentan. Sin embargo, no existe un sector en concreto donde se sitúen los mínimos de este catión, sino que en todas las áreas de explotación hay alguna captación cuyas concentraciones están próximas a 60 mg/l. Por consiguiente, este ión es poco discriminante cuando se realiza una distribución espacial.

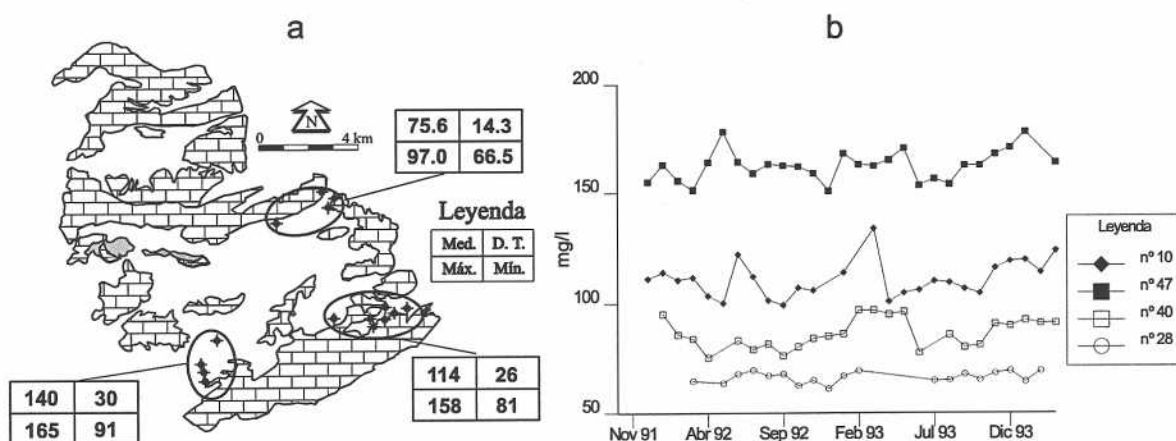


Figura 67. Distribución del contenido en calcio en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

En cuanto a la evolución del contenido de calcio en el acuífero (figura 67), se puede decir que en la mayoría de las captaciones aparece bastante estabilizado. No obstante, los puntos acuíferos números 9 y 10 han experimentado ascensos.

## Magnesio

Las concentraciones de magnesio están comprendidas entre 20 y 80 mg/l. Los valores más bajos, siempre inferiores a 35 mg/l, se han determinado en el sector Rollo-Algayat. Por el contrario, los valores más elevados se encuentran en las aguas extraídas en la Galería, así como en la procedente de algunos de los sondeos más mineralizados del área oriental. Una característica de las aguas de los acuíferos kársticos es que suelen aumentar el contenido de magnesio en función del tiempo de contacto y, por tanto, con el aumento de la distancia recorrida. El hecho de que existan fuertes diferencias entre la parte septentrional y meridional del acuífero induce a pensar que parte de este incremento pueda tener ese origen.

La figura 68 recoge las evoluciones de este catión en los tres sectores de

extracción. Todos los sectores se caracterizan por la estabilidad que presenta el magnesio. Esta estabilidad se muestra especialmente acusada en aquellos sondeos que presentan aguas con menores contenidos salinos. No obstante, hay puntos como el nº 10 que han experimentado un ligero incremento en este catión.

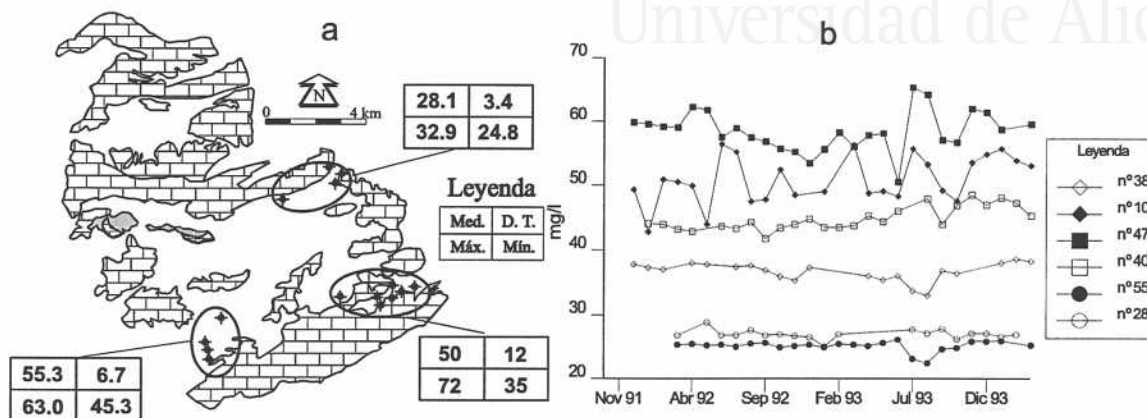


Figura 68. Distribución del contenido en magnesio en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

### Potasio

Las aguas de este acuífero presentan contenidos de potasio comprendidos entre 1.5 y 8 mg/l. Las mínimas concentraciones de potasio se encuentran relacionadas con las aguas menos mineralizadas, por lo que serán las del sector del Rollo-Algayat las que presentan menores contenidos. En cuanto a los valores máximos, éstos se han alcanzado en las aguas más salinas del Barranco del Tolomó.

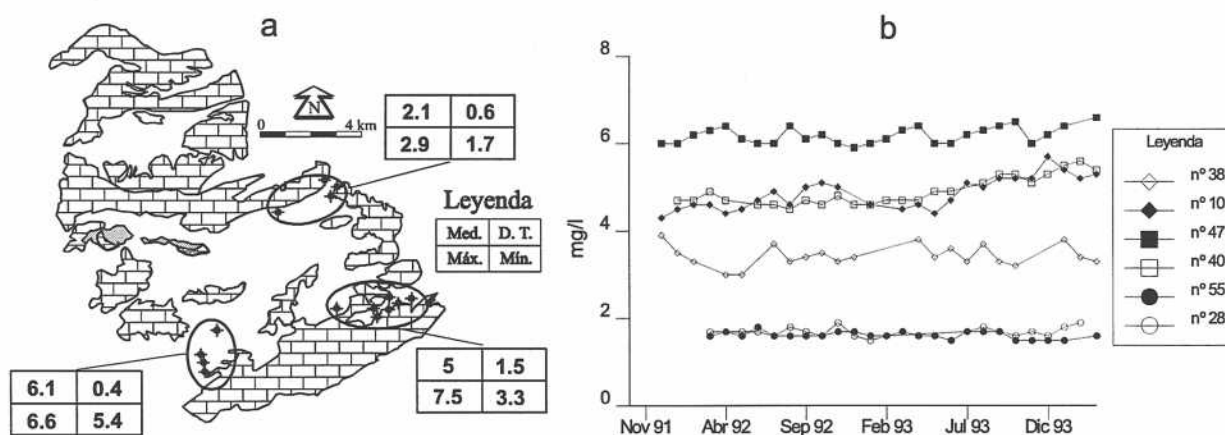


Figura 69. Distribución del contenido en potasio en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

La evolución que ha mantenido el potasio (figura 69) se caracteriza por una total estabilidad en el sector Rollo-Algayat. En la Galería se muestra una tendencia semejante. Por el contrario, el nº 40, sí ha experimentado un ascenso claro a partir de 1993. Finalmente, en la parte oriental del acuífero, una vez más las aguas de mineralización más baja no han modificado sus concentraciones, mientras que se aprecian ligeros aumentos cuando se trata de captaciones que bombean agua de mayor salinidad, éste es el caso del punto nº 10.

### 5.5.3. Constituyentes minoritarios y trazas

#### Estroncio

Las concentraciones de estroncio oscilan entre 0.1 y 5 mg/l. También las mayores cantidades de estroncio están relacionadas con las aguas más mineralizadas, por lo que se encuentran valores superiores a 4 mg/l en ambos sectores de la Sierra de Crevillente. Por el contrario, las mínimas concentraciones han sido determinadas en el sector de Rollo-Algayat, donde ninguno de los sondeos existentes extrae aguas con concentraciones superiores a 2 mg/l.

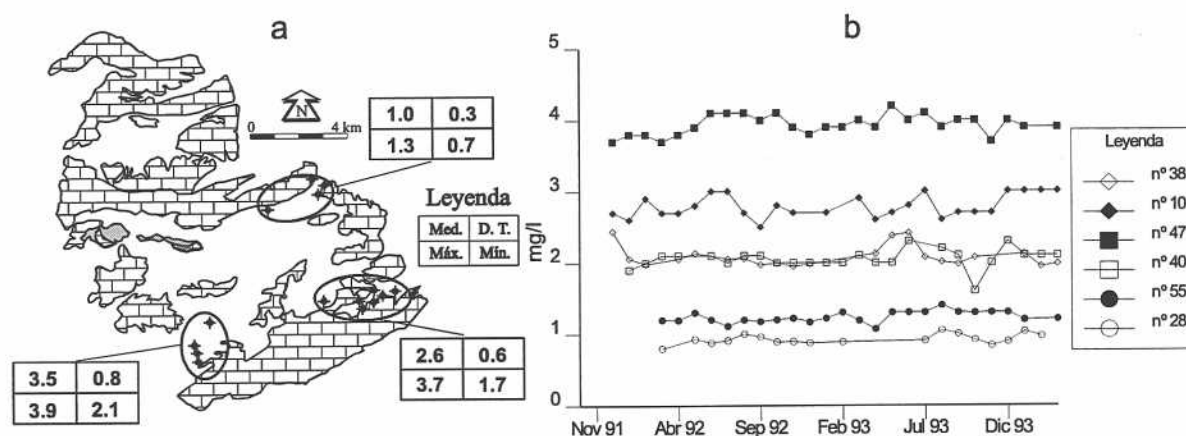


Figura 70. Distribución del contenido en estroncio en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

La figura 70 recoge el comportamiento del estroncio durante el periodo de muestreo. A pesar del aumento de la mineralización en algunas captaciones, la concentración de este ión no ha experimentado variaciones en ninguna de las partes del acuífero.

#### Sílice

Las aguas presentan concentraciones de sílice comprendidas entre 7 y 20 mg/l. Las mayores cantidades se alcanzan en la Sierra de Crevillente, mientras que los mínimos se



registran en la Sierra de Algayat-Rollo.

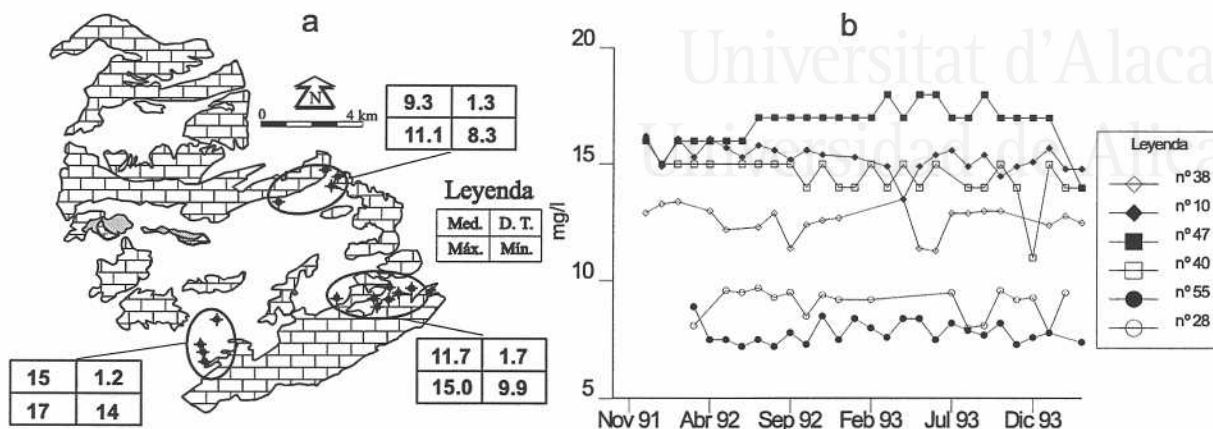


Figura 71. Distribución del contenido en sílice en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

En general, durante el periodo de seguimiento, las concentraciones de sílice apenas han variado, por lo que este parámetro también se ha comportado de forma más o menos constante en todos los sectores de explotación. (figura 71).

### Bario

Los contenidos de bario también son bastante uniformes en todo el acuífero, determinándose en la mayoría de los casos cantidades inferiores a 10  $\mu\text{g/l}$ . No obstante, en algunos sondeos como el n° 9 presentan contenidos que superan los 40  $\mu\text{g/l}$ .

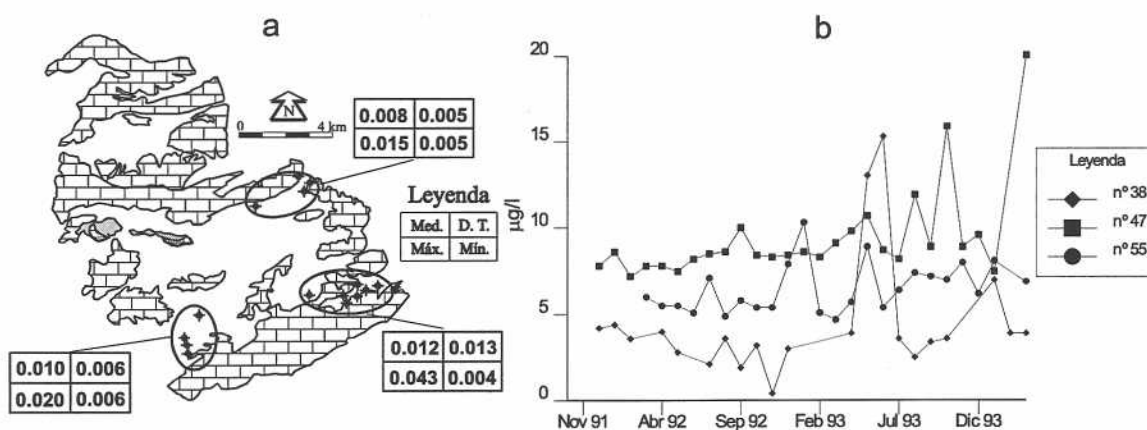


Figura 72. Distribución del contenido en bario en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

La figura 72 muestra cómo las concentraciones de bario permanecen más o menos

estabilizadas, aunque en alguno de los puntos acuíferos han mostrado oscilaciones importantes de difícil explicación.

Las bajas concentraciones de bario de estas aguas pueden ser debidas a que en general las rocas carbonáticas contienen poco bario, debido a que estos iones tienen un radio iónico grande y no pueden entrar en las redes de los carbonatos alcalinos ligeros (Hem, 1970), aunque sí es capaz de formar otro tipo de carbonatos (witherita). Habitualmente las concentraciones de bario en el agua están condicionadas por la baja solubilidad de la baritina, por lo que las concentraciones normales para aguas de acuíferos carbonáticos son bastante pequeñas.

### **Litio**

Dado que este elemento no ha sido objeto de un seguimiento durante todo el periodo, tan sólo comento los resultados de las determinaciones de litio efectuadas en algunos de los sondeos en marzo de 1994.

Las mayores concentraciones se han medido en el sector occidental. La analítica efectuada en las aguas de los puntos nº 46, 47 y 50 proporcionó 28, 30 y 30  $\mu\text{g/l}$  respectivamente. Similares contenidos parece que presenta el sector oriental, puesto que en el nº 6 -único sondeo muestrado en este sector- se alcanzaron 24  $\mu\text{g/l}$ . Finalmente, los mínimos valores han sido hallados en las captaciones ubicadas en el sector de Rollo-Algayat, ya que los nº 25 y nº 55 presentaron 14 y 7  $\mu\text{g/l}$ .

En función de estos resultados, se observa que las mayores concentraciones de litio se asocian con las aguas de mayor salinidad; no obstante habría que analizar un mayor número de puntos para confirmar esta observación. Los valores encontrados se encuentran dentro del intervalo de 1  $\mu\text{g/l}$  y 0.5 mg/l, contenidos habituales para las aguas dulces naturales. Ello se debe en primer lugar a que generalmente el litio es un elemento raro en la naturaleza, y en segundo término a la baja solubilidad de sus sales. No obstante, una vez puesto en solución es capaz de permanecer en el agua durante mucho tiempo.

El hecho de que aparentemente los mayores contenidos se encuentren en las aguas más mineralizadas apunta a una posible relación con rocas triásicas, ya que se ha comprobado su relación con evaporitas y salmueras (Sonnenfeld, 1984), así como con la mayor madurez de las aguas (Tulipano y Fidelibus, 1984; Giménez y Morell, 1997).

### **Boro**

Los valores encontrados están comprendidos entre 0.08 y 0.30 mg/l. Se observa cierta sectorización del contenido en boro, encontrándose las mínimas cantidades en la

Sierra de Algayat-Rollo y las máximas en la Galería de los Suizos; las aguas del Barranco del Tolomó registran valores intermedios.

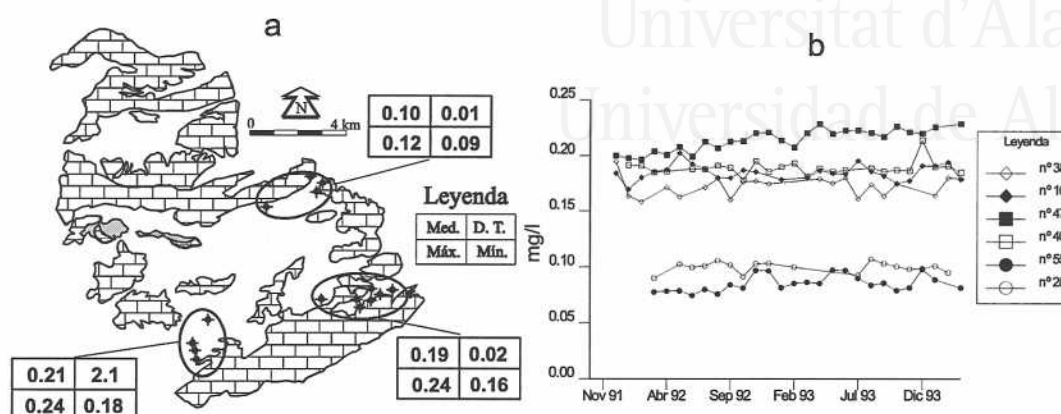


Figura 73. Distribución del contenido en boro en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

En general, las concentraciones de este elemento han permanecido bastante estables a lo largo del tiempo (figura 73), aunque en algunos puntos de la Galería, como el n° 47, ha existido un ligero enriquecimiento.

El boro suele aparecer siempre como constituyente minoritario en la mayoría de las aguas naturales y en particular en las aguas subterráneas; una excepción la constituye el agua de los océanos donde se alcanzan 4.6 mg/l (White, 1957; Custodio y Llamas, 1983; Lloyd y Heathcote, 1985). Estas elevadas concentraciones sirven de fuente para enriquecer los sedimentos marinos, especialmente los de naturaleza arcillosa y los sedimentos evaporíticos. Se sabe que las evaporitas depositadas en ambientes marinos ricos en boro, suelen contener minerales como la colemanita, kernita o bórax que pueden proporcionar contenidos de boro en solución.

En este acuífero se observa cierto paralelismo entre el aumento de salinidad y los mayores contenidos de boro, lo que apunta a que la procedencia de éste podría estar relacionada con los materiales salinos triásicos. No obstante, hay que destacar que las rocas carbonáticas presentan cantidades medias de 20 mg/kg (Drever, 1988), si bien, este valor depende de su concentración en la fracción arcillosa. Además, dentro de las rocas carbonáticas las dolomías contienen más boro que las calizas (Weber, *In* Harder, 1974) y no hay que olvidar que una buena parte del Acuífero de Crevillente está constituido por dolomías.

### **Amonio, nitritos y DQO.**

Aunque estos parámetros no se han determinado en este trabajo, dado el interés que

presentan como indicadores de contaminación, no he querido dejar de comentar ciertos aspectos sobre sus contenidos, ya que dispongo de información al respecto.

La determinación de amonio en los sondeos nº 6, 10 y 40 en octubre de 1994 puso de manifiesto la ausencia de este compuesto al encontrarse por debajo de los límites de detección (0.05 mg/l). Sin embargo, algunos análisis previos detectaron la presencia de  $\text{NH}_4^+$ . Las concentraciones disueltas siempre han estado por debajo del límite máximo autorizado para consumo humano (0.5 mg/l), excepto en mayo de 1992 cuando algunas captaciones del Barranco del Tolomó llegaron a sobrepasar este límite situándose en 0.8 mg/l.

Los nitritos han estado por debajo del límite de detección (0.01 mg/l). Tan sólo en dos ocasiones se han situado por encima de la concentración máxima admisible para consumo humano. La más acusada corresponde al sondeo nº 25 donde se determinaron 1.65 mg/l.

En cuanto a la DQO, únicamente se dispone de este parámetro en el sondeo nº 40. Habitualmente su concentración ha sido inferior a 1 mg/l, excepto en octubre de 1992 que alcanzó 1.2 mg/l, de cualquier forma un valor muy por debajo de 5 mg/l que marca la legislación como concentración máxima.

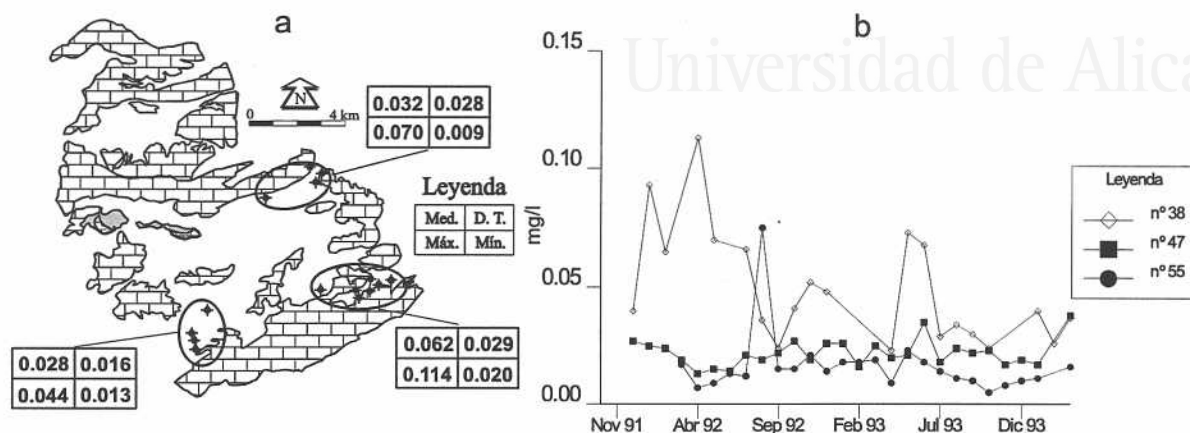
En definitiva se puede establecer que las aguas de este acuífero no presentan contaminación respecto a estos parámetros. Desconozco el origen y la causa por la que puntualmente han existido determinaciones anormalmente altas para estas aguas.

### ***Metales pesados***

Exceptuando el hierro, el resto de los elementos se encuentran por debajo de 20  $\mu\text{g/l}$ , límite de confianza que he establecido para detectar la presencia de dichos componentes. Como se puede ver, y a pesar de la salinidad de ciertas aguas, estos elementos se presentan en pequeñas cantidades típicas de aguas dulces (Drever, 1988). Las investigaciones llevadas a cabo en acuíferos kársticos del Jura (Atteia, 1992), han puesto de manifiesto las escasas concentraciones de metales pesados que de forma natural suelen presentar este tipo de acuíferos kársticos.

En cuanto al hierro, se han encontrado cantidades variables que oscilan entre menos de 20  $\mu\text{g/l}$  y valores que sobrepasan 100 mg/l. Esporádicamente, se han encontrado concentraciones próximas a 1 mg/l. En general, las menores concentraciones se han determinado en la Sierra de Algayat-Rollo, mientras que las más elevadas están en el Barranco del Tolomó.

La figura 74 muestra cómo el hierro presente en disolución ha permanecido en concentraciones similares a lo largo de todo el periodo de seguimiento.



**Figura 74.** Distribución del contenido en hierro en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

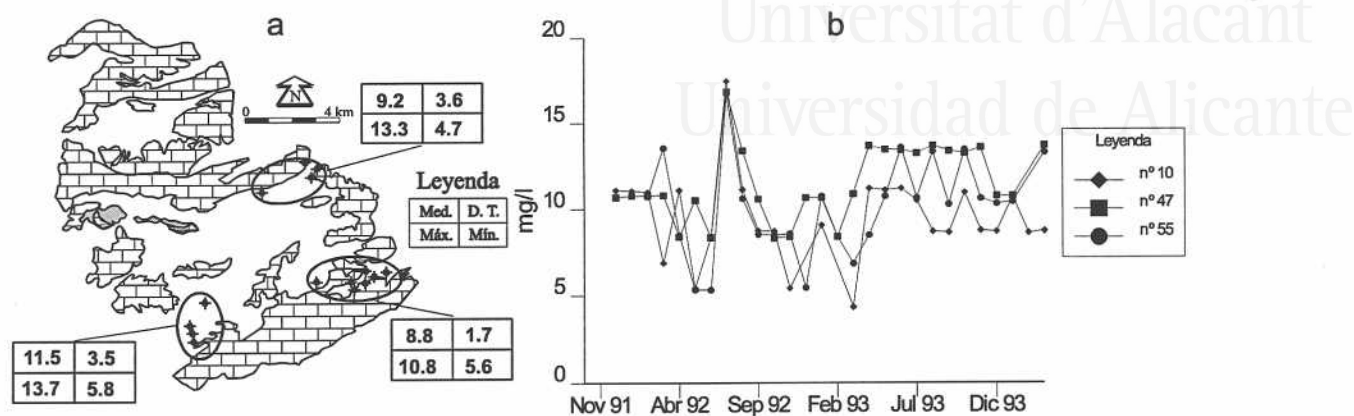
Las cantidades de hierro de este acuífero se pueden catalogar como normales, dado que el hierro es un elemento muy abundante en la naturaleza y se encuentra sensiblemente presente en todos los tipos de rocas, especialmente en las rocas carbonáticas que suelen incluir sulfuros como minerales accesorios. Así, el agua de precipitación rica en oxígeno puede atacarlos e introducir ciertas cantidades de hierro disuelto en la zona saturada. También, la presencia de este ion podría estar ligada a las propias tuberías de extracción.

### ***CO<sub>2</sub> disuelto y presión parcial de CO<sub>2</sub>***

Los valores de CO<sub>2</sub> disuelto y P<sub>CO<sub>2</sub></sub> se han obtenido a partir de los datos analíticos de los iones mayoritarios mediante la utilización del programa *Soluteq*, desarrollado por el *Laboratoire Souterrain de Moulis-Saint Giron*s- en Francia.

El CO<sub>2</sub> disuelto en el agua es similar en todos los sectores de explotación del sistema. Las concentraciones habituales se sitúan entre 5 y 15 mg/l, aunque esporádicamente se presentan valores que superan 20 mg/l. Este parámetro también se ha comportado de forma más o menos estable durante todo el tiempo de seguimiento (figura 75).

En cuanto a la P<sub>CO<sub>2</sub></sub>, expresada en tanto por cien, en general no sobrepasa el 1%. Las mayores presiones se producen en el sector occidental con valores medios de 0.70%, mientras que los otros sectores ofrecen valores semejantes inferiores a 0.60%. (tabla 17).



**Figura 75.** Distribución del contenido en CO<sub>2</sub> en marzo de 1994 (a). Evolución en algunos puntos durante el periodo de muestreo (b).

Sector	nº muestras	media	desv. tip.	máximo	mínimo
Tolomó	155	0.58	0.17	0.30	1.63
Galería	125	0.70	0.21	0.25	1.64
Rollo-Algayat	84	0.54	0.14	0.25	1.05

**Tabla 17.** Estadísticos de la P<sub>CO2</sub> en los sectores de explotación del Acuífero de Crevillente.

Debido a las diversas fuentes que aportan CO<sub>2</sub> a las aguas subterráneas (Schoeller, 1969), para llegar a establecer con cierta exactitud su origen hay que utilizar técnicas isotópicas. Se ha comprobado que P<sub>CO2</sub> elevadas están generalmente relacionadas con aportes endógenos de CO<sub>2</sub> (Boineau y Maisonneuve, 1971; Bakalowicz, 1982, 1986, 1989 y 1990; Bakalowicz *et al.*, 1987). Los valores encontrados en las aguas de este acuífero no parecen ser demasiado altos; tampoco se han detectado otro tipo de gases, muchas veces relacionados con el CO<sub>2</sub> -nitrógeno, metano, argón, sulfídrico, helio, hidrocarburos gaseosos y radón- (Baubron *et al.*, 1976; Barnes *et al.*, 1978; Batard *et al.*, 1982; Grillot *et al.*, 1983; Grillot y Blavoux, 1986; Pomerol y Ricour, 1992; Cerón, 1995), por lo que en principio se podría invocar un origen exógeno. Entre las posibles fuentes de carácter exógeno descritas por Yerriah (1986), la incorporación de CO<sub>2</sub> procedente del agua de infiltración y la disociación de bicarbonatos podrían ser las dos causas principales que aportan este CO<sub>2</sub> al agua. Finalmente, el hecho de que las aguas del sector occidental presenten una ligera anomalía respecto al resto del acuífero podría estar relacionado con la existencia de algún otro proceso de aporte de CO<sub>2</sub>.



## 5.6. RELACIONES IÓNICAS DE INTERÉS

### - $rMg^{2+}/rCa^{2+}$

Las relaciones de  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  están por debajo de 1, sobrepasando habitualmente el umbral de 0.6. Estos valores son típicos de aguas dulces procedentes de acuíferos kársticos.

En cuanto a la distribución espacial, los valores más frecuentes en el sector oriental oscilan entre 0.7 y 0.8, aunque se han obtenido relaciones que varían entre 0.62 a 0.93. Por su parte, en el sector occidental existe cierta diferencia entre los sondeos de la Galería con relaciones medias entre 0.5 y 0.7, y el punto nº 40 que sobrepasa 0.8. Los sondeos ubicados en la Sierra de Rollo y Ofra también muestran relaciones semejantes a los anteriores sectores, aunque el nº 55 presenta la relación más baja de todo el acuífero, con valores medios de 0.45, lo que podría interpretarse como que esta captación bombea aguas con menor tiempo de contacto con el acuífero.

En los acuíferos kársticos existen procesos de enriquecimiento de magnesio desde las zonas de recarga a las de descarga (Hanshaw y Back, 1979). El hecho de que no se ponga de manifiesto un claro incremento de magnesio, y por consiguiente una tendencia al aumento de  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  hacia partes más meridionales del acuífero puede deberse a la existencia de fenómenos de disolución de sales ricas en calcio que aumenten el contenido relativo de este ion respecto al magnesio.

### - $rCl/rHCO_3^-$ y $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$

Los valores de  $rCl/rHCO_3^-$  normales para aguas continentales se encuentran entre 0.1 y 5. Gran parte de las aguas de este acuífero se encuentran dentro de dicho intervalo, aunque las que presentan salinidades más elevadas alcanzan valores más altos, pudiendo llegar hasta 8. Este efecto se aprecia claramente en la parte oriental del acuífero. Además, en algunos puntos se observa un incremento de la relación conforme aumenta la salinidad del agua con el tiempo (anejo II). Ello pone de manifiesto un proceso de concentración de sales cloruradas relacionado con la disolución de halita.

La relación  $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$  se sitúa entre 0.5 y 3; presenta similar comportamiento a la anterior, lo que se interpreta como que, paralelamente a la disolución de halita, existe disolución de sulfatos. Ello explica una entrada de calcio en el agua que produce la alteración de la relación  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$ .

-  $rCl/rSO_4^{2-}$

En la parte oriental, los valores más elevados se han obtenido en el Barranco del Tolomó, poniendo de manifiesto un predominio de la disolución de sales cloruradas (halita) respecto a las sulfatadas (yeso).

En el sector occidental también se observa una diferenciación entre las captaciones ubicadas en el interior de la Galería y el nº 40. A pesar de que la distancia entre ambas no es muy grande, las primeras no suelen superar el valor 2, mientras que el nº 40 lo hace claramente. Esto significa una mayor influencia de evaporitas sulfatadas en las inmediaciones de la Galería, mientras que las aguas que recibe el nº 40 están generalmente afectadas por sales más cloruradas.

Las aguas del nº 55 muestran relaciones en torno a 2, lo que indica también la presencia de halita en esta parte del sector Rollo-Algayat.

-  $Kr$

Aunque se trata de un índice de difícil interpretación, habitualmente se ha utilizado para comprobar la posible existencia de procesos de reducción de sulfatos, así como entradas y salidas de  $CO_2$  en acuíferos superficiales, ya que los  $HCO_3^-$  se caracterizan por presentar valores constantes (Custodio y Llamas, 1983). Los cálculos de  $Kr$  ofrecen valores comprendidos entre 2 y 3 para el conjunto de las aguas de este acuífero. Estos resultados indican que no deben existir procesos de reducción de sulfatos. Aunque los valores bajos también pueden ser debidos a procesos de precipitación de carbonato cálcico (Custodio y Llamas, *op. cit.*).

-  $rSr^{2+}/rCa^{2+}$

Para las calizas esta relación es equivalente a 0.001 (Custodio y Llamas, *op. cit.*), si bien no siempre es constante, ya que existen variaciones en función de la energía del medio de sedimentación. Así, las facies más profundas están más enriquecidas que las someras (Auernheimer, 1979 y 1983; Llavador *et al.*, 1983; Renard, 1985). En este sentido, algunos relieves carbonatados de la provincia de Alicante han mostrado valores comprendidos entre 0.0015 y 0.0040 (Pina, 1986).

Los valores de esta relación se encuentran comprendidos entre 0.010 y 0.012, en la Sierra de Crevillente y entre 0.006 y 0.007 en la de Algayat-Rollo, valores en ambos casos superiores a los aportados por la disolución exclusiva de calizas.

Relaciones comprendidas entre 0.0029 y 0.0049 han sido puestas de manifiesto

para caracterizar el Trías pirinaico-provenzal (Meybeck, 1984; Corrignan y Verrieres, 1987) de bastante similitud a las de los depósitos triásicos del Levante español.

El hecho de encontrar valores también más elevados a los aportados por los terrenos triásicos podría estar relacionado con un enriquecimiento de estroncio en el agua provocado por procesos posteriores de disolución-reprecipitación de carbonatos, los cuales han sido estudiados por numerosos autores (Harris y Matthews, 1968; Fidelibus y Tulipano, 1986; Arad, 1988; Vacher *et al.*, 1990; Tulipano y Fidelibus, 1991).

#### - $rCl/rNa^+$ y $rSO_4^{2-}/rCa^{2+}$

Ambas relaciones corroboran el contacto del agua de este acuífero con sales evaporíticas. La primera se caracteriza por encontrarse alrededor de la unidad, lo que pone de manifiesto la presencia en profundidad de sales cloruradas sódicas incluidas en los materiales triásicos. La existencia de cloruro sódico relacionado con las evaporitas triásicas de este área es un hecho bien conocido; así, en el diapiro de Pinoso, situado al W de la Sierra del Reclot, se explotan industrialmente mediante la inyección de agua para enriquecer las cosechas de sal común de las salinas de Torrevieja.

La segunda está comprendida entre valores de 0.6 y 1.3, que también indica la influencia de la disolución de yesos. Las relaciones más altas se encuentran en las aguas de la Galería de los Suizos, mientras que son los sondeos del Rollo los que muestran índices menores.

#### - **Índice de madurez (M.I.)**

Se trata de un índice propuesto por Tulipano y Fidelibus (1991) en función de las concentraciones de calcio, magnesio y estroncio disuelto en el agua. Mediante este índice se puede llegar a obtener información sobre el grado de evolución de las aguas salinas.

La disolución de rocas carbonáticas provoca el enriquecimiento del agua en calcio, magnesio y estroncio. Durante el tiempo de residencia del agua en el acuífero se producen sucesivos procesos de disolución y precipitación que, como resultado final, provocan un aumento de la concentración de estroncio frente al calcio y magnesio (Tulipano y Fidelibus, *op. cit.*). Este hecho ha favorecido que el estroncio pueda utilizarse en estudios hidrogeoquímicos como trazador de procesos y como indicador de tiempos de residencia, es decir, como grado de madurez (Plummer, *et al.*, 1976; Tulipano y Fidelibus, 1984; Fidelibus y Tulipano, 1990; Vacher *et al.*, 1990; Pulido-Bosch *et al.*, 1995 y 1996). No obstante, hay que tener en cuenta que el grado de madurez no equivale a un intervalo preciso del tiempo de residencia, sino sólo a una valoración de la complejidad del estadio evolutivo del agua (Giménez, 1994).

	$rCa^{2+}$	$rMg^{2+}$	$rSr^{2+}$	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$\Delta Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$\Delta Sr^{2+}$	M.I.
nº 28	3.3	2.2	0.9	5.5			
nº 25	3.6	2.6	1.1	6.2	0.7	0.2	0.30
nº 55	4.9	2.0	1.3	6.8	1.3	0.4	0.30
nº 38	4.3	3.1	2.0	7.4	1.9	1.1	0.57
nº 14	4.9	3.4	2.5	8.2	2.7	1.6	0.58
nº 9	7.9	5.7	3.7	13.6	8.1	2.8	0.34
nº 15	4.1	2.8	1.8	6.9	1.4	0.9	0.66
nº 2	6.7	4.4	2.9	11.2	5.7	2.0	0.35
nº 6	5.4	3.7	2.4	9.1	3.6	1.5	0.42
nº 20	6.1	4.8	2.9	10.9	5.4	2.0	0.37
nº 10	6.2	4.2	3.0	10.4	4.9	2.1	0.43
nº 45	7.0	4.3	3.9	11.3	5.8	3.0	0.52
nº 47	8.2	4.8	3.9	13.0	7.5	3.0	0.40
nº 48	7.3	4.4	3.7	11.6	6.1	2.8	0.46
nº 50	8.	5.0	3.9	13.3	7.8	3.0	0.38
nº 40	4.6	6.3	2.1	10.9	5.4	1.2	0.22

Tabla 18. Cálculo de los valores del índice de madurez (M.I.).

Para obtener el índice de madurez se considera un agua de referencia, que debe ser la que presenta menores concentraciones de calcio, magnesio y estroncio, y a partir de ésta se calculan, para cada una de las muestras de agua, las variaciones porcentuales de los contenidos de estroncio y de la suma de calcio y magnesio. Los valores más elevados son indicativos de mayor madurez del agua, debido a un gran número de fases de disolución-precipitación. El grado de madurez del agua puede indicar diferentes tiempos de residencia con el consiguiente incremento de procesos de disolución-reprecipitación y aumento del contenido de estroncio. Pero además, también puede ser interpretado en términos de velocidad de circulación, por lo que mayores tiempos de residencia pueden ser atribuidos a circulaciones más lentas.

Los resultados obtenidos del cálculo de este índice (tabla 18) ofrecen gran dificultad en su interpretación, ya que si bien, en un principio, los sondeos del sector Rollo-Algayat presentan valores bajos, en general, no se observa un incremento de este índice respecto a la mineralización del agua, tal y como propone el modelo. Pulido-Bosch, *et al.*, 1995 utilizaron este índice llegando a caracterizar tres tipos de comportamientos: un sector norte (Rollo-Algayat) que presenta menor grado de madurez característico de bajas salinidades; un sector central que muestra bajas concentraciones de sulfatos y estroncio, cuyos puntos más representativos son el nº 40 y nº 15; y el resto del acuífero, con un relativo buen ajuste al modelo del índice de madurez.

## 5.7. ANÁLISIS MULTIVARIANTES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

He realizado un estudio del comportamiento de las variables conductividad, temperatura, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, estroncio, sílice, boro, hierro y bario mediante el Análisis de Componentes Principales

(ACP). Para el tratamiento estadístico he utilizado 336 muestras tomadas entre noviembre de 1991 y marzo de 1994. Todas ellas presentaban la totalidad de las variables expuestas determinadas. Este tratamiento se ha realizado mediante el programa estadístico *Stat-itcf*. Se ha trabajado con un ACP centrado reducido, sin utilizar muestras ni variables suplementarias, y sistemáticamente he escogido las tres primeras componentes que explican el mayor porcentaje de varianza total.

Simultáneamente he realizado la matriz de correlación entre las variables (tabla 19). Se observa cómo la conductividad presenta correlaciones por encima de 0.96 para el magnesio, sodio, potasio, sulfatos y cloruros, y del 0.88 para el calcio. También es significativa la correlación de 0.8, aunque con signo negativo, entre la conductividad y de los bicarbonatos. De igual forma existe una correlación elevada y negativa de los bicarbonatos respecto a los iones mayoritarios. Por otro lado, los cationes principales están muy bien correlacionados entre sí, así como respecto a los cloruros y sulfatos. Estos coeficientes tan elevados entre la mayor parte de estos iones apunta a un origen común responsable de la salinidad del agua.

	C	pH	t	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Sr <sup>2+</sup>	SiO <sub>2</sub>	B <sup>-</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Fe
C	1.00															
pH	-0.54	1.00														
t	0.77	-0.39	1.00													
Ca <sup>2+</sup>	0.88	-0.6	0.62	1.00												
Mg <sup>2+</sup>	0.96	-0.53	0.78	0.85	1.00											
Na <sup>+</sup>	0.97	-0.53	0.76	0.83	0.96	1.00										
K <sup>+</sup>	0.97	-0.53	0.81	0.85	0.96	0.97	1.00									
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.80	0.39	-0.1	-0.69	-0.84	-0.82	-0.84	1.00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.93	-0.59	0.76	0.95	-0.92	0.90	0.93	-0.80	1.00							
Cl <sup>-</sup>	0.97	-0.53	0.75	0.83	0.96	0.99	0.96	-0.81	0.90	1.00						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.29	-0.04	0.20	0.09	0.34	0.38	0.30	-0.28	0.13	0.40	1.00					
Sr <sup>2+</sup>	0.90	-0.57	0.74	0.92	0.88	0.87	0.89	-0.73	0.95	0.86	0.17	1.00				
SiO <sub>2</sub>	0.73	-0.51	0.72	0.75	0.73	0.71	0.76	-0.59	0.82	0.69	-0.08	0.83	1.00			
B <sup>-</sup>	0.91	-0.51	0.83	0.82	0.92	0.90	0.93	-0.76	0.90	0.89	0.29	0.92	0.82	1.00		
Ba <sup>2+</sup>	0.01	0.01	-0.03	-0.01	0.03	0.03	0.02	-0.08	0.01	0.03	0.07	-0.01	-0.02	0.01	1.00	
Fe <sup>+3</sup>	-0.15	0.20	-0.12	-0.26	-0.12	-0.11	-0.11	0.04	-0.21	-0.11	0.06	-0.20	-0.15	-0.12	0.01	1.00

**Tabla 19.** Coeficientes de correlación de algunas variables estudiadas.

En cuanto a los iones minoritarios es importante destacar el elevado coeficiente de correlación de sulfatos con estroncio y, en menor medida, con los cloruros.

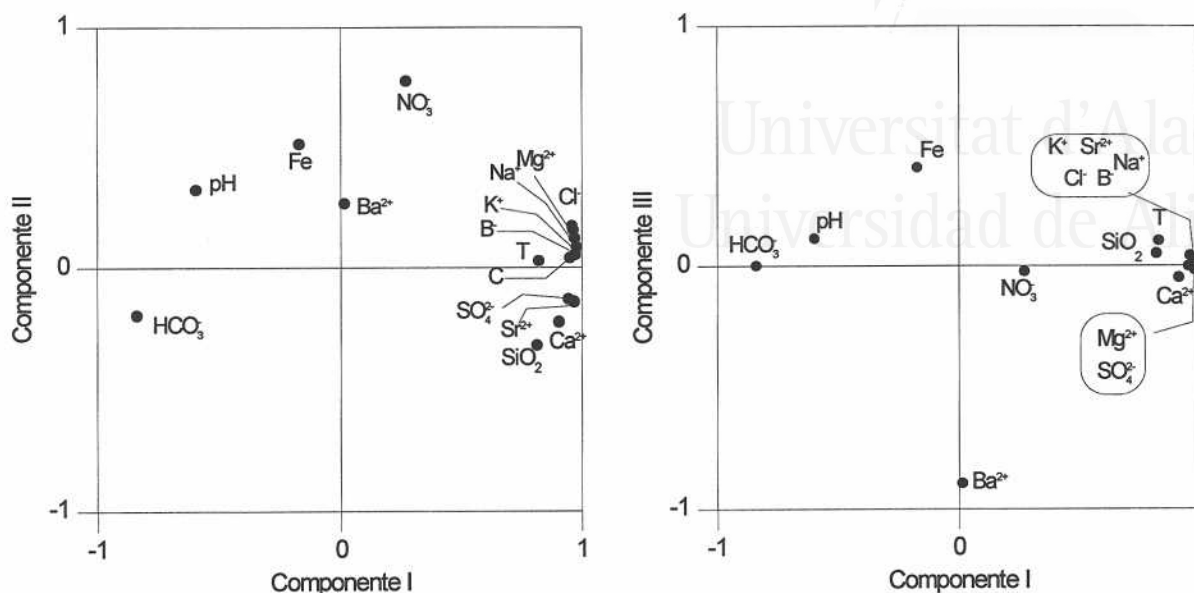


Figura 76. ACP de las variables consideradas.

Entre las tres componentes principales se obtiene una explicación de la variación total del 81.8% (67.1% componente I; 8.5% componente II; 6.2% componente III). En el plano I-II (figura 76), se observa que las variables con mayor peso sobre la primera componente son la conductividad, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio, potasio, boro temperatura, sílice y, en sentido opuesto, los bicarbonatos. En definitiva, se trata de un factor de mineralización. En cuanto a la segunda componente está definida, en mayor o menor medida, por los nitratos que responden a un origen totalmente distinto, probablemente independiente del factor litológico y asociado con entradas externas relacionadas con fertilizantes. En el plano II-III vuelven a ser los nitratos los que mayor peso tienen sobre la componente II, mientras que la III está definida por el bario.

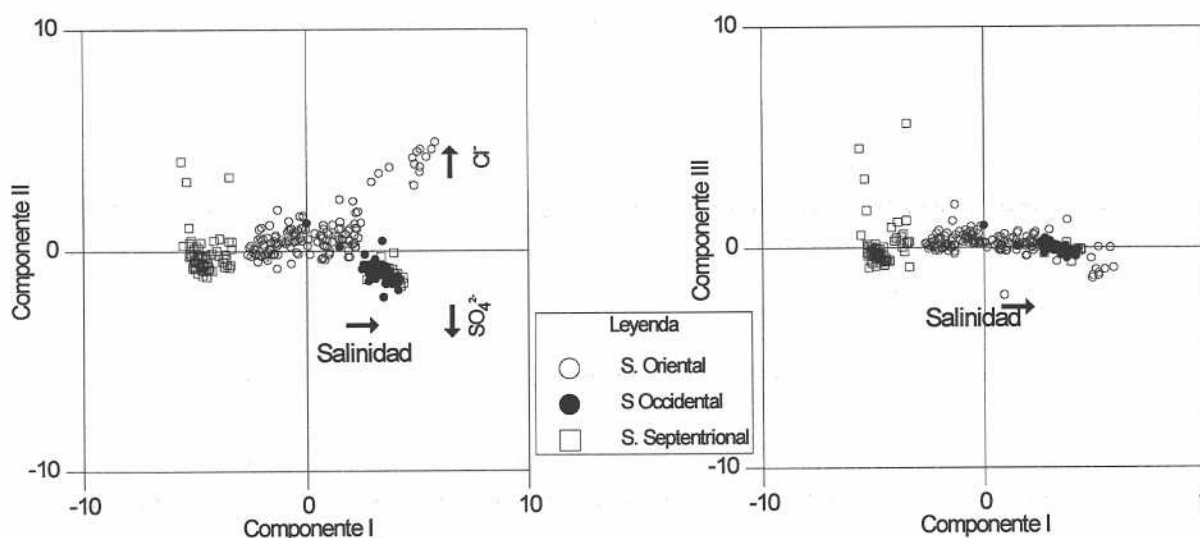


Figura 77. ACP de las muestras consideradas



En cuanto el espacio de las unidades estadísticas (figura 77) se observa que el plano definido por la componente I y II presenta un aumento de la salinidad hacia las partes positivas de la componente I. Por su parte la componente II realiza una discriminación entre las muestras más cloruradas que se disponen hacia partes más positivas de las más sulfatadas que lo hacen hacia las negativas. La representación del factor I respecto al III realiza también la distribución de las muestras de forma que las más salinas se disponen hacia las partes positivas de la componente I.

## 5.8. CONDICIONES DE EQUILIBRIO-DESEQUILIBRIO: ÍNDICES DE SATURACIÓN

Se pueden establecer las condiciones de equilibrio del agua mediante la aplicación de modelos de especiación de solubilidad y poder determinar así el índice de saturación del fluido respecto diferentes minerales. Se define el índice de saturación como:

$$IS = \log \left( \frac{PAI}{K(T)} \right)$$

siendo PAI el producto de actividad iónica de los iones y K (T) la constante de equilibrio del mineral correspondiente a la temperatura T.

Según esta ecuación cuando  $IS > 0$  la solución está sobresaturada; si  $IS = 0$  está en equilibrio; y  $IS < 0$  se encuentra subsaturada. Para la realización de estos cálculos he utilizado el programa *Solteq*. Este programa calcula los índices de saturación de diferentes especies minerales y el parámetro dpH ( $\Delta pH$ ) equivalente al índice de saturación de la calcita, a partir de la ecuación  $\Delta pH = pH_r - pH_e$  (donde  $pH_r$  es el valor medido y  $pH_e$  es el valor calculado en condiciones de equilibrio).  $\Delta pH$  tiene exactamente la misma significación que el índice de saturación. Los resultados de los minerales más significativos para el muestreo de marzo de 1994 se recogen en la tabla 20.

	nº 28	nº 27	nº 25	nº 55	nº 40	nº 50	nº 48	nº 47	nº 45	nº 20	nº 6	nº 15	nº 9	nº 14	nº 38	nº 2
a	-6.51	-6.56	-6.14	-6.23	-5.43	-5.21	-5.28	-5.23	-5.37	-5.17	-5.57	-5.67	-4.96	-5.61	-5.95	-5.21
b	1.01	0.8	1.24	0.95	1.36	1.17	1.26	1.2	1.24	1.22	1.42	1.16	1.18	1.36	1.2	1.15
c	0.32	0.2	0.73	-1	0.64	0.13	0.2	0.12	0.21	0.37	0.78	0.24	0.25	0.53	0.31	0.22
d	-1.78	-1.69	-1.58	-1.54	-1.34	-0.95	-0.99	-0.9	-0.99	-1.17	-1.23	-1.54	-1.01	-1.34	-1.42	-1.11
e	0.22	0.15	0.39	0.15	0.33	0.12	0-16	0.14	0.18	0.19	0.42	0.16	0.14	0.3	0.19	0.15
f	-0.21	-0.26	0.03	-0.47	0.01	-0.3	-0.26	-0.33	-0.27	-0.13	0.05	-0.22	-0.2	-0.07	-0.18	-0.24
g	0.49	0.86	0.62	0.48	0.67	0.3	0.23	0.33	0.33	0.25	0.44	0.64	0.96	0.78	0.22	0.25
h	-0.04	-0.11	0.13	-0.11	0.07	-0.14	-0.1	-0.12	-0.08	-0.07	0.16	-0.1	-0.12	0.04	-0.07	-0.11
i	-2.52	-2.55	-2.25	-2.27	-1.83	-1.41	-1.4	-1.35	-1.43	-1.64	-1.74	-2.05	-1.4	-1.79	-1.92	-1.63
j	-1.15	-0.62	-0.98	-0.85	-0.64	-0.41	-0.56	-0.35	-0.47	-0.74	-0.85	-0.7	0.17	-0.49	-1.03	-0.65
k	-1.71	-1.63	-1.51	-1.46	-1.28	-0.89	-0.94	-0.85	-0.94	-1.11	-1.18	-1.07	-0.95	-1.29	-1.37	-1.06

Tabla 20. Índices de saturación de algunos minerales: a:halita; b:estroncianita; c: dolomita; d:anhidrita; e:calcita; f: magnesita; g:witherita; h:aragonito; i:celestina; j:barita; k:yeso.

La mayor parte de los puntos presentan aguas subsaturadas en halita, yeso, anhidrita, celestina, barita e hidromagnesita, y saturadas respecto a estroncionita y calcita. El aragonito y la dolomita, pueden encontrarse con valores positivos o negativos según el punto, aunque el primero suele estar subsaturado, y la dolomita saturada.

Los diferentes valores de IS de halita, anhidrita y yeso entre los puntos de distintos sectores, ponen de manifiesto la influencia de la disolución de sales evaporíticas. En relación al estado de equilibrio del carbonato, su disolución y precipitación está controlada por el sistema químico  $\text{CO}_2$  (gas)-  $\text{H}_2\text{O}$  (líquido)- $\text{CaCO}_3$  (sólido). Este sistema ha sido estudiado por numerosos autores (Back y Hanshaw, 1971; Schoeller, 1969; Bakalowicz, 1980). El hecho de que los IS encontrados de la calcita se encuentren en estado de sobresaturación no significa que exista precipitación de carbonato cálcico. La precipitación se producirá cuando aparezcan condiciones favorables como: alta tasa de sobresaturación con índices de saturación de la calcita superiores a 0.5 y presencia de micropartículas que constituyan núcleos de acreción. Esta última condición parece que se produce cuando los índices de saturación de la calcita son superiores a 1 (Bakalowicz, 1990).

A pesar de que los índices de saturación de la dolomita son los más elevados, el hecho de tratarse de un mineral que no se puede sintetizar en condiciones ambientales de presión y temperatura impide su utilización para poner de manifiesto procesos de precipitación. Así, en las soluciones en las que existe  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  los minerales que aparecen sucesivamente son calcita, aragonito e hidromagnesita (Bakalowicz, 1979). Según las argumentaciones anteriores, se observa que, en este acuífero, predominan las condiciones de equilibrio o disolución de carbonatos.

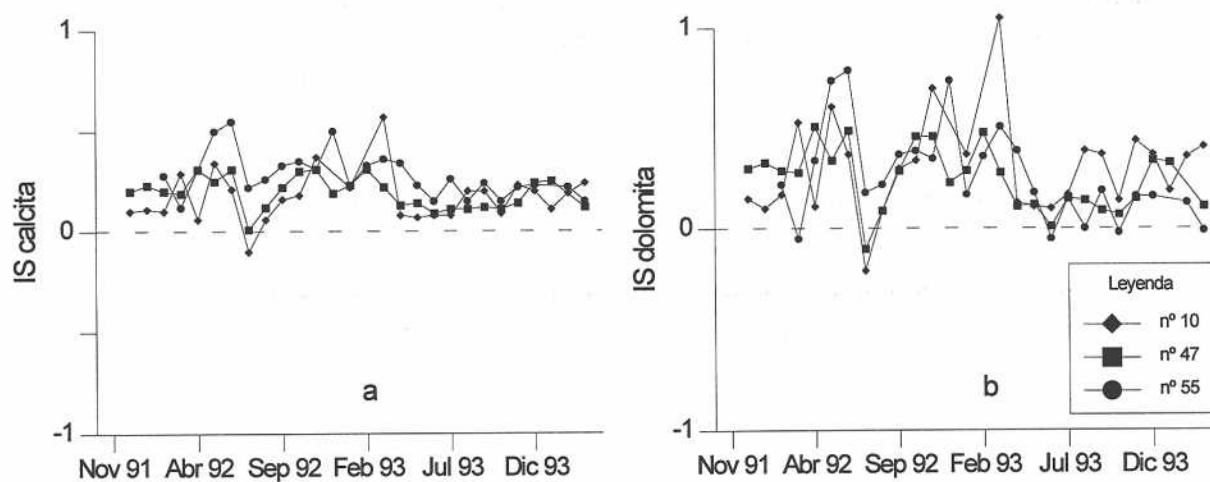


Figura 78. Evolución del contenido de los índices de saturación de la calcita (a) y dolomita (b) en algunos puntos del acuífero durante el periodo de muestreo.

La figura 78 muestra cómo las condiciones de equilibrio encontradas en este muestreo se han presentado a lo largo de todo el periodo de seguimiento.

## 5.9. CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS

### 5.9.1. Isótopos estables de la molécula del agua

Se denomina agua a la molécula resultante de la combinación de los elementos hidrógeno-1 ( $^1\text{H}$ ) y oxígeno-16 ( $^{16}\text{O}$ ). El  $^1\text{H}$  presenta un protón mientras que el  $^{16}\text{O}$  tiene 8 protones y 8 neutrones. Sin embargo, ambos elementos pueden ofrecer variaciones en su número de neutrones.

El hidrógeno, además del  $^1\text{H}$ , se puede presentar como  $^2\text{H}$  y  $^3\text{H}$ . De estos últimos, al primero se le conoce como deuterio (D) y su núcleo se compone de un protón y un neutrón, mientras que el segundo se llama tritio (T) y se diferencia de los dos anteriores en que tiene un protón y dos neutrones. El D es un isótopo estable y poco abundante ya que tan sólo constituye el 0.015% del hidrógeno natural. Por su parte el T es radiactivo y se desintegra con el paso del tiempo; su abundancia se estima en el  $10^{-15}\%$ .

El oxígeno también se presenta bajo tres formas isotópicas: el  $^{16}\text{O}$ , con el 99.759% es el más abundante en la naturaleza; el  $^{17}\text{O}$ , compuesto por 8 protones y 9 neutrones, es el más escaso con el 0.037%; y el  $^{18}\text{O}$ , que se caracteriza por la presencia de 10 neutrones en su núcleo, está también presente en cantidades pequeñas estimadas en un 0.204% (Bowen, 1986).

Los contenidos isotópicos del agua, tanto para el hidrógeno como para el oxígeno, se determinan mediante espectrometría de masas. Los valores se expresan en ‰ respecto a la desviación del estándar internacional y se notan como  $\delta\text{D}$  para el deuterio y  $\delta^{18}\text{O}$  para el oxígeno. El estándar internacional seleccionado se denomina SMOW (*Standard Mean Ocean Water*) (Craig, 1961), y fue elegido porque los océanos representan el inicio y el final del ciclo hidrológico, contienen aproximadamente el 97% de todo el agua de la Tierra y presentan una composición bastante constante.

El cálculo de los valores se realiza según la siguiente fórmula:

$$\delta \text{ (‰)} = \frac{R_{\text{muestra}} - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

donde R es el cociente entre D/H para el caso del hidrógeno o el cociente  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  para el caso del oxígeno.

Debido a las variaciones isotópicas son posibles diferentes combinaciones entre el

hidrógeno y el oxígeno para formar el agua. Las más interesantes en hidrogeología son  $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $^1\text{H}^{16}\text{O}$  y  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ . La primera, más ligera, es la molécula más abundante, ya que constituye alrededor del 99.73% del agua del océano, mientras que las otras dos, más pesadas suponen el 0.27% restante.

Esta división entre moléculas ligeras y pesadas en función del peso molecular tiene implicaciones de comportamiento frente al proceso físico de la evaporación. Así, las moléculas ligeras tienen mayor facilidad para evaporarse que las pesadas; como consecuencia de ello el vapor de agua se enriquece en moléculas ligeras, mientras que el agua residual lo hace en pesadas. A este proceso se le conoce con el nombre de fraccionamiento isotópico.

Esta característica permite la utilización del  $^{18}\text{O}$  y D en hidrología, puesto que los fraccionamientos, y por tanto los contenidos medidos, dependen fundamentalmente de aspectos climáticos. La aplicación de estos isótopos a diversos problemas hidrogeológicos queda ampliamente documentada en obras como las de Plata (1972) o Mazor (1991). La principal utilización en hidrogeología kárstica suele estar relacionada con la determinación del área de recarga.

### **Oxígeno-18**

#### **- Agua de lluvia**

Los datos referentes al contenido de  $^{18}\text{O}$  del agua de precipitación en esta parte del SE de España son prácticamente inexistentes. En el presente trabajo, simultáneamente a la recogida de aguas subterráneas, se diseñó una pequeña red de muestreo de agua de lluvia para determinarle el  $^{18}\text{O}$ . Aprovechando la facilidad de acceso a cotas elevadas en la Sierra del Cabeço d'Or, se instalaron diferentes pluviómetros a 400, 600, 800, 1000 y 1150 m. El objetivo era poder establecer el gradiente altitudinal que pudiera ser utilizado en posteriores interpretaciones sobre la hidrodinámica de los acuíferos estudiados. Desafortunadamente, el periodo escogido no fue afortunado en número de precipitaciones y tan sólo se recogieron tres episodios lluviosos. Los resultados de los contenidos en oxígeno-18 se exponen en la tabla 21.

Entre los episodios lluviosos se observan variaciones importantes, las cuales parecen estar afectadas por procesos de evaporación. El hecho de

Altitud (m)	400	600	800	1000	1150
28-Feb-93	-	-5.85	-4.29	-9.02	-5.99
16-Abr-93	-7.81	-5.10	-4.31	-7.47	-7.13
10-May-93	-5.35	-4.01	-2.39	-3.90	-3.64

Tabla 21. Valores del  $\delta^{18}\text{O}$  en ‰ de las aguas de precipitación muestreadas a distintas alturas en la Sierra del Cabeço d'Or.

que las lluvias muestreadas se hayan producido en diferentes estaciones con condiciones climáticas propias y con diversas procedencias de las precipitaciones (figura 79) podría ser una explicación a tales variaciones.

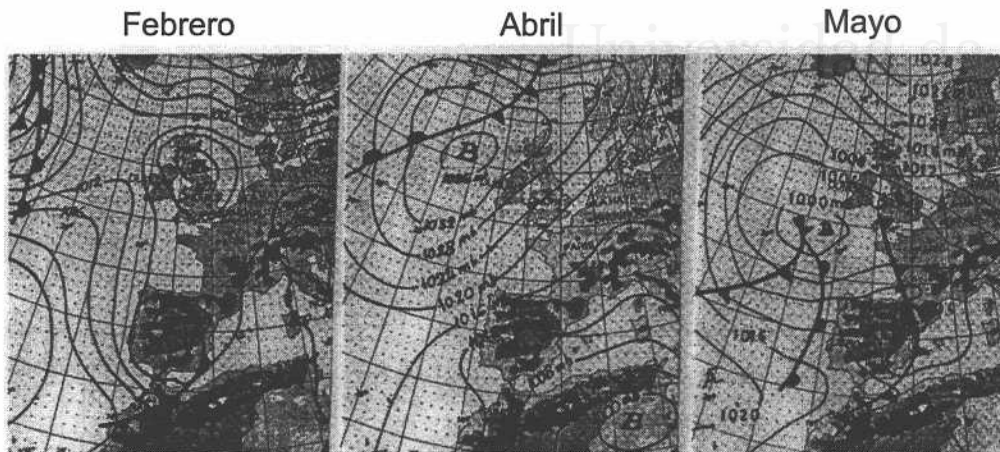


Figura 79. Situaciones meteorológicas de las precipitaciones del muestreo isotópico. Febrero-Abril-Mayo 1993.

La disminución en el contenido de isótopos pesados del agua de lluvia en relación con el incremento de altura se denomina efecto de altitud. Su magnitud depende de la morfología del área y de las condiciones que se alcanzaron cuando se produjo la precipitación. Los gradientes isotópicos observados en el caso del  $\delta^{18}\text{O}$  varían entre  $-0.15\text{‰}$  y  $-0.7\text{‰}$  cada 100 m, con valores medios de  $-0.27\text{‰}/100\text{ m}$  (Bortolami *et al.*, 1979; Gat, 1980; IAEA, 1981; Niewodniczanski *et al.*, 1981; Holdsworth *et al.*, 1991; Custodio *et al.*, 1992; Aires-Barros *et al.*, 1995). También, estudios recientes en la Cordillera Bética, concretamente en las Sierras de Lújar y Gador (provincias de Almería y Granada) y las de Cazorla, Segura y Baza (provincias de Jaén y Granada), han proporcionado gradientes de  $-0.28\text{‰}/100\text{ m}$  (Cruz- San Julián *et al.*, 1992) y  $-0.17\text{‰}/100\text{ m}$  (Domínguez y Custodio, 1994) para las primeras y  $-0.35\text{‰}/100\text{ m}$  (Cruz-San Julian *et al.*, 1992) para las últimas.

La representación de la altitud frente a los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  recogidos en la Sierra del Cabeço d'Or (figura 80) impide establecer un gradiente altitudinal para esta

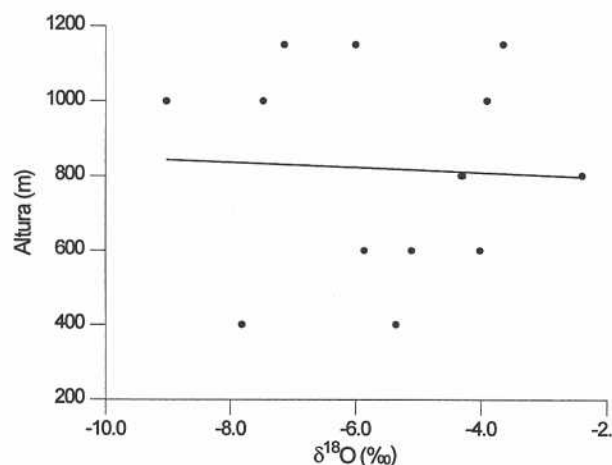


Figura 80. Relación altura- $\delta^{18}\text{O}$  de los diferentes episodios lluviosos muestreados en el Cabeço d'Or.



región. Sería necesario un periodo de registro más largo para poder establecer cualquier conclusión.

### *Aguas subterráneas*

Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  muestrados entre septiembre de 1993 y abril de 1994 oscilan entre  $-6.83\text{‰}$  y  $-7.71\text{‰}$  (anexo III); aunque las diferencias entre estos valores medios son pequeñas, se puede observar cómo el sector oriental presenta aguas ligeramente más pesadas que otras partes del acuífero.

Los contenidos mensuales de los puntos muestreados con regularidad se han representado en la figura 81. En ningún caso se observan tendencias ni comportamientos estacionales, lo que se interpreta como que las entradas son pequeñas y el sistema es capaz de atenuar cualquier tipo de variación estacional.

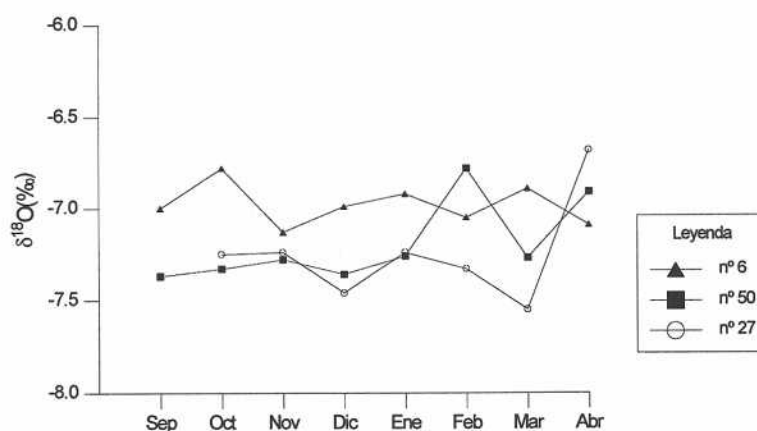


Figura 81. Evolución del contenido en  $\delta^{18}\text{O}$  en algunos puntos muestreados entre septiembre de 1993 y abril de 1994.

El hecho de que el conjunto de los sondeos muestreados en el Barranco del Tolomó presente aguas algo más pesadas y que su comportamiento sea uniforme y diferente al resto apunta a que el Acuífero de Crevillente es un sistema kárstico en donde no se produce una mezcla total o ésta se realiza de forma muy lenta, por lo que es posible que, este sector del acuífero presente problemas de conexión con el resto del acuífero, al menos a partir de cierta profundidad.

### *Deuterio*

Únicamente al primer muestreo isotópico de enero de 1993, se le determinó el contenido en deuterio. Los análisis fueron efectuados por la *Estación Experimental del Zaidín (CSIC) de Granada*.



Los valores de deuterio en las aguas de este acuífero varían poco, encontrándose desde -42.3‰ a -44.1‰ (tabla 22).

Los resultados de deuterio de las muestras tomadas en el Acuífero de Crevillente, así como en los acuíferos del Cid y Cabeçó d'Or se han representado frente al  $\delta^{18}\text{O}$  (figura 82). La totalidad de los puntos se sitúa por encima de la línea meteórica mundial  $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$  (Craig, 1961) y del Hemisferio Norte  $\delta\text{D} = (8.1 \pm 1) \delta^{18}\text{O} + (11 \pm 1)$

(Dansgaard, 1964), por lo que presentan un exceso de deuterio. La línea meteórica de África y área del Mediterráneo, que presenta un exceso de deuterio (d) del 14‰ (IAEA, 1967), es la que mejor explica el contenido isotópico de las muestras. De cualquier forma se observa cómo los puntos nº 28 y 55 del Acuífero de Crevillente y nº 1 del Cid continúan estando por encima de esta recta. No obstante, hay que tener en cuenta que para el Mediterráneo los valores de "d" pueden llegar a ser hasta del 18‰. El exceso en deuterio se relaciona con la fuente de vapor atmosférico. El vapor sobre mares cerrados con tasas de evaporación superiores a la de los océanos (como ocurre en el Mediterráneo) origina concentraciones elevadas en deuterio (Dansgaard, 1964). Además, se ha comprobado cómo sus cantidades en la parte costera meridional española son más elevadas que en

Punto	D	d	$^{18}\text{O}$
2	-42.6	12.6	-6.9
10	-42.6	13.4	-7
50	-43.9	14.5	-7.3
27	-44.1	13.5	-7.2
55	-43.4	18.2	-7.7
14	-43.1	11.3	-6.8
28	-43	17.8	-7.6
40	-43.5	12.5	-7

Tabla 22. Contenidos de deuterio (D), exceso de deuterio (D) y  $\text{O}^{18}$  del muestreo de enero de 1993.

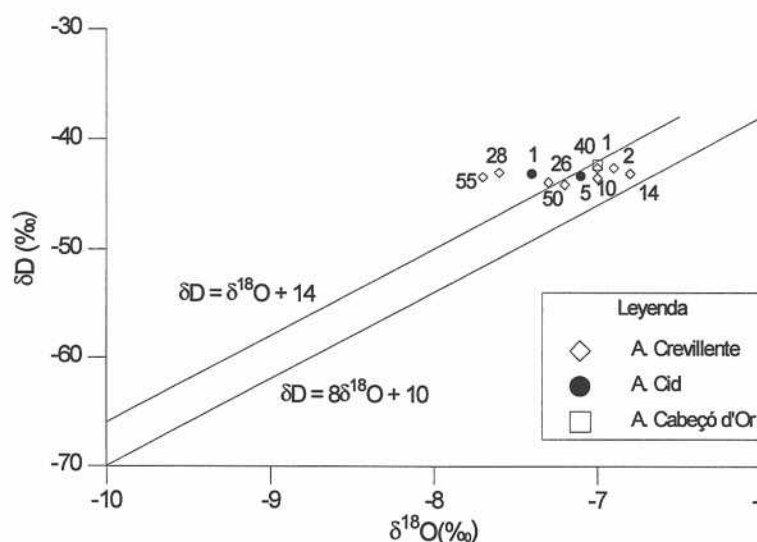


Figura 82. Relación  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  para las aguas de los acuíferos de Crevillente, Cid y Cabeçó d'Or muestreadas en enero de 1993.

las partes más septentrionales (Domínguez y Custodio, 1994). Ésta parece ser la causa que explica los valores encontrados en estos acuíferos, ya que las lluvias que predominan en

esta región, y por tanto, las que mayor incidencia tienen sobre la recarga de estos acuíferos, son principalmente las de componente E procedentes del Mediterráneo.

### 5.9.2. Tritio

Otro de los isótopos frecuentemente utilizados en hidrogeología es el tritio. Éste se puede considerar como un trazador ideal, puesto que no presenta interacciones con el medio y se comporta como otra molécula de agua cualquiera. El tritio se forma en la atmósfera superior como consecuencia de la interacción de los rayos cósmicos con el nitrógeno, y se desintegra emitiendo partículas  $\beta$  y produciendo He. El periodo medio de semidesintegración es de 12.5 años. El contenido de tritio en el agua se expresa en unidades de tritio (UT) las cuales son equivalentes a la concentración de 1 átomo de tritio por cada  $10^{18}$  átomos de hidrógeno, siendo éste aproximadamente el límite de detección mediante las técnicas analíticas convencionales (Bowen, 1986).

Los átomos de tritio por oxidación se mezclan con la precipitación, incorporándose de esta manera al ciclo hidrológico. La producción natural de tritio presenta valores medios de aproximadamente 5 UT en las precipitaciones que se producen sobre la superficie terrestre (Mazor, 1991). Sin embargo, cantidades elevadas se introdujeron en la atmósfera como consecuencia de las pruebas nucleares que se iniciaron en 1952 y que alcanzaron el máximo en 1963 al obtenerse en el hemisferio N valores por encima de 10000 UT (IAEA, 1967 y 1968).

La vida media que presenta este isótopo, así como la inyección en la atmósfera de grandes cantidades durante los años sesenta, han hecho posible que el tritio haya sido en los últimos cuarenta años una de las herramientas más importantes para caracterizar la componente de la recarga natural de los acuíferos.

#### *Agua de lluvia*

No se dispone de datos sobre las concentraciones de tritio en las precipitaciones del área de estudio. El *Organismo Internacional de la Energía Atómica-Organización Meteorológica Mundial* realiza un control regular de tritio en las lluvias, siendo la estación más cercana la de Gibraltar (latitud  $36^{\circ} 15' N$ ; longitud  $5^{\circ} 35' W$ ; altitud 5 m s.n.m.), situada a más de 700 km de Alicante. Los valores registrados en el periodo 1980-90 han oscilado entre 7.4 y 21.5 UT excepto en los años 1986 y 1987 que se midieron 232.6 y 37.2 UT respectivamente, aunque este pico tiene carácter local (Gonfiantini *et al.*, 1990; Araguás, 1991). Considerando la evolución normal según el periodo de desintegración radiactiva, estos años debieron presentar valores entre 15.5 y 5 UT (Poncela *et al.*, 1992). Contenidos similares entre 8 y 10 UT han sido determinados para las precipitaciones de la

isla de Palma de Mallorca, los cuales son bastante próximos a los de Barcelona aunque ligeramente reducidos por el efecto marino y la menor latitud (Custodio *et al.*, 1992). Por tanto, a falta de determinaciones que puedan poner de manifiesto posibles anomalías en las precipitaciones actuales de la región de estudio, y teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, es de esperar que en esta parte de la península se produzcan lluvias con concentraciones medias comprendidas entre 5 y 10 UT.

### Agua subterránea

Se recogieron cinco muestras para la determinación del contenido en tritio (tabla 23). Las determinaciones analíticas se efectuaron mediante un contador de partículas  $\beta$  cuyo límite de detección se sitúa en 1 UT. Dados los bajos contenidos en tritio de algunas de las muestras hubieran sido más resolutivos los nuevos métodos de  $^3\text{H}$ - $^3\text{H}$  que presentan su límite de detección en 0.2 UT (Mazor, 1991).

Punto	Tritio (UT)
nº 2	1.1
nº 6	< 1
nº 10	1.1
nº 50	< 1
nº 55	3.5

**Tabla 23.** Contenidos en tritio del muestreo junio de 1993

T (UT)	Edad del agua
< 0.5	Anteriores a 1952
> 10	Posteriores a 1952
0.5-10	Mezcla pre y post-1952

**Tabla 24.** Datación de las aguas en función de los contenidos en tritio (según Mazor, 1991).

Dado el escaso número de datos disponibles no se ha aplicado ningún tipo de modelo cuantitativo, aunque dado las características de estos acuíferos, donde el muestreo se realiza en sondeos de gran penetración y cuyas bombas se sitúan a más de 100 m por debajo de la superficie piezométrica, el modelo más apropiado es el de mezcla exponencial.

De forma semicuantitativa Mazor (1991) ha establecido unos límites informativos con los que se puede establecer la edad de un agua (tabla 24).

Los sondeos situados en ambos sectores de la Sierra de Crevillente presentan concentraciones similares y suelen ser inferiores o muy próximas al límite de detección, mientras que el nº 55 tiene 3.5 UT. Ello implica que, en el conjunto del acuífero se está extrayendo una mezcla de aguas anteriores y posteriores a 1952. No obstante, los valores encontrados en la Sierra de Crevillente muestran cómo la componente joven de estas aguas es inferior a la del sector septentrional, lo cual apoya las conclusiones hidrodinámicas e

hidroquímicas obtenidas en este estudio, así como otras de estudios hidrogeoquímicos anteriores (Pulido-Bosch *et al.*, 1995 y 1996). También estos datos indican un sentido de flujo subterráneo actual desde la Sierra de Algayat a la Sierra de Crevillente.

### 5.9.3. Radiocarbono y carbono-13

El carbono presenta tres isótopos diferentes:  $^{12}\text{C}$  común y estable,  $^{13}\text{C}$  estable pero raro y  $^{14}\text{C}$  muy raro y radiactivo. El  $^{14}\text{C}$  es el más pesado, inestable y se desintegra transformándose en  $^{14}\text{N}$  y emitiendo radiación  $\beta$ , al igual que el tritio. Su vida media es de 5730 años. La concentración natural de  $^{14}\text{C}$  es de 1.2 átomos por cada  $10^{12}$  de  $^{12}\text{C}$  y se expresa en % de carbono moderno (pmc) al comparar la relación  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  con respecto al estándar internacional en forma de ácido oxálico de madera de 1950.

Se forma en las partes altas de la atmósfera como consecuencia de la interacción de neutrones procedentes de los rayos cósmicos con  $^{14}\text{N}$  atmosférico. Una vez originado el  $^{14}\text{C}$  se oxida y pasa rápidamente a  $\text{CO}_2$ . Posteriormente, el  $\text{CO}_2$  se traslada a las zonas inferiores de la atmósfera donde se fija en los seres vivos. La disolución, por parte del agua, del  $\text{CO}_2$  es la vía por la cual se incorpora al ciclo del agua.

Las cantidades naturales de radiocarbono se han visto perturbadas desde principios del siglo XIX, puesto que la combustión de carbones minerales y derivados del petróleo carentes de  $^{14}\text{C}$  han incrementado la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$ , y han reducido la relación  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  en el aire alrededor de un 10% (Mazor, 1991). Por el contrario, se produjo un aumento considerable de  $^{14}\text{C}$  entre 1952 y 1963 a causa de las pruebas nucleares; su efecto se tradujo en un incremento aproximado del 100% en la atmósfera y la biosfera, y de un 20% en los niveles superiores oceánicos (Custodio y Llamas, 1983).

La introducción de  $^{14}\text{C}$  en el agua subterránea se produce por la disolución de pequeñas cantidades de  $\text{CO}_2$ ; una vez que la precipitación alcanza la superficie, percola por las capas del suelo y disuelve más  $\text{CO}_2$ , que alcanza una concentración mucho mayor que la del aire y similar a la de la materia orgánica moderna descompuesta. Cuando el agua alcanza la zona saturada del acuífero queda aislada y comienza la desintegración del  $^{14}\text{C}$ .

El análisis de los datos debe de realizarse con mucha precaución, ya que, dentro del acuífero se pueden producir alteraciones en el contenido del radiocarbono. Éstas pueden ser importantes en acuíferos carbonáticos como éstos, puesto que las aguas cargadas en  $\text{CO}_2$  son altamente agresivas frente a las calizas. Estas aguas producen la disolución de los carbonatos, que carecen de  $^{14}\text{C}$ , provocando un efecto diluyente en la concentración de  $^{14}\text{C}$  que debe ser tenido en cuenta para una correcta interpretación.

El Carbono-13 se utiliza como una posible herramienta capaz de detectar anomalías en el origen o evolución de un agua subterránea que puede afectar al contenido de radiocarbono. Se determina por espectrometría de masas en una parte alcuota del precipitado que ha servido para determinar el  $^{14}\text{C}$ . Su abundancia se expresa en ‰ de la desviación de la relación  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  respecto al estándar seleccionado, en este caso un belemnites de la Formación *Pee Dee* de Carolina del Sur (USA).

Normalmente, las calizas marinas poseen valores de  $0 \pm 2\text{‰}$  (Mook, 1970), mientras que en la materia orgánica y en el  $\text{CO}_2$  del suelo suele estar comprendido entre  $-28$  y  $-20\text{‰}$ . Estos valores dependen de las condiciones climáticas y de la vegetación del lugar, ya que aunque la mayoría de las plantas tienen valores alrededor de  $-23 \pm 3\text{‰}$ , algunas presentan cantidades mayores en torno a  $-12 \pm 2\text{‰}$  (Vogel, 1970; Rightmire y Hanshaw, 1973; Mazor, 1991).

La aplicación del radiocarbono para datar aguas subterráneas fue propuesta por Münnich en 1957. Además, actualmente los isótopos del carbono se emplean en hidrogeología para estimar las velocidades y tipos de flujos en acuíferos, determinar la continuidad de acuíferos regionales, estudiar la intercomunicación entre sistemas y para establecer el posible origen profundo del  $\text{CO}_2$ . Por este motivo son muy numerosos los estudios en los que se han usado estas técnicas (Pearson y Hanshaw, 1970; Fontes, 1983 y Mazor y Kroitoru, 1987 *in* Mazor, 1991; Cerón, 1995).

Dado que el radiocarbono suele estar en concentraciones muy diluidas en las aguas subterráneas, se utilizaron volúmenes de 100 l de agua para obtener una cantidad suficiente para su determinación. En el mismo campo se realizó el protocolo de precipitación del  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{CO}_2$  bajo la forma de  $\text{BaCO}_3$ ; para ello se le adicionó  $\text{NaOH}$  hasta elevar el pH por encima de 12, ya que la reacción se produce en un medio fuertemente básico; posteriormente se vertió una cantidad proporcional de  $\text{Cl}_2\text{Ba}$  en función de las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  que presentaba cada tipo de agua. Tras una fuerte agitación se procedió a dejar el preparado en reposo durante 24 horas en espera que la reacción se produjese en su totalidad. Al día siguiente se separó el residuo sólido de  $\text{BaCO}_3$  del agua, recogién dose en una botella, la cual se envió al laboratorio para su posterior análisis.

Con los valores de  $^{14}\text{C}$  obtenidos he intentado establecer la edad de las mismas, utilizando la fórmula general de la desintegración radiactiva:

$$t = \frac{T}{0.6293} \ln \frac{C_o}{C}$$



donde:  $t$  es el tiempo en años del  $^{14}\text{C}$ ;  $T$  el periodo de semidesintegración radiactivo, en este caso 5730 años;  $C_0$  es el contenido inicial de  $^{14}\text{C}$ , y  $C$  es la concentración de  $^{14}\text{C}$  en la muestra.

El  $^{14}\text{C}$  determinado en la muestra es relativo al total del carbono existente en el agua y, dado que se trata de un acuífero carbonático, hay que tener en cuenta que existe carbono estable proveniente de la disolución de las calizas por parte del agua. El efecto diluyente del carbono procedente de las rocas puede llegar a corregirse mediante la utilización del  $\delta^{13}\text{C}$ . Esta metodología está ampliamente desarrollada en Custodio y Llamas (1983); su utilización requiere el conocimiento de algunos valores tales como  $\delta^{13}\text{C}_m$  de la muestra,  $\delta^{13}\text{C}_0$  del  $\text{CO}_2$  disuelto inicialmente en el agua y  $\delta^{13}\text{C}_c$  de la caliza; por tanto, para proceder al cálculo de la edad del agua se usa:

$$t = 8270 \ln\left(\frac{\delta^{13}\text{C}_m - \delta^{13}\text{C}_c}{\delta^{13}\text{C}_0 - \delta^{13}\text{C}_c} \frac{100}{\delta^{14}\text{C}_m}\right)$$

donde  $t$  es el tiempo en años.

Al carecer de las determinaciones locales del  $\delta^{13}\text{C}$  del  $\text{CO}_2$  que disuelve el agua y las de las calizas que constituyen el acuífero, se han efectuado los cálculos atribuyendo los valores medios siguientes: suelo  $\delta^{13}\text{C}_0 = -25\%$ , calizas  $\delta^{13}\text{C}_c = 0\%$ . Ello implica que las edades calculadas tan sólo son un valor orientativo en términos absolutos, si bien presentan gran interés en cuanto a valores relativos, tanto para comparar las aguas de un mismo sistema, como de diferentes sistemas.

Muestra	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{14}\text{C}$ pmc (%)	$D^{14}\text{C}$ (‰)	T (U.T.)	C.M.T. moles/l	I.S.C. (%)
nº 2	-5.75	16.9	-830	1.1	3.68	1
nº6	-6.65	19.2	-807	<1	3.69	21
nº10	-4.86	18.8	-811	1.1	3.69	1
nº 50	-5.51	16.8	-831	<1	3.72	8
nº 55	-9.27	39.8	-600	3.5	4.15	5

**Tabla 25.** Contenidos isotópicos del carbono-13, radiocarbono, carbono muerto, tritio, carbono mineral total e índice de solubilidad de la calcita del muestreo realizado en junio de 1993.

En la tabla 25 se recogen los resultados analíticos de los isótopos del carbono de las aguas muestreadas, además de otros parámetros. Los bajos contenidos en radiocarbono que presentan las aguas de este acuífero son atribuibles a una importante interacción agua-roca, como consecuencia del tiempo de residencia del agua. No hay que olvidar las



elevadas profundidades a las que se encuentra la lámina de agua.

El procedimiento de datación de las aguas a partir de su contenido en  $^{14}\text{C}$  (tabla 26) se ha efectuado de tres formas diferentes:

- mediante la metodología antes citada (columna A)
- igual metodología pero asignando el valor de 0.85 (Vogel, 1970) para la relación entre el contenido de carbono debido al  $\text{CO}_2$  disuelto ( $C_0$ ) y el carbono total soluble ( $C_t$ ) (columna B)
- atribuyendo una interacción agua-roca que produce una pérdida de  $^{14}\text{C}$  inicial del  $30 \pm 5\%$ , puesto que los valores habituales de las aguas recientes, aunque pre-1952, pertenecientes a acuíferos carbonáticos suelen ser de  $60 \pm 5$  pmc (Kroitoru, *et al.*, 1987 *in* Mazor, 1991) (columna C).

Se observan apreciables diferencias de edades en función de la metodología utilizada. No obstante, se pueden realizar algunas reflexiones acerca de los valores calculados:

- Existen grandes diferencias de edad entre el agua muestreada en el punto nº 55 respecto a la de las aguas extraídas en la Sierra de Crevillente. Los tres métodos indican que el primero

extrae agua de menor edad; además, incluye menores cantidades de carbono muerto y mayores cantidades de tritio. Según estos datos se puede establecer, de forma aproximada que existe un flujo de circulación general dentro del acuífero que discurre de N a S y que confirma lo ya deducido con otros métodos.

- Las edades calculadas en las columnas B y C no ofrecen diferencias entre los sectores definidos en la propia Sierra de Crevillente; sin embargo, el agua extraída en el sector occidental se encuentra 50 m más alta que en el oriental, por lo que en un principio se podría pensar en una edad mayor para las aguas del último sector. Esto sí parece deducirse con los resultados de la columna A.

- De más difícil explicación es la diferencia observada en la columna A, entre el sondeo 10 y el 2, situados a 50 m y conectados hidráulicamente, tal y como refleja el ensayo de bombeo efectuado en este punto (figura 51); estas diferencias son menores en los cálculos contemplados en las columnas B y C. Sin embargo, la posición de la bombas

Método	A	B	C
Muestra	$C_0/C_t = 0.85$		
nº2	2550	13400	10550
nº6	2750	12350	9450
nº10	550	12800	9650
nº 50	2250	13450	10550
nº 55	NA	6300	Reciente

Tabla 26. Edad del agua en años; NA: no aplicable.

a distinta profundidad podría tener cierta influencia, al poder estar extrayendo aguas de flujos diferentes a pesar de presentar conexión hidráulica.

- A pesar de que los datos suministrados por el  $^{14}\text{C}$  apuntan a que las aguas tienen cierta edad, la presencia de tritio en ellas (puntos nº 2 y 10) confirma la existencia de una mezcla entre aguas recientes y antiguas.

El comportamiento seguido por el  $\delta^{13}\text{C}$ , tal como cabría esperar, no ha experimentado variaciones significativas, sino que ha permanecido más o menos estable (figura 83); únicamente en mayo de 1994 se aprecia un ligero ascenso que es reflejado por la totalidad de los puntos.

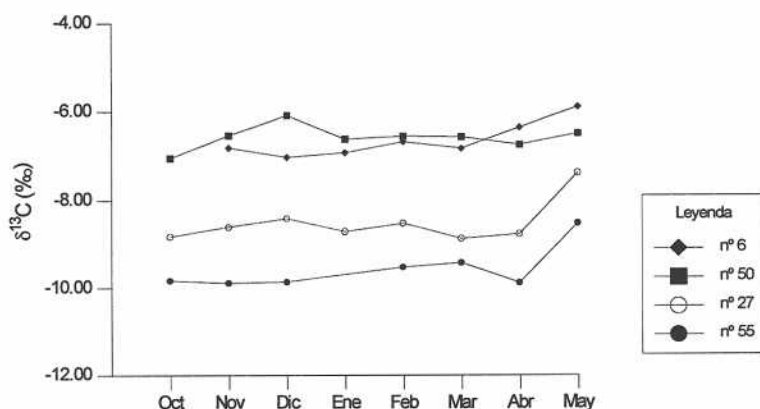


Figura 83. Evolución del contenido en  $\delta^{13}\text{C}$  en algunos puntos muestreado entre octubre de 1993 y mayo de 1994.

Existe una clara diferenciación de sectores en función de los contenidos en  $\delta^{13}\text{C}$ . Así, los puntos ubicados en la Sierra de Crevillente presentan valores comprendidos entre  $-5.89\text{‰}$  y  $-7.05\text{‰}$ . Estos valores, en principio relativamente altos, pueden ser debidos a efectos de intercambio isotópico como consecuencia de fenómenos de disolución-precipitación producidos en el interior del acuífero. Los menores contenidos se registran en el nº 55, con valores próximos a  $-10\text{‰}$ , cantidades características para las aguas procedentes de acuíferos kársticos, mientras que el nº 27, con una media de  $-8.7\text{‰}$ , ofrece valores intermedios. Esto significa que los procesos invocados en los sectores oriental y occidental de la Sierra de Crevillente revisten menor importancia que en el sector septentrional.

#### 5.9.4. Azufre-34

Las aguas subterráneas incluyen ciertas especies disueltas con características isotópicas que reflejan las propiedades de la roca con las cuales ha estado en contacto;

entre este grupo de isótopos se encuentra el  $^{34}\text{S}$  (figura 84). Su estudio aporta información sobre la naturaleza de las reacciones geoquímicas que se han producido entre el agua y la roca, y sobre el modelo de circulación seguido por el agua desde su infiltración hasta alcanzar el punto de muestreo. En el último cuarto de siglo han sido muchos los trabajos que han utilizado este isótopo en hidrogeología y geoquímica (Krouse, 1980; Pierre, 1982; Fouillac *et al.*, 1989; Urilla, 1989; Balderer *et al.*, 1991).

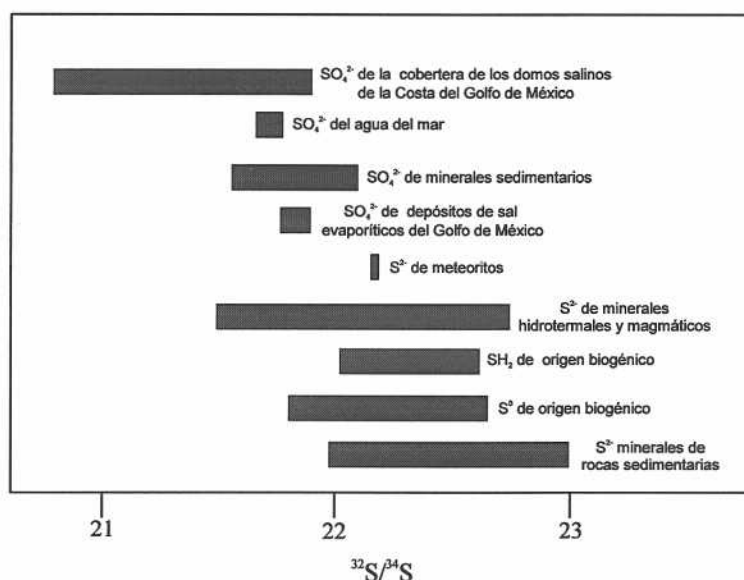


Fig. 84. Variabilidad de la relación  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  en la naturaleza (según Back y Hanshaw, 1965).

El azufre se puede presentar en la naturaleza bajo cuatro formas isotópicas estables,  $^{32}\text{S}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$  y  $^{36}\text{S}$ . La abundancia de los mismos es del 95%, 0.77%, 4.2 % y 0.017% respectivamente. La relación  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  se utiliza comúnmente en hidrogeoquímica para describir la composición isotópica de aquellas sustancias formadas por compuestos del azufre, ya que las relaciones entre los otros pares prácticamente no mejora la información.

Al igual que con otros isótopos, los resultados de la relación  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  son expresados en tanto por mil utilizando la notación " $\delta$ ". Estos valores se refieren a un estándar internacional establecido a partir del azufre procedente de la troilita ( $\text{FeS}$ ) encontrado en el meteorito del Cañón del Diablo (CDT: *Canyon Diablo Troilite*).

Dada la rápida mezcla del agua del océano por parte de las corrientes marinas respecto al tiempo de residencia de los sulfatos en el mar, se ha observado que en la actualidad el valor de  $\delta^{34}\text{S}$  es igual para todo el agua oceánica (Sakai, 1972). Como consecuencia, los sulfatos precipitados a partir de agua marina presentan valores constantes en todo el mundo aunque ligeramente enriquecidos entre un 1‰ y un 2‰

(Thode y Monster, 1965).

La determinación del  $\delta^{34}\text{S}$  en los sulfatos de diferentes edades ha puesto de manifiesto una variación del contenido del mismo en función del tiempo. Esta variación refleja los contenidos del  $\delta^{34}\text{S}$  del sulfato disuelto y concentrado en el agua marina en el momento de su depósito. Las concentraciones analizadas se encuentran comprendidas entre 10‰ y 30‰, y cada periodo puede ser caracterizado por un valor de  $\delta^{34}\text{S}$  (figura 85). Los cambios en la composición isotópica del sulfato oceánico han sido interpretados como entradas y salidas de flujos de azufre en el océano (Ault y Kulp, 1959; Thode y Monster, 1964; Claypool *et al.*, 1980).

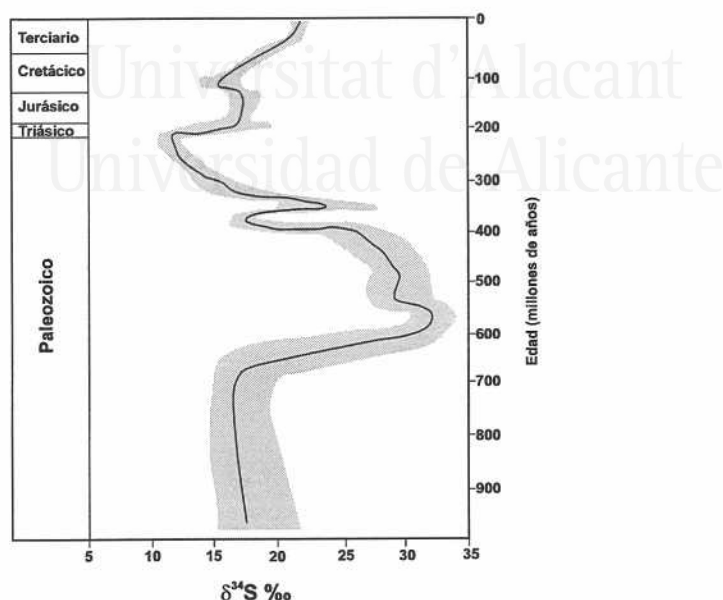


Figura 85. Contenidos del  $\delta^{34}\text{S}$  en los yesos de diferentes edades (tomado de Claypool 1982).

En junio de 1993 se recogió una muestra sólida de yeso triásico aflorante en la parte meridional del acuífero para su análisis, ya que se desconocían los contenidos de  $\delta^{34}\text{S}$  para los yesos en esta región. Al igual que las muestras líquidas, fue enviada a Hungría, donde se efectuaron las determinaciones analíticas por el *Institute of Nuclear Research de Debrecen*.

La muestra se tomó en la carretera que discurre entre las poblaciones de Albaterra y Hondón de los Frailes. El valor que se obtuvo fue de  $\delta^{34}\text{S} = 11.4\text{‰}$ , valor similar a los encontrados por Pilot *et al.* (1972) para las mismas facies, y ligeramente inferiores a los obtenidos por Claypool *et al.* (1980).

En cuanto a las determinaciones de  $\delta^{34}\text{S}$  en las aguas, en la parte oriental los puntos nº 2 y 6 presentan valores entre el 9‰ y 15.3‰ (anexo III y figura 86), por lo que en un principio el origen de los sulfatos puede atribuirse a los materiales triásicos. El nº 10, situado en el mismo sector del acuífero, y a una distancia de 50 m del nº 2, refleja un comportamiento ligeramente diferente ofreciendo valores inferiores al 5‰. Estas diferencias hacen pensar que parte de los sulfatos disueltos en el agua puedan provenir de la oxidación de sulfuros o de azufre orgánico. Sin embargo, estos valores no se han mantenido en todos los muestreos, sino que algunos meses se sitúan por encima del 9‰.

Las muestras del sondeo nº 50, representante del sector donde se alcanzan los

contenidos más altos de sulfatos de todo el acuífero, presenta valores entre  $\delta^{34}\text{S} = 9\text{‰}$  y  $15\text{‰}$ , exceptuando el muestreo del mes de marzo en que desciende al  $5\text{‰}$ . Las determinaciones efectuadas indican que el origen de los sulfatos está relacionado con los yesos del Trías.

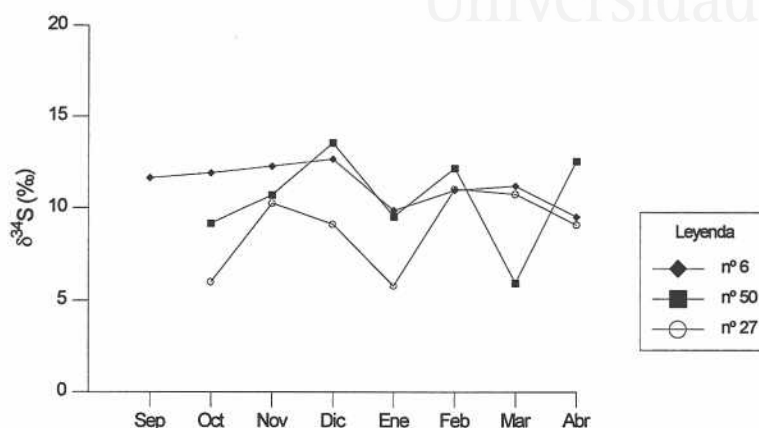


Figura 86. Evolución del contenido en  $\delta^{34}\text{S}$  en algunos puntos muestreados entre septiembre de 1993 y abril de 1994.

Respecto al sector Rollo-Algayat, donde se encuentran las mineralizaciones más débiles y cuyos contenidos en sulfatos oscilan entre 90 y 130 mg/l, existe cierta irregularidad de los valores del  $\delta^{34}\text{S}$ ; si bien la mayoría de los datos parece indicar un origen de los sulfatos ligados a los materiales del Trías, algunos valores anómalos se sitúan por debajo del  $4\text{‰}$ , como ocurre en el n° 55 que en la muestra de noviembre de 1993 adquiere un valor de  $3.67\text{‰}$  (anejo III).

### 5.9.5. Nitrógeno-15

El nitrógeno se puede presentar en la naturaleza bajo dos formas isotópicas:  $^{14}\text{N}$  y  $^{15}\text{N}$ ; el primero, más abundante, constituye el 99.632% del nitrógeno presente en la atmósfera, mientras que el segundo tan sólo alcanza el 0.368%. Esta proporción atmosférica es bastante constante y ha sido elegida como patrón con la que se comparan los contenidos en  $^{15}\text{N}$  de los compuestos nitrogenados. La determinación analítica del  $^{15}\text{N}$  se realiza mediante un espectrómetro de masas de doble admisión. Esta técnica implica una conversión del nitrato en amonio, seguido por una oxidación del amonio a  $\text{N}_2$  (Kreitler y Jones, 1975; Létolle 1980).

La utilización del  $^{15}\text{N}$  en hidrogeología se debe a que los nitratos frecuentemente disueltos en las aguas subterráneas pueden presentar diferente composición isotópica dependiendo de su origen. Por ello, a partir de la década de los setenta, esta metodología ha sido ampliamente utilizada para establecer su procedencia (Kohl *et al.*, 1971; Mariotti

y Létolle, 1977; Spalding *et al.*, 1982; Flipse *et al.*, 1984; Sanchis, 1991; Aravena *et al.*, 1993). No obstante, sólo debe ser empleada en aquellos casos en que no se encuentren afectados por procesos posteriores que causen fraccionamiento isotópico, tales como la volatilización de amonio y desnitrificación, ya que estos procesos pueden borrar o exagerar las diferencias originales del  $\delta^{15}\text{N}$  (Hauck y Bermmer, 1976).

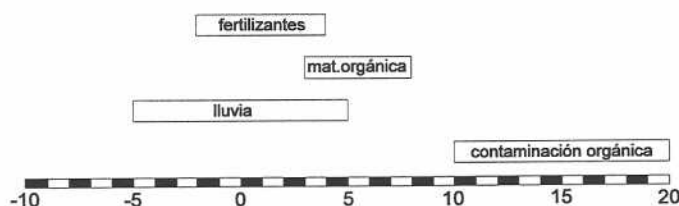
Las principales fuentes de la composición isotópica del nitrato en las aguas son (figura 87):

- Nitratos procedentes de fertilizantes sintéticos comerciales; se fabrican industrialmente a partir del nitrógeno atmosférico, por lo que su contenido isotópico es semejante a éste. Su composición isotópica varía en función del producto utilizado estableciéndose valores medios comprendidos entre  $-2\text{‰}$  y  $+4\text{‰}$ .

- Nitratos procedentes de la nitrificación de la materia orgánica del suelo; se trata de un proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico existente en el suelo es capaz de transformarse y pasar a nitrato que, posteriormente, es lixiviado por el agua en su trayecto hacia la zona saturada. El contenido en  $\delta^{15}\text{N}$  suele oscilar entre  $+3\text{‰}$  y  $+8\text{‰}$ , si bien han llegado a obtenerse valores de hasta  $+13\text{‰}$  (Smith *et al.*, 1975).

- Nitratos provenientes de contaminación orgánica; se incluyen aquí los nitratos originados por residuos orgánicos, tanto humanos como animales. Se caracterizan por presentar elevados  $\delta^{15}\text{N}$  originados por los procesos de fraccionamiento isotópico al madurar y fermentar. Los valores más habituales están situados entre  $+10\text{‰}$  y  $+20\text{‰}$ .

- Nitratos del agua de lluvia; los contenidos isotópicos del agua de lluvia varían dependiendo de la estación y del volumen de agua caída, aunque en general suelen ser bajos. Los valores medios varían entre  $-5\text{‰}$  y  $+5\text{‰}$  pudiendo llegar a valores de  $-10\text{‰}$ .



**Figura 87.** Campo de distribución de los valores del  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en función de la procedencia del nitrato en el agua subterránea (tomado de Sanchis (1991)).

Los muestreos se efectuaron tomando un litro de agua en botella de polietileno, a la cual se le adicionó aproximadamente 5 ml de cloroformo con el objeto de que no se



produjeran procesos biológicos que pudieran alterar la composición en  $\delta^{15}\text{N}$  entre la toma y el análisis de la muestra. Los resultados de los mismos se recogen en el anejo III. En general, la mayoría de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  son positivos y muestran variaciones irregulares de difícil interpretación. Se desconoce el motivo por el que prácticamente la totalidad de los puntos muestreados presentan variaciones aleatorias, rápidas y acusadas.

Existen ciertos componentes de los fertilizantes sintéticos que pueden aumentar sus contenidos en  $\delta^{15}\text{N}$  debido a procesos de volatilización del amonio. Este proceso puede causar enriquecimientos significativos del  $\delta^{15}\text{N}$  por encima del 6%, principalmente en terrenos calizos (Kreitler, 1979; Flipse y Bonner, 1985). Este efecto podría explicar algunos de los valores por encima del 4%. Sin embargo este proceso no explicaría los valores por encima de 10%, los cuales aparecen habitualmente asociados a contaminación por residuos orgánicos.

En definitiva sería necesario un intervalo de muestreo mayor para establecer alguna hipótesis que aportase mayores datos para conocer la significación de tales alteraciones.

#### 5.9.6. Radón

Los estudios de radón han abierto nuevos campos de investigación, entre los que se pueden destacar su utilización como precursor de terremotos (Smith *et al.*, 1980), herramienta prospectora de uranio, petróleo y gas (Cadigan y Felmler, 1977; Whitehead, 1980) y su relación con los riesgos en la salud del hombre por su ingestión en el agua potable (Hess *et al.*, 1978; Bodansky *et al.*, 1987; Nazaroff y Nero, 1988). En hidrogeología también ha sido utilizado para relacionar características hidrogeológicas (porosidad, tipo de acuífero, profundidad de los sondeos,...) con aspectos geológicos (fracturación, litología, compactación, gradiente geotérmico), (Smith *et al.*, 1980; Harvey, 1981; Wei y Yi-Yao, 1984; Cothorn, 1987; Semprini, 1987; Smith, 1988; Wilkening, 1990).

El  $^{222}\text{Rn}$  es un gas radiactivo, químicamente inerte, que emite partículas  $\alpha$  y presenta una vida media de 3.82 días. Se trata del elemento nº 86 de la tabla periódica incluido en el grupo de los gases nobles. Pertenece a la serie de desintegración natural del  $^{238}\text{U}$ , originándose a partir del  $^{226}\text{Ra}$ . Se encuentra en el suelo y/o en la roca madre. Su contenido depende de la cantidad inicial de  $^{226}\text{Ra}$  y de otros factores como la posibilidad de migración. Su elevada solubilidad en el agua (230  $\text{cm}^3/\text{kg}$  a  $20^\circ\text{C}$ ) es la causa de su presencia habitual y de su movilidad en ella.

Además del  $^{222}\text{Rn}$ , se han identificado un total de 20 isótopos del radón, siendo los más importantes el  $^{220}\text{Rn}$  proveniente del  $^{224}\text{Ra}$  en la serie del Torio y el  $^{219}\text{Rn}$  aportado por

el  $^{223}\text{Ra}$  dentro de la serie de desintegración natural del Actinio. Estos isótopos tienen un comportamiento similar al del  $^{222}\text{Rn}$  pero sus vidas medias son muy cortas: 55.6 s para el  $^{220}\text{Rn}$  y 4 s para el  $^{219}\text{Rn}$ .

La cantidad del radón existente en las rocas y el suelo depende de las concentraciones de Uranio y Torio y de sus productos de desintegración. La tabla 27 muestra la presencia de estos elementos en rocas y suelo. Se observan concentraciones muy diferentes. Los elevados valores del suelo ponen de manifiesto que la franja epidérmica bajo la superficie de la Tierra es un auténtico reservorio de radón capaz de transferir a la atmósfera y a las aguas subterráneas.

El elemento más directamente relacionado con el radón es el radio, puesto que es del que procede. Han sido identificados dieciséis isótopos del radio, si bien son tres de ellos  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$  y  $^{223}\text{Ra}$ - los que mejor se conocen, debido a que provocan cáncer en los huesos. Sus vidas medias son de 1.62 años, 3.64 y 11.7 días, respectivamente.

El  $^{226}\text{Ra}$ , precursor del  $^{222}\text{Rn}$ , se encuentra en la corteza de la Tierra y en el suelo en cantidades alrededor de 40 Bq/kg. Las cantidades más altas se alcanzan en los granitos, excediendo a las calizas y areniscas en una proporción de 3 a 1. El radio puede estar en el agua en forma de cloruros o de otros componentes solubles. Los valores que se han encontrado para aguas dulces superficiales como lagos y ríos se sitúan entre 0.5 y 50 Bq/m<sup>3</sup>, mientras que las aguas subterráneas generalmente suelen presentar mayores concentraciones. Por el contrario, los contenidos del agua del mar son muy bajos, situándose próximos a 4 Bq/m<sup>3</sup>.

El radón puede provenir del  $^{226}\text{Ra}$  que se encuentra en el agua, denominado radón sostenible, o bien de los granos de los minerales del acuífero, conocido como radón insostenible. Habitualmente el  $^{226}\text{Ra}$  está en pequeña cantidad en las aguas subterráneas por lo que las concentraciones del radón sostenible son prácticamente insignificantes; por tanto, la principal fuente suele ser la roca o el suelo. Para pasar al agua el radón debe alcanzar los poros, capilares o fracturas por donde circula el agua y de esta forma ser disuelto y transportado por ella. Los procesos en los que el  $^{222}\text{Rn}$  entra en el agua son ampliamente descritos por Tanner (1980). Los contenidos de radón en las aguas

TIPO DE ROCA	$^{238}\text{U}$		$^{232}\text{Th}$	
	ppm	Bq/kg	ppm	Bq/kg
Basaltos	0.5-1	7-10	3-4	10-15
Granitos	3	40	17	70
Pizarras, Arenas	3.7	40	12	50
Rocas Carbonáticas	2	25	2	8
Corteza continental	2.8	36	10.7	44
Suelo	1.8	66	9	37

Tabla 27. Concentraciones de  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$  en rocas y suelo (tomado de Wilkening, 1990).

subterráneas están en relación con la composición y tipo de roca, pero es muy importante reseñar que incluso para un mismo tipo de roca acuífera las variaciones pueden ser significativas. La tabla 28 recoge los valores típicos que en líneas generales presentan las rocas de posibles reservorios.

En mayo de 1993 se realizó un muestreo para la determinación del contenido de  $^{222}\text{Rn}$  y  $^{226}\text{Ra}$ . En total se tomaron cuatro muestras. Para el muestreo se utilizaron recipientes de vidrio de 700 ml de capacidad con tapón hermético; se adoptó la precaución de llenarlas bajo el agua para evitar las burbujas de aire. A cada muestra se le

introdujo un detector de radiación denominado *Nuclear Track Etch Detector*. Éste estaba ubicado en una pequeña cajita aislada del agua por una membrana especial permeable al radón.

Como se puede observar, las muestras registran valores de  $^{222}\text{Rn}$  comprendidos entre 0.9 y 3.2 Bq/l, mientras que el  $^{226}\text{Ra}$  se encuentra entre 0.0058 y 0.0275 Bq/l respectivamente (tabla 29). Los contenidos en radón y radio se sitúan dentro del intervalo que ofrecen las rocas sedimentarias.

En general, los valores encontrados entre sectores son similares, lo que indica cierta homogeneidad, característica típica de acuíferos sedimentarios relativamente homogéneos con un poder de emanación de  $^{222}\text{Rn}$  uniforme. No parece haber ningún tipo de correlación del contenido del  $^{222}\text{Rn}$  con otros parámetros como temperatura, profundidad del pozo, piezometría o caudal. Por ello, es muy probable que el origen del radón haya que buscarlo en la propia formación rocosa. Además, el nivel piezométrico se encuentra a profundidades lo suficientemente grandes, para que el tiempo necesario del agua en alcanzar el manto sea superior a la vida media del radón.

ROCAS	$^{222}\text{Rn}$ (Bq/l)
graníticas	100-800
metamórficas	26-500
sedimentarias	0.5-24

Tabla 28. Intervalo de los contenidos en  $\text{Rn}^{222}$  de los posibles tipos de rocas acuíferas (según Smith, 1988).

MUESTRA	$^{222}\text{Rn}$ Bq/l	Error (%)	$^{226}\text{Ra}$ Bq/l	Error (%)
nº 50	1.3	15	0.0275	22
nº 2	2.3	15	0.0260	22
nº 6	0.9	15	0.0087	33
nº 10	3.2	15	0.0130	28
nº 55	1.2	15	0.0058	38

Tabla 29. Concentraciones de radón y radio del en el muestreo realizado en junio de 1993.

## 5.10. FACTORES QUE CONTROLAN LA HIDROGEOQUÍMICA

En función de los diferentes resultados obtenidos a partir de las determinaciones químicas e isotópicas se puede establecer que las características hidrogeoquímicas de este acuífero parecen estar determinadas por la acción conjunta de varios factores:

- factor litológico. Caracterizado por el contacto del agua con las distintas litologías que se interrelacionan en este acuífero. Inicialmente la solubilidad de las diferentes litologías condiciona su influencia en el quimismo.
- factor estructural. Este factor condiciona la proximidad-distalidad de los materiales evaporíticos, así como la red de fracturas y vías de circulación de las aguas.
- factor hidrodinámico. Caracterizado por la intensidad de las extracciones y las pérdidas de nivel piezométrico que originan, ya que va a alterar y modificar las direcciones y sentidos de flujo natural.
- factor climático. Aunque durante el periodo de seguimiento no ha habido grandes contrastes entre periodos húmedos y secos que produzcan fuertes diferencias en la recarga, sí se ha podido constatar cómo algunos puntos han presentado cierto comportamiento estacional en sus variaciones hidroquímicas.

La combinación de estos cuatro factores causa alteraciones en los parámetros hidroquímicos que origina diferentes características en cada uno de los sectores del acuífero. El control estructural parece constituirse como el más determinante. La estructura que presenta el sistema da origen a la existencia de distintos flujos de agua en la que los tiempos de residencia puedan ser más elevados, con lo que se facilita el contacto agua-roca. Además, este factor favorece los procesos de disolución de sales evaporíticas que pueden encontrarse en algunas partes del substrato o en las barreras laterales, de forma que se incrementan las cantidades de cloruros y sulfatos disueltas en el agua.

## 5.11. CALIDAD DEL AGUA

Para saber la calidad que presenta un agua es necesario conocer el uso que se le va a dar. Las aguas del Acuífero de Crevillente se destinan principalmente a regadío y, en menor medida, a abastecimiento urbano. En este apartado se pretende comentar algunos aspectos que muestran la calidad que presentan estas aguas para cubrir los usos a los que se destinan.

- *Consumo humano.* Atendiendo a la reglamentación técnico-sanitaria de abastecimiento

y control de la calidad de las aguas potables de consumo público (B.O.E. nº 226, 1991), el acuífero presenta aguas de diferente calidad. Por un lado se encuentran las del sector Rollo-Algayat que, en general, cumplen la normativa vigente, encontrándose todos los parámetros por debajo de las concentraciones máximas admisibles. Únicamente el sondeo nº 25 muestra contenidos de sodio superiores a 150 mg/l. Algunos parámetros como el calcio, magnesio, potasio y nitratos se encuentran en concentraciones inferiores a las estipuladas en los orientadores de calidad.

En cuanto a las aguas del sector occidental, los sondeos de la Galería presentan un residuo seco por encima de la concentración máxima legislada, sobrepasándose ampliamente en los parámetros sulfato, sodio, y, en menor medida, magnesio. Por su parte, el nº 40 se sobrepasa en sodio y en sulfatos.

Más variadas son las aguas de la parte oriental, ya que coexisten extracciones con elevados contenidos salinos que superan las concentraciones máximas legisladas (nº 9 y 20), con otras de calidad más aceptable, ya que tan sólo sobrepasan ligeramente alguno de los parámetros (nº 14, 15 y 38).

De todas formas, las aguas destinadas al abastecimiento son sometidas a tratamientos de mejora de calidad y potabilización. Por ejemplo, la localidad de Hondón de los Frailes posee una planta desaladora con un sistema de ósmosis inversa que mejora las aguas procedentes del nº 40, así como la dotación que recibe de la Galería.

- *Uso agrícola.* Existen diversos parámetros y normas que clasifican las aguas para su uso agrícola. Todos ellos tienen cierta utilidad aunque ninguno llega a ser completamente satisfactorio, debido en gran parte a las condiciones de utilización y a la gran variabilidad de las condiciones de campo. La tabla 30 recoge algunos índices de segundo grado obtenidos a partir de los parámetros analizados que dan una idea de las características de las aguas para riego.

Muestra	SAR	SARa	CSR	Dureza	k
nº 47	7.2	16.7	-9.6	65°F	3
nº 46	6.4	14	-8.4	59°F	4
nº 55	3.1	6.8	-3.1	34°F	4
nº 25	3.6	8	-2.7	31°F	4
nº 28	2.2	4.8	-1.8	28°F	14
nº 10	7.3	16.2	-7.1	53°F	9
nº 9	9.7	22.3	-10.7	69°F	4
nº 6	5.7	12	-5.7	46°F	10
nº 38	4	8.9	-3.8	37°F	6
nº 15	5.9	13	-3	35°F	4

Tabla 30. Valores de SAR: relación de adsorción de sodio; SARa relación de adsorción de sodio ajustado; CSR: carbonato sódico residual; Dureza en grados franceses; k: índice de Scott en marzo de 1994.

En función del cálculo de la



relación de adsorción de sodio (SAR) las aguas de este acuífero no superan valores mayores de 10, por lo que en principio no son excesivamente alcalinizantes.

La relación de adsorción de sodio ajustado (SARa) que tiene en cuenta las interacciones entre los constituyentes del agua de riego y las fases sólidas y líquidas del suelo, muestra cómo la mayor parte de los puntos seleccionados alcanza valores comprendidos entre 8 y 16, lo que significa que tienen una calidad media respecto a este índice. A las aguas con valores por encima de 16, como las extraídas de la Galería, se les asigna una baja calidad.

El índice de Scott (k) es otro coeficiente alcalimétrico. Indica que la mayor parte de las aguas son mediocres. Tan sólo algunas, como las procedentes del nº 28 o nº 6 se consideran como tolerables.

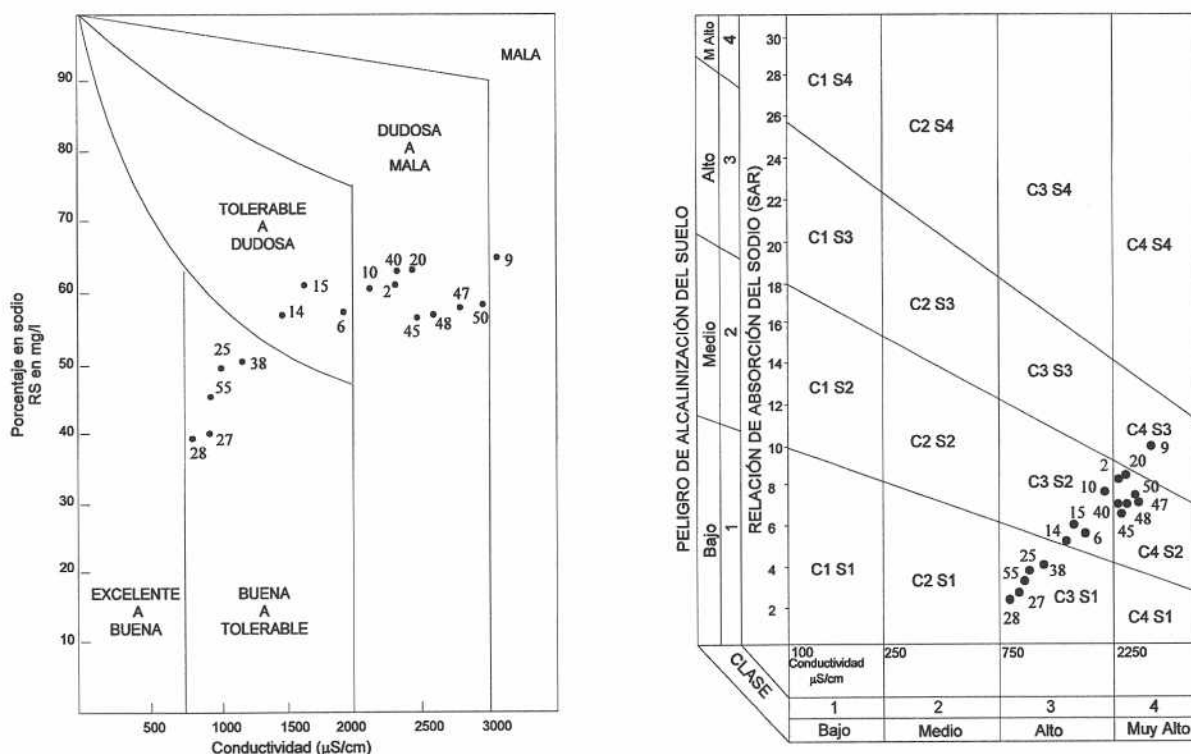


Figura 88. Caracterización de la calidad del agua del Acuífero de Crevillente para riego del muestreo de marzo de 1994 en los diagramas de las normas de Wilcox (a) y de Riverside (b).

En cuanto a la dureza, la totalidad de las muestras presentan valores por encima de 32° franceses, por lo que se clasifican como aguas duras, siendo muy duras las que rebasan los 54°F (Cánovas, 1980 *in* Gómez *et al.*, 1993). También son las aguas de la Galería y de algunos puntos del Barranco del Tolomó las que mayor dureza muestran.



El carbonato sódico residual (CSR) es otro índice que sirve para cuantificar la acción degradante del agua, a partir de los carbonatos y bicarbonatos existentes en disolución. Los valores encontrados indican que atendiendo a este parámetro son aguas de buena calidad (Cánovas, 1980 y Cerdá, 1980 *in* Gomez *et al.*, 1993).

La utilización de normas combinadas muestra de forma más ilustrativa la calidad agronómica. La figura 88 recoge los diagramas de Wilcox y de Riverside. En éstos se representa la conductividad frente al SAR y el porcentaje de sodio. Las aguas de mejor calidad se encuentran en el sector Rollo-Algayat, mientras que las peores corresponden a algunos puntos de la parte oriental, así como en los ubicados en el interior de la Galería. La clasificación de Riverside indica una mayor potencialidad de salinización frente a la alcalinización, por lo que el uso de estas aguas debería efectuarse en suelos con buen drenaje, regándolos abundantemente para evitar la acumulación de sales. En aquellas aguas con peligro de alcalinización una fertilización orgánica reduce el riesgo de sodicidad.

## 6. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

### 6.1. FUNCIONAMIENTO EN RÉGIMEN NATURAL

A pesar de los numerosos estudios hidrogeológicos que se han realizado sobre este sistema acuífero, la mayor parte de los mismos se basa principalmente en el fenómeno de la sobreexplotación, por lo que no son muchos los que abarcan la cuestión de cómo fue el régimen natural de funcionamiento del acuífero. No obstante, ya desde los primeros trabajos hidrogeológicos realizados en estos parajes por Dupuy de Lôme y Novo (1917), se cita que el desagüe natural de todo el macizo enclavado en la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes se producía hacia la Vega de Aspe, debido a que era en esta parte donde estaban los manantiales y pozos de los que se surtía por entonces toda la comarca. En este mismo sentido también han ido los trabajos más recientes (Pulido-Bosch Fernández Rubio, 1980; Murcia y Mira, 1981; Mas, 1984), cuya idea más extendida ha sido la transferencia de agua oculta desde los materiales carbonáticos del acuífero jurásico al acuífero detrítico de la Vega de Aspe.

En principio parece claro que el sistema presentaba una salida que regulaba bastante bien el nivel piezométrico del sistema, ya que la compañía Riegos de la Salud controló durante cuatro años la evolución de la piezometría previamente a la realización de la Galería, llegando a la conclusión que permanecían "invariables en el tiempo", si bien, la propia compañía desconocía exactamente el lugar por donde se producían tales descargas. Se discute a continuación, algunos de los posibles lugares por donde pudo drenar este sistema acuífero.

- Vertientes orientales de los relieves de la Ofra y del Rollo. Pulido-Bosch y Fernández Rubio (1980) realizan una reconstrucción hipotética del sistema en la que se indica que las surgencias debieron estar situadas en los puntos más bajos topográficamente, por lo que sitúan el principal punto de descarga en el sector de la Ofra, previa alimentación de los materiales carbonáticos al cuaternario detrítico (cota del orden de 300 m s.n.m.). Además, exponen la posibilidad de surgencias de menor caudal, que también contribuirían al drenaje de la unidad, por la extremidad oriental de la Sierra del Rollo.

Concordando con la hipótesis del drenaje de las calizas sobre el detrítico se encuentran las siguientes citas históricas:

Cavanilles (1795-97) refiriéndose a los materiales sobre los que se asienta la localidad de Aspe "*... y por eso se componen de capas gredosas que alternan con otras de guijo y cantitos rodados. Estos sirven de filtro á las aguas que desde los montes baxan ocultas hasta muy cerca de la villa, y se manifiestan á medio quarto de distancia por varios manantiales, unos á la superficie de la tierra y otros á poca profundidad: son puras y excelentes, pero en corta cantidad respecto al número de campos capaces de riego, por lo qual se distribuyen con economía, y se recogen con el mayor cuidado, conduciéndolas á las huertas por tres canales que empiezan en diferentes partes del barranco*"

Madoz (1842-50) en su descripción geográfica del municipio de Aspe recoge el siguiente fragmento "*Cruza por el térm. de O á N hácia los confines del de Elche, 1 arroyo llamado Tarafa, el cual nace á 1/4 de hora dist. de la v. y sus aguas, con las de varias fuentes que brotan no lejos de la pobl., dan movimiento á 6 molinos harineros, riego á varios trozos de tierra, y proporcionan barbos, anguilas y madrillas para regalo del vecindario*"

Figueras (1916) refiriéndose al Río Vinalopó narra "*...deja á la derecha el pueblo de Aspe, y recibe las aguas del Tarafa, importante afluente que según los aforos practicados durante cuatro años por el ingeniero Sr. Lafarga, lleva un caudal medio de 650 litros por segundo en el estiaje. Este caudal, que solo representa los sobrantes del Tarafa después de haber regado la vega de Aspe, era recogido en un estrechamiento del valle, á cuatro kilómetros de Elche, por la presa del pantano de esta ciudad (hoy inútil),...*"

También Llauradó (1884) menciona un aforo practicado por la *División Hidrológica de Valencia* durante el estiaje de 1870 en el término de Aspe, 50 m aguas abajo del Molino de Semarra, en donde el caudal medido fue de 592 l/s. Este autor explica el incremento de caudal que experimenta el Río Vinalopó después de la población de Sax a causa de los aportes procedentes del Barranco de la Romana.

Como se puede apreciar, el análisis de las anteriores referencias históricas hace sospechar que fuese el Río Tarafa la vía de descarga del Acuífero de Crevillente. El agua, una vez que pasase a los terrenos cuaternarios, discurriría por el acuífero detrítico hasta alcanzar el cauce del Río Tarafa, donde cortarían la superficie, originando algunos manantiales y alimentando el río.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta algunos aspectos hidrogeológicos:

El hecho de que el Río Tarafa aportase grandes cantidades de agua, no necesariamente implica que el agua fuese suministrada por el relieve jurásico, puesto que el valle por donde discurre el Tarafa está en contacto con otros acuíferos prebéticos, que bien pudieran ser el origen de los caudales del mismo.

La revisión cartográfica efectuada durante el presente estudio ha constatado la presencia de margas a lo largo de todo el borde de las sierras de la Ofra y del Rollo, por lo que de existir una transferencia debería producirse en forma de rebosadero, del cual no existen evidencias. Únicamente parece viable la transferencia oculta si se produjese vía Barranco del Tolomó, puesto que se han constatado potencias de relleno que llegan a sobrepasar el centenar de metros. En este sentido, el paso del agua desde el acuífero carbonático al detrítico puede que estuviera dentro del mismo Barranco del Tolomó, el cual haría de medio de transferencia hasta alcanzar la Vega de Aspe. Esta hipótesis explicaría que los sondeos realizados entre los años cincuenta-sesenta por el *Instituto Nacional de Colonización* y emplazados en materiales detríticos cercanos al Barranco del Tolomó presentaran caudales elevados, impropios de un límite impermeable.

-Vertiente meridional de la Sierra de Crevillente. Esta parte del sistema está perfectamente confinada por los terrenos triásicos, compuestos por arcillas y yesos de características totalmente impermeables. No obstante, en ella existen una serie de galerías que surtían agua tanto para el abastecimiento de la población de Crevillente como para regadío. La galería más importante denominada Font Antiga (nº 87), también conocida como Font del Poble, fue visitada por Cavanilles (1795-97) quien quedó impresionado. En su obra realiza una detallada descripción de su visita, la cual recojo íntegramente dada la información que de ella se puede obtener para posteriores interpretaciones: "*Desde la población empieza un canal sólido de mampostería que sigue media hora hasta encontrar la boca de la mina, atravesando ántes un barranco sobre un grande arco; la mina se prolonga por lo interior del monte 5984 palmos hasta el depósito natural de agua dulce; y á los 5128 se ve la confluencia de otro canal de 392 palmos que conduce á un segundo depósito ménos abundante. Tiene la mina tres palmos de ancho, con ocho y medio de altura desde la boca hasta la confluencia; paredes y techo de mampostería, donde no se halló bastante sólido el terreno excavado; y dos sendas angostas, entre las cuales media*

*el canal de las aguas. Desde la confluencia hasta los depósitos el techo es mas alto, en partes de 24 palmos, excavado en peñas negruzcas muy duras, sobre las cuales carga una parte del monte: es menor la carga á medida que se camina desde la confluencia hácia la boca, en cuyo trecho los pozos ó respiraderos disminuyen de profundidad, siendo la mayor de 15 varas, y la menor de quatro. Las 500 varas que hay entre la confluencia y la escalera para baxar á la mina son enteramente de yeso negro sumamente dura, en partes cristalizado: las restantes hasta la boca se excaváron en un terreno compuesto de cantitos rodados engastados en marga con tal qual peña. Hay en este trecho 14 respiraderos ó pozos, y 15 en el resto de la mina. Baxé á esta por la escalera dispuesta en caracol, y ayudado de luz artificial registré aquel sitio tenebroso: admiraba la perfección y solidez de la obra, caminando por un canal donde habia pie y medio de agua: seguí andando contra su corriente como 200 pasos, y experimenté un calor bastante fuerte producido por el agua: allí empecé a ver murciélagos, cuyo número aumentó sobremanera en la confluencia de los canales: tomé el de la derecha por donde venia el agua caliente, y continué hasta el manantial que está en la hendedura de las peñas: su gusto es grato, y el calor moderado; pero concentrado en aquella caverna excita sudores copiosos. A esta incomodidad se añade la de tantos murciélagos, que poco acostumbrados á semejantes visitas tropiezan con el curioso, y caen por todas partes: ellos y sus excremento producen un olor fétido y desagradable. Retrocedí hasta la confluencia para subir por el canal de la izquierda, y llegado á su término ví una balsa de agua fresca y cristalina de unos 20 palmos de diámetro, cuyo fondo en las orillas es de 9, y 14 en el centro."*

Posteriormente Dupuy de Lôme y Novo (1917) realizan algunas precisiones bastante interesantes sobre los materiales que atraviesan dos de esas galerías, entre ellas la de la Font Antiga, la cual con una dirección NE y una longitud de 800 m atraviesa primeramente materiales miocenos, cruzando después un gran espesor de yesos y penetrando finalmente en unas calizas compactas y magnesianas que atribuyen al Triásico, llenas de grietas en las que aparecen los nacimientos. Comentan que el caudal que aporta esta galería es muy constante y se evalúa en 54 l/s; este caudal sería aportado íntegramente por las calizas ya que los terrenos miocenos a pesar de incluir capas que presentan alta permeabilidad, no aportaban agua.

También hacen referencia a otra galería llamada Mina de la Cata (nº 89) y situada a 3 km al NE de Crevillente, la cual tras atravesar los 1200 primeros metros en terrenos miocenos improductivos, entraba en un tramo de 400 m de yesos, para finalmente, alcanzar un conjunto de calizas grises compactas, en algunos puntos casi litográficas y en otros más bastas, con frecuentes núcleos de pedernal. A estos mismos autores les llama la atención el fuerte parecido de estas calizas con las calizas jurásicas de la Sierra de Crevillente, Rollo y Solana. Igual que en la Font Antiga, es en estos materiales donde existían dos nacimientos que en otros tiempos aportaban un caudal de 96 l/s, pero que por



entonces éste no superaba los 40 l/s, habiéndose apreciado que el nacimiento superior era el que había perdido caudal.

A poca distancia de la boca de esta segunda galería se abre una tercera en análogas condiciones, pero más oblicua respecto al macizo de la sierra y con escasísimo caudal de agua.

De los datos bibliográficos se deduce que el Acuífero de Crevillente fue captado por la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente. Las calizas y dolomías descritas por Dupuy de Lôme y Novo (1917) y asignadas al triásico formaban parte en realidad del Acuífero de Crevillente, ya que de no tener conexión con el acuífero principal se hubieran agotado al poco tiempo de ser cortadas, puesto que los carbonatos triásicos presentan reducidas dimensiones. En este sentido Cavanilles (*op. cit.*) describe que con el afán por obtener agua de los montes la gente de Crevillente excavaba túneles de los cuales brotaban manantiales copiosos al descubrirse, pero que se empobrecían en poco tiempo. Sin embargo, este no fue el caso de la Font Antiga que permaneció aportando agua durante siglos.

Se desconoce con exactitud desde cuando se realizó esta captación, aunque todo parece indicar que la Font Antiga representa un ejemplo de la difusión de la tecnología de los qanats en Al-Andalus. Su técnica de construcción recuerda a la galería de conducción de Medina-az-Zahra y existe una breve noticia sobre la calidad de la tierra con abundancia de irrigación de Crevillente en Al-Himyari (siglos VII/XIII) (Glick, 1970; Gonzálvez, 1977; Barceló *et al.*, 1985).

De la lectura de Cavanilles podría interpretarse que hasta finales del siglo XVIII fuese la Font Antiga la única que captó el Acuífero de Crevillente, y fue durante ese siglo cuando se reemprendieron las tareas de buscar mayor cantidad de agua y comenzaron a realizar más excavaciones, por lo que la Mina de la Cata podría deberse a un periodo más tardío.

En definitiva, estos son en mi opinión los dos puntos posibles de descarga, puesto que otros límites de los que se podría sospechar, como el límite occidental por Barbarroja o la Rambla de Cutillas en la terminación occidental de la Sierra de Algayat, se encuentran a cotas topográficas más elevadas y se sabe de la existencia de materiales triásicos a no demasiada profundidad, por lo que su posible conexión queda a cotas que la superficie piezométrica no parece haber alcanzado jamás.

Utilizando únicamente los datos de Dupuy de Lôme y Novo (1917) se puede establecer que la descarga del acuífero por la vertiente meridional estaba comprendida entre 3 y 5 hm<sup>3</sup>/año, pudiéndose sobrepasar esos caudales con las salidas del Barranco del

Tolomó y sectores adyacentes.

## 6.2. FUNCIONAMIENTO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO

Considerando las captaciones de siglos anteriores de la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente como "surgencias naturales del sistema", se puede decir que el comienzo de la explotación antrópica del Acuífero de Crevillente viene marcado con la finalización de la Galería de los Suizos en 1963. Muy probablemente con la apertura de esta galería las antiguas captaciones debieron quedar secas.

La figura 89 muestra la evolución que han seguido los bombeos desde el inicio de la explotación hasta la actualidad. Durante el periodo 1963-68 las extracciones medias que se produjeron en la Galería de los Suizos fueron  $4.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ . A partir de 1969, se tienen datos de la explotación del sistema en ambos sectores, lo que se refleja por el fuerte incremento de extracciones pasando a superar los  $12 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Los bombeos en el acuífero aumentan año tras año hasta llegar a superar los  $31 \text{ hm}^3$  en 1978. Tras unos años en los que se mantienen próximos a los  $30 \text{ hm}^3/\text{año}$ , se reducen a partir de 1982; es la época en que empiezan a presentarse los primeros problemas de reducción de caudal al S de Hondón de las Nieves y de incremento de salinidad en el Barranco del Tolomó, aunque la máxima reducción se produjo en 1988 en el que tan sólo se bombearon  $6.8 \text{ hm}^3$  entre los tres sectores. La causa de este descenso de las extracciones es la cantidad de precipitación que se produce en el área. Tras el periodo de lluvias comienza un nuevo periodo de sequía, por lo que los bombeos nuevamente comienzan a aumentar, llegando a sobrepasar los  $15 \text{ hm}^3/\text{año}$  en los años 1992 y 1993 y alcanzando los  $19 \text{ hm}^3$  en 1994.

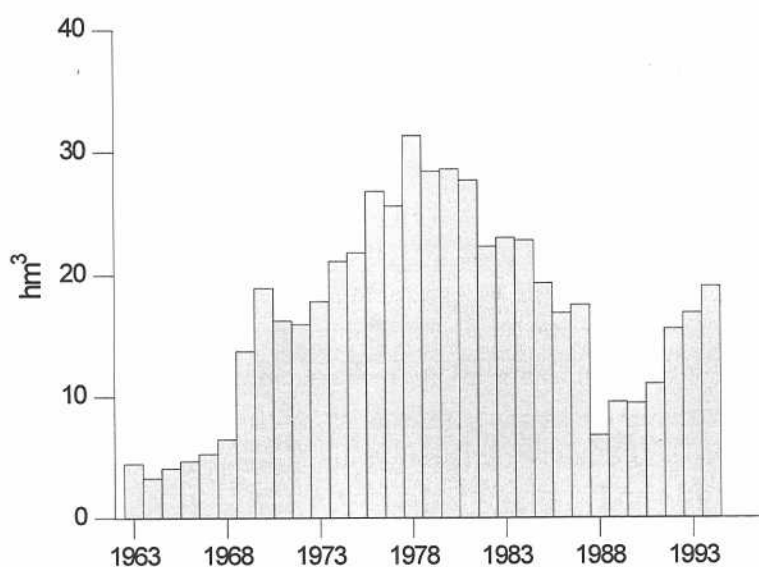


Figura 89. Extracciones del Acuífero de Crevillente desde el inicio de la explotación.



En cuanto a la distribución de los bombeos, los mayores se produjeron en el sector occidental llegándose a superar los 18 hm<sup>3</sup> en 1980, mientras que en el sector oriental presentó su máximo en 1979 con 13.5 hm<sup>3</sup>. En el sector Rollo-Algayat comenzó la explotación en 1979, pero es a partir de 1992 cuando se explota de forma más intensa.

## 7. COMPONENTES DEL BALANCE

Las componentes que intervienen en los balances de los sistemas acuíferos son: las entradas, salidas y la variación de las reservas. Su relación queda definida por la ecuación

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN DE LAS RESERVAS}$$

siempre para un periodo de tiempo definido.

### 7.1. SALIDAS

Las salidas se realizan únicamente por los bombeos de los tres sectores de explotación, ya que las posibles surgencias relacionadas con este sistema han quedado secas. La repartición de las mismas durante el periodo 1989-94 queda recogida en la tabla 31. Debido al uso predominante del agua en la agricultura, las extracciones ofrecen cierta variabilidad entre los años, ya que dependen en gran medida de las condiciones climáticas que se produzcan. De cualquier forma, los bombeos medios para el conjunto del Acuífero de Crevillente se reparten entre 6.2 hm<sup>3</sup>/año en el sector occidental, 5.3 hm<sup>3</sup>/año en el sector oriental y 2 hm<sup>3</sup>/año en los sondeos ubicados en Rollo-Algayat, lo que supone una extracciones medias para el total del acuífero de 13.5 hm<sup>3</sup>/año.

	Oriental	Occidental	Septentrional	Acuífero
1989	4	3.9	1.6	9.5
1990	3.6	4.2	1.6	9.4
1991	5.1	4.2	1.7	11
1992	6.3	6.8	2.4	15.5
1993	5.8	8.7	2.3	16.8
1994	7.1	9.4	2.5	19
<b>Media</b>	<b>5.3</b>	<b>6.2</b>	<b>2</b>	<b>13.5</b>

Tabla 31. Extracciones, en hm<sup>3</sup>, realizadas en los distintos sectores del acuífero durante el periodo 1989-94.

En cuanto a la distribución mensual de los bombeos, éstos presentan un carácter estacional (figura 90), siendo durante la época estival cuando se extraen los mayores volúmenes. Julio es el mes en que se bombea más agua; sus cantidades medias para el periodo 1990-94 ascienden a 2.3 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone un 19% de total anual. Por el contrario, meses como noviembre, febrero y marzo no suelen superar los 0.6 hm<sup>3</sup>/año, por

lo que no sobrepasan el 4% del total anual. No obstante, mientras este carácter estacional está muy bien marcado en la parte oriental, las extracciones son más uniformes en el sector occidental y prácticamente constantes en Rollo-Algayat.

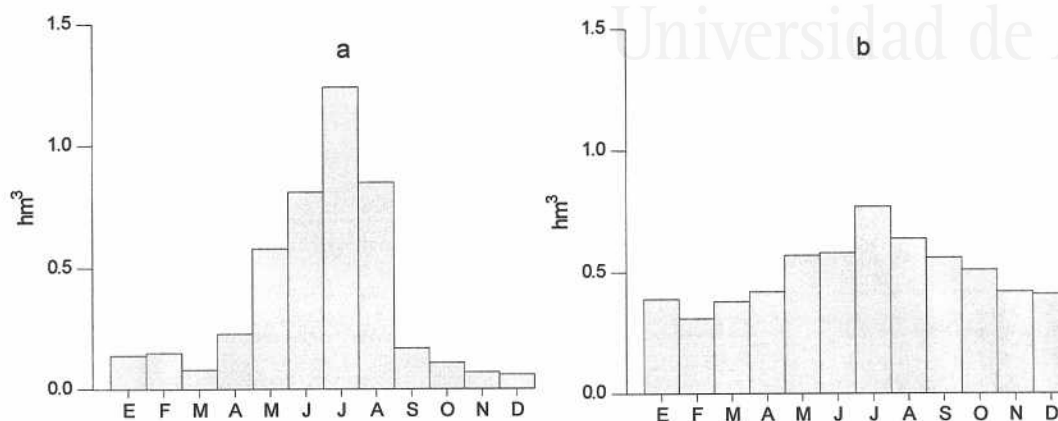


Figura. 90. Extracciones mensuales en los principales sectores de explotación; sector oriental (a); sector occidental (b).

## 7.2. ENTRADAS

Las entradas de agua en un acuífero son difíciles de cuantificar debido a la dificultad de controlar las diferentes variables que entran en juego y, sobre todo, por la gran incertidumbre que existe en la aplicación de los métodos empíricos para estimar la recarga procedente del agua de lluvia.

En el Acuífero de Crevillente las entradas dependen fundamentalmente de la recarga directa debida a la infiltración de la lluvia (infiltración eficaz o lluvia útil) que se produce sobre los materiales carbonáticos y, en menor medida, por la cesión de agua del detrítico que se superpone a los anteriores. Otros tipos de recarga como pueden ser la denominada precipitación oculta (nieblas, rocío, escarcha, condensación del vapor en cavidades,...) no han sido estimados dado que se carece de información y, como se apuntó en el capítulo II, son de escasa importancia en esta área. La estructuración del sistema no permite que existan transferencias ocultas laterales desde otros acuíferos. Tampoco se produce infiltración de aguas superficiales, ya que no existe ningún curso fluvial en el área.

### 7.2.1. Infiltración en los terrenos carbonáticos

La infiltración debe ser entendida como el proceso por el cual el agua atraviesa el suelo y continúa su viaje hasta alcanzar un nivel acuífero, de tal forma que es capaz de incrementar el volumen de agua almacenada. La imposibilidad de precisar cual es la influencia de las diferentes variables que entran en juego de forma directa en la capacidad

de infiltración, hace que se hayan desarrollado diversas metodologías para su cuantificación (Schoeller, 1962; Kessler, 1965; Kullman; 1965). Para intentar estimar el valor de la infiltración en los materiales carbonáticos que constituyen este acuífero he utilizado las metodologías de Kessler (1965) y Thornthwaite (1948).

#### *Método de Kessler*

La metodología de Kessler, desarrollada de forma empírica en materiales carbonáticos de Hungría y aplicada posteriormente en ésta y otras áreas mediterráneas (Burdon, 1965; López Vera y Saiz, 1976; Más, 1984; López Chicano, 1992), tiene en cuenta la distribución estacional de las precipitaciones, ya que el volumen anual de infiltración depende de la repartición de las lluvias a lo largo del año.

	Aspe	Hondon	Novelda	Romana	Pinoso
1963	37	50	45	42	49
1964	30	49	27	27	20
1965	38	35	35	34	48
1966	32	10	27	42	44
1967	58	71	53	56	63
1968	54	57	57	54	59
1969	56	42	42	36	46
1970	45	44	62	63	45
1971	59	47	34	41	46
1972	46	33	49	46	44
1973	35	58	56	53	63
1974	70	45	57	58	53
1975	37	50	37	37	44
1976	24	20	8	5	19
1977	30	22	24	32	42
1978	29	36	31	52	41
1979	30	31	34	29	27
1980	65	66	71	68	80
1981	48	55	55	45	51
1982	58	34	51	37	22
1983	26	29	37	24	44
1984	32	26	34	40	31
1985	46	45	41	34	43
1986	41	34	20	17	14
1987	37	24	37	31	26
1988	46	65	59	53	39
1989	52	41	34	54	39
1990	47	66	77	80	68
<b>Media</b>	<b>43</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>41</b>

**Tabla 32.** Infiltración en % respecto a la pluviometría total calculada por el método de Kessler (1965). Las series han sido reestructuradas en años naturales.

Los resultados obtenidos de la aplicación de este método para las estaciones más significativas del área de estudio están recogidos en la tabla 32. Se han obtenido valores que oscilan entre el 0% y 80%, lo que demuestra que el rango de variación de la infiltración entre distintos años es muy elevado. La explicación de tales variaciones se debe a la irregularidad de las lluvias de unos años a otros. Estas fuertes variaciones también han sido puestas de manifiesto en otros acuíferos kársticos (Kessler, 1965; López Chicano, 1992).

Respecto a los porcentajes de infiltración medios, utilizando las estaciones que podrían tener mayor influencia en el área que comprende el acuífero, se sitúan entre el 42 y 43% de la precipitación total. La estación de Albaterra, no incluida en la tabla debido al escaso número de años de registro, presenta valores en torno al 45% para el periodo 1985-90. Estas tasas de infiltración son similares a las encontradas por Mas (1984) en este mismo acuífero para el periodo 1956-74.

#### *Método de Thornthwaite*

El método de Thornthwaite a nivel diario, utilizado anteriormente para determinar los valores de ETR, permite también obtener la denominada lluvia útil. Ésta se define como la cantidad de precipitación que no retorna a la atmósfera por evapotranspiración, sino que es capaz de originar escorrentía superficial y/o subterránea (infiltración profunda).

La utilización de esta metodología presenta el problema anteriormente expuesto de la elección del valor de la reserva útil. Dado que se dispone de la información del comportamiento hidrodinámico del acuífero, he intentado establecer una correlación entre las posibles entradas al sistema con el comportamiento del nivel piezométrico utilizando diferentes valores de reserva útil.

Hay que tener en cuenta que este método calcula la lluvia útil, paso previo para estimar la infiltración. Son muchos los trabajos hidrogeológicos en los que se ha asumido que la totalidad de lluvia útil es infiltrada por los terrenos carbonáticos. Ello se debe a las elevadas tasas de infiltración que pueden presentar estas litologías. Así, diversos autores (*in* Custodio y Llamas, 1983) estiman valores de capacidad de infiltración entre 0 y 12.5 mm/hora. Pero, según las características climáticas de esta región, se pueden originar episodios lluviosos de gran intensidad capaces de superar la capacidad de infiltración. Así, se han recogido lluvias con intensidades comprendidas entre 58 y 140 mm/hora en el área mediterránea española (Custodio y Llamas, *op. cit.*). En áreas de características semiáridas de Almería se ha comprobado que las precipitaciones pueden sobrepasar los 50 mm/hora, siendo frecuentes intensidades de 10 a 50 mm/hora (Gollonet y Castillo, 1986). Cuando ocurre esto parte de la lluvia útil se traduce en escorrentía superficial; es por ello que

resulta imprescindible establecer la componente de escorrentía superficial que genera cada episodio lluvioso.

A partir de pruebas experimentales el *U. S. Soil Conservation Service* ha desarrollado una metodología que fija las leyes de transferencia precipitación-escorrentía (Témez, 1978). El método consiste en la aplicación de una fórmula sencilla en la que únicamente se necesita la precipitación y un parámetro denominado umbral de escorrentía ( $P_o$ ), el cual depende del tipo de suelo, vegetación, pendiente, etc.

$$\Sigma E = \frac{(\Sigma P - P_o)}{\Sigma P + 4P_o}$$

siendo:  $\Sigma P$ : lluvia acumulada desde el comienzo del aguacero hasta el instante considerado;  $\Sigma E$ : escorrentía provocada por  $\Sigma P$  o componente de lluvia neta de  $\Sigma P$ ;  $P_o$ : umbral de escorrentía

El procedimiento que he seguido para estimar los valores medios de infiltración, ha sido establecer la misma diferenciación de sectores que para el cálculo de la cantidad de precipitación que se produce sobre el acuífero; he distinguido las distintas litologías que la conforman, planimetrando su extensión y asignádoles la precipitación de la estación más representativa. He seleccionado el periodo 1985/86-1992/93 como periodo de trabajo, dado que tan sólo durante ese tiempo existen registros diarios de precipitación en todas las estaciones que pueden influir en la recarga del acuífero.

En esta metodología se incluye la corrección de la posible escorrentía superficial que origina cada episodio lluvioso. He seleccionado como umbral de escorrentía  $P_o = 40$  mm al tratarse de suelos en los que tan sólo existen arbustos y arboles diseminados, aunque comparo estos valores con  $P_o = 20$  mm, valor utilizado para materiales semejantes en la Sierra de Gardor por Martín Rosales (1997) con muy buenos resultados.

En definitiva, he realizado los balances diarios para distintos valores de reserva útil comprendidos entre 10 y 50 mm, y he extraído los volúmenes de escorrentía para los umbrales fijados. Los diferentes resultados se han comparado con las variaciones piezométricas y las extracciones, seleccionando aquella que mejor explique el comportamiento hidrodinámico. Los mejores ajustes se adquieren con una reserva útil de 20 mm (figura 91), a pesar de que las diferencias encontradas entre los dos umbrales de escorrentía, parece que el valor de  $P_o$  de 40 mm es el que más se aproxima al comportamiento piezométrico, aunque he preferido utilizar ambos resultados y dar un intervalo a dar un solo valor.

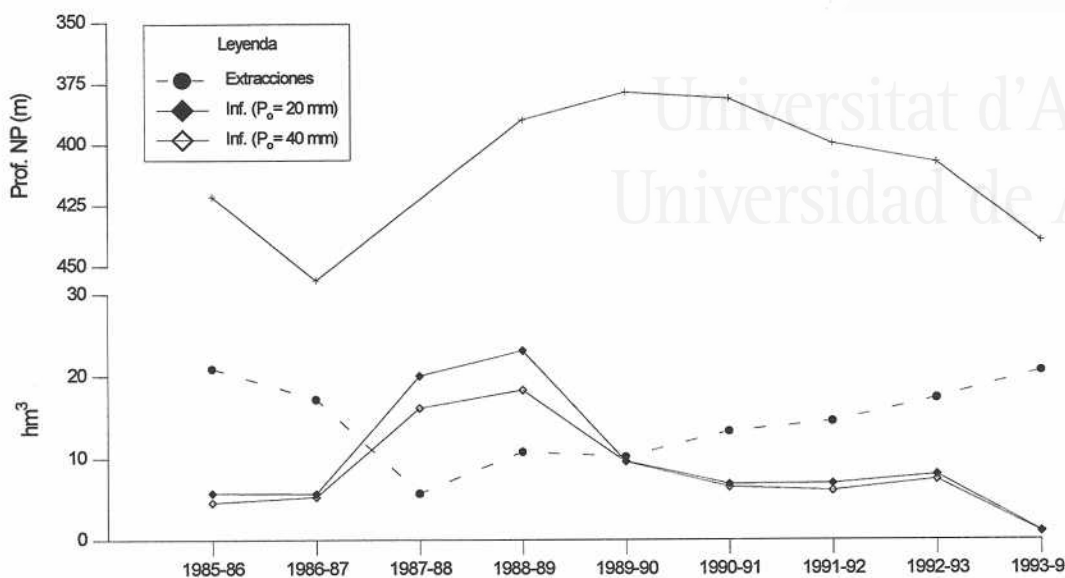


Figura 91. Estimación de la infiltración mediante el método de Thornthwaite.

El inconveniente que presenta esta metodología es que compara la respuesta que presenta el sistema frente a posibles entradas desde otros materiales diferentes a los carbonáticos. Sin embargo, como se verá más adelante en este acuífero, el volumen que recibe, externo a los materiales carbonáticos, se puede estimar, por lo que el error cometido se reduce. La corrección se ha realizado sustrayendo a cada año 1 hm<sup>3</sup>, que como se verá más adelante, es el volumen máximo que puede aportar el detrítico al acuífero kárstico.

	Reclot		Algayat		Hondones		Crevillente		ACUÍFERO	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1985-86	2.2	2.5	1.1	1.3	1.1	1.4	1.1	1.5	4.5	5.7
1986-87	1.6	1.6	1.7	1.7	1.4	1.5	1	1.2	4.7	5.1
1987-88	7.1	8.3	4.1	5.1	4.6	5.6	2.4	3.2	17.4	21.2
1988-89	8.1	9.9	3.2	4	4.3	5.1	4.5	5.9	19.2	24
1989-90	3.4	3.4	2.7	2.7	2	2	2.4	2.5	9.5	9.5
1990-91	2.3	2.3	0.9	0.9	1.7	1.8	2.4	2.6	6.3	6.6
1991-92	2.5	2.7	1	1	1.6	1.7	1.6	2	5.7	5.5
1992-93	3.6	3.8	1.2	1.2	1.8	1.9	1.5	1.8	7.1	7.7
1993-94	0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.4	0.4	0.8	0.8
<b>Media</b>									<b>8.3</b>	<b>9.7</b>

Tabla 33. Estimación de las cantidades de agua infiltrada en los afloramientos de rocas carbonáticas. A los volúmenes anuales se les ha sustraído 1 hm<sup>3</sup> como corrección del aporte del detrítico; columna a: P<sub>0</sub>=20; columna b: P<sub>0</sub>=40 mm



Dependiendo de las características pluviométricas del año, las cantidades de agua infiltradas presentan grandes oscilaciones (tabla 33). Así, los años húmedos pueden generar una infiltración muy elevada, tal es el caso de 1988-89 que alcanza 24 hm<sup>3</sup>, mientras que los años secos apenas presentan infiltración; 1992-93 es un claro ejemplo; las estimaciones indican que no se alcanzó 1 hm<sup>3</sup>.

Los coeficientes de infiltración media encontrados varían entre 34 y 44% para un umbral de escorrentía de 40 mm, y de 30 a 39% si se toma 20 mm. Estos valores son ligeramente inferiores a los calculados mediante el método de Kessler, y algo más al intervalo de 40-60% estimados por otros autores para este tipo de materiales en el área mediterránea (López Vera y Saiz, 1976). Sin embargo, son bastante coincidentes a los valores encontrados por Pulido-Bosch (1979) en acuíferos de similares características al N de la provincia de Alicante.

En cuanto a la distribución de la infiltración durante el año, se produce mayoritariamente entre los meses de octubre y marzo; durante este periodo se filtra el 60-75% del total anual. En el resto del año las cantidades de agua disponible son más escasas, lo que se traduce en una alimentación mucho más reducida.

### **7.2.2. Infiltración cedida por los materiales detríticos**

Los materiales detríticos que se encuentran fundamentalmente en la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes pueden actuar como un acuífero superpuesto al de Crevillente, tal y como atestiguan algunas pequeñas captaciones. Sin embargo, los sondeos realizados en la parte occidental, así como la prospección geofísica efectuada por CGEGESA (1963), evidencian que, al menos en el sector próximo a Hondón de los Frailes, se superponen directamente a los terrenos carbonáticos, por lo que en definitiva, se puede asumir que gran parte del detrítico termina por ceder su agua al Acuífero de Crevillente.

En la depresión de Algueña-La Romana y al W de Hondón de las Nieves bajo el escaso relleno detrítico existen margas y margocalizas cretácicas que impiden la cesión de agua al Acuífero de Crevillente.

La precipitación media en la depresión de los Hondones es de 290 mm/año, lo que equivale a una lluvia útil de 13 mm/año. Esto significa que los 45 km<sup>2</sup> de extensión de estos materiales reciben un volumen medio procedente de la precipitación de 0.6 hm<sup>3</sup>/año. Para completar el conjunto de entradas en este detrítico hay que tener en cuenta que sobre él se desarrollan actividades agrarias. En los últimos años el valor medio destinado al riego de este área se puede estimar en 3 hm<sup>3</sup>/año.

Los volúmenes originados por los retornos de riego suelen considerarse comprendidos entre el 20% y el 30% para riegos por inundación (Margat, 1969; Pulido-Bosch, 1979) porcentajes que sitúan las entradas medias por esta causa entre 0.6 y 0.9  $\text{hm}^3/\text{año}$ . He considerado más representativo el valor de 0.6  $\text{hm}^3/\text{año}$ , puesto que las concentraciones de nitratos en las aguas del acuífero son bajas. En definitiva, el acuífero detrítico recibe unas entradas medias de 1.2  $\text{hm}^3/\text{año}$ . Aunque se desconocen las extracciones que se realizan, es muy posible que la cesión de este detrítico esté en torno a 1  $\text{hm}^3/\text{año}$ .

### 7.2.3. Recarga

En definitiva, la recarga del sistema se produce principalmente por los afloramientos carbonáticos, ya que con una extensión de 74  $\text{km}^2$  reciben las mayores cantidades de agua. Las entradas medias totales que recibe el sistema de Crevillente se pueden situar entre 9 y 11  $\text{hm}^3/\text{año}$ , valores semejantes a los estimados por Navarro y Trigueros (1966) y Pulido-Bosch y Fernández Rubio (1980). No obstante, las fuertes variaciones de precipitación que sufre la región deben prevenirnos sobre la poca significación que puede llegar tener este valor a la hora de realizar la gestión del acuífero.

## 8. AJUSTE DEL BALANCE Y ESTADO DEL ACUÍFERO

Atendiendo al periodo desde que se inició la explotación del sistema hasta la actualidad, las salidas medias del acuífero están próximas a 17  $\text{hm}^3/\text{año}$ , mientras que las entradas estimadas se sitúan entre 9 y 11  $\text{hm}^3/\text{año}$ ; eso significa que ha existido un déficit medio entre 5 y 8  $\text{hm}^3/\text{año}$ . El hecho de que durante el tiempo de explotación del acuífero haya habido periodos húmedos en los que los descensos de niveles han continuado su tendencia descendente puede ser interpretado como que el sistema ha estado sometido a sobreexplotación.

En los últimos años (periodo 1989-94) las salidas del acuífero han descendido ligeramente, situándose en torno a 13.5  $\text{hm}^3/\text{año}$ , si bien todavía continúa siendo negativo su balance, por lo que el sistema continúa en estado de sobreexplotación. Esta situación, supone una reducción del déficit del balance y, por tanto se debía traducir en una reducción de los descensos piezométricos, no ha llegado a producirse sino que incluso han aumentado; ello se debe principalmente al efecto de la fuerte sequía que padece el área desde 1991 y, probablemente, a la posible variación del vaso del acuífero y cambios de los parámetros hidráulicos con la profundidad.

## 9. RESERVAS

Para establecer las reservas de un sistema hay que conocer previamente la geometría y la porosidad del mismo. Sin embargo, estos dos parámetros son muy difíciles de estimar en los acuíferos kársticos, puesto que no suelen ser constantes. Es por ello que cualquier valor de las reservas de un acuífero no deja de ser una mera aproximación, que muchas veces puede distar mucho de la realidad.

Para estimar las reservas que tiene este sistema he preferido diferenciar los tres sectores de extracción realizando cálculos individuales, y posteriormente estimar el valor general. Con ello se pretende aproximarse mejor a su funcionamiento, ya que como se vio anteriormente sus comportamientos hidrodinámicos son diferentes. Hay que destacar que las reservas determinadas están condicionadas por la geometría y porosidad que presentaban los distintos sectores en el año 1993-94, por lo que variaciones en profundidad de dichos parámetros invalidarían los resultados obtenidos.

La razón de utilizar el año 1993-94 se debe a que durante ese año las entradas fueron muy escasas. Con los volúmenes de bombeo y los descensos provocados durante ese año en cada una de las áreas de explotación he obtenido un "descenso específico patrón" para cada uno de los sectores, de forma que al compararlo con cada una de sus columnas saturadas se puedan estimar

unos valores indicadores de reservas de que dispone el sistema. La tabla 34 muestra cómo las mayores reservas están ligadas al sector occidental con valores próximos a los 140 hm<sup>3</sup>, mientras que las mínimas se presentan en el área de influencia del Barranco del Tolomó en donde no se alcanzan los 40 hm<sup>3</sup>. En total en el conjunto del sistema pueden quedar alrededor de 225 hm<sup>3</sup>.

Sectores	E	d	ES	ES/d	R
Tolomó	7.6	32	160	5	38
Occidental	9.3	7.8	120	15	143
Rollo	2.2	4	85	21	47
Acuífero					228

**Tabla 34.** Estimación de las reservas. E: extracciones en hm<sup>3</sup>; d: descenso en m; ES: espesor saturado en m; R: reservas en hm<sup>3</sup>.

## 10. ALGUNAS MEDIDAS PARA TRATAR DE REDUCIR LA SOBREEXPLORACIÓN

El Acuífero de Crevillente está declarado provisionalmente sobreexplotado; su declaración se produjo el 31 de julio de 1987. Tal como marca la legislación vigente, después de dicha declaración se realizó un Plan de Ordenación con el objeto de paliar o corregir esta situación (MOPU, 1989). Sin embargo, distintos problemas que comportan aspectos jurídicos y derechos consuetudinarios actuaron de barrera en la constitución del

la Comunidad de Usuarios, requisito básico para desarrollar el plan.

Los planes de Ordenación conllevan unas medidas básicas o generales en las que se proponen ciertas actuaciones para la mejor gestión de las extracciones. Debido a la grave situación que presentaba, fué considerado como "acuífero en estado terminal", por lo que se propuso como única medida verdaderamente resolutoria la importación de recursos foráneos, ya que, de no ser así, habrían de reducirse los aprovechamientos o fijarse un programa de explotación minera que conllevaría consecuencias económicas graves. Entre las posibles soluciones la más viable parece la redelimitación de la zona regable de *Riegos de Levante Margen Izquierda* a la que se incorporarían las áreas de Elche, Crevillente, Albatera y Orihuela abastecidas actualmente por el sector occidental del acuífero y que pasarían a ser atendidas por caudales del trasvase Tajo-Segura (Aragonés *et al.*, 1989; Bru, 1993). Indudablemente que una medida de este tipo resolvería el desequilibrio que presenta su balance, el sistema quedaría librado aproximadamente del 45 % de las salidas de los últimos años. No obstante, esta solución también presenta algunos inconvenientes al implicar un mayor ámbito territorial.

De cualquier forma, mientras se produce la importación de esos nuevos efluentes, se proponen una serie de medidas de carácter técnico que podrían paliar el fenómeno de la sobreexplotación algunas de ellas contempladas en el propio Plan de Ordenación, las cuales tendrían utilidad incluso después de la traída de nuevos caudales:

- Actuaciones sobre algunos de los elementos del ciclo hidrológico; entre ellas se podrían realizar pequeñas obras que contribuyan a aumentar la infiltración al tiempo que reduzcan el riesgo de avenidas y la erosión de las cuencas (López Cadenas, 1988; Pulido-Bosch *et al.*, 1993). Los 107 diques con capacidad inferior a 0.4 hm<sup>3</sup> (Pulido-Bosch, 1995; Martín Rosales, 1997) construidos en los barrancos de la vertiente meridional de la Sierra de Gádor consiguen infiltrar algo más del 10% de la escorrentía generada por un aguacero de gran intensidad. Por ello, dado el tipo de clima que posee este área en la que tras largos periodos de sequía la precipitación puede presentarse en forma torrencial, estas medidas podrían facilitar la infiltración sobre el acuífero.

- Redistribución de las captaciones dentro del acuífero y/o reducción de los volúmenes bombeados por cada captación; con ello se pretende tener mayor uniformidad en los descensos piezométricos evitando los conos de depresión por sectores que encarecen el agua bombeada y son más susceptibles de producir el deterioro de la calidad del agua.

- Acondicionamiento y mejora de las redes de distribución, de manera que anulen las pérdidas y se pueda traducir en un ahorro de agua y, por tanto, en una reducción de las

extracciones.

- Reutilización de las aguas residuales previamente depuradas de las propias poblaciones ubicadas sobre el acuífero e importación de aquellas localidades próximas en las que hubiera excedente.

- Modificación y modernización de las técnicas de regadío hacia procedimientos más eficaces, como son los riegos localizados, especialmente el riego por goteo. Aunque ha habido una transformación importante a nivel comarcal (Ramón, 1994) aún en lugares como la depresión de Hondón de las Nieves-Hondón de los Frailes continúa regándose mediante las técnicas tradicionales. Si bien no está muy claro que el riego localizado proporcione un ahorro directo de agua (Ramón *et al.*, 1990; Rico 1994), sí parece que estos sistemas proporcionan otras ventajas como son un aumento de las producciones al dejar de someter a la planta a estrés hídrico, una mejor calidad del producto, así como otra serie de ventajas indirectas que repercuten en aspectos económicos. Es por ello, que mediante la utilización de estas técnicas se pueden desarrollar estrategias agrícolas enfocadas a reducir áreas de regadío manteniendo las producciones, de forma que se produjese un ahorro de agua sin necesidad de crear problemas socioeconómicos graves.

- Finalmente, y siempre que se disponga de recursos disponibles como consecuencia de importación de agua externa, realización de recarga artificial. No hay que olvidar que desde que se inició la explotación del sistema se han extraído 500 hm<sup>3</sup> lo que supone unas reservas en torno a los 300 hm<sup>3</sup>; esto significa que nos encontramos ante un reservorio con un potencial de almacenamiento que sobrepasa ampliamente toda la capacidad de almacenamiento de los embalses provinciales.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **V. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL CID**





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

En total han sido 41 puntos de agua los inventariados entre la Sierra del Cid y sus alrededores, aunque no todos están relacionados directamente con el Acuífero del Cid. Debido a la orografía del paisaje, los sondeos que captan este acuífero se sitúan en las partes más bajas, concretamente en la Serreta Larga y en el paraje conocido como Llanos del Cid (figura 92). Ello implica que en la mayor parte del acuífero se carece de información respecto a la ubicación de la franja saturada.

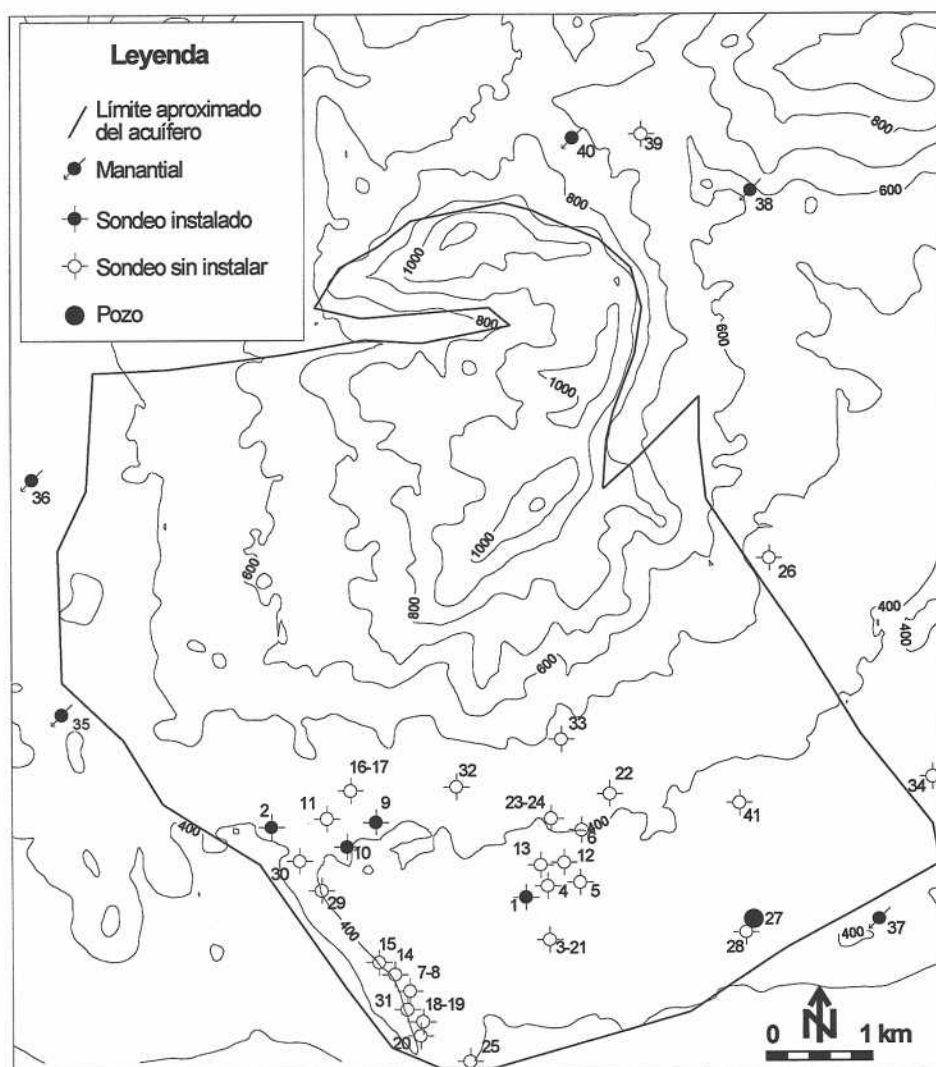


Figura 92. Distribución de los puntos de agua en el Acuífero del Cid.

La proliferación de sondeos en este sistema se produjo entre 1968 y 1972, debido a las elevadas productividades y la aceptable calidad de sus aguas. El número de sondeos superó la treintena (IGME-IRYDA, 1979), por lo que las extracciones sobrepasaron 10

hm<sup>3</sup>/año. Un ritmo de explotación tan alto no pudo mantenerse durante mucho tiempo y, ya en el año 1979, cerca de la mitad de las captaciones habían sido abandonadas. En los últimos años se encuentran en explotación, de forma más o menos habitual, tres sondeos. El agua extraída de este acuífero se utiliza tanto para abastecimiento como para riego.

Todo parece indicar que la Sierra del Cid jamás presentó surgencias. Los manantiales inventariados corresponden a pequeñas surgencias relacionadas con sectores de escaso interés hidrogeológico y sin una clara conexión hidráulica con el Acuífero del Cid. Entre ellos se encuentra el manantial de Salinetas (nº 36), situado al W del sistema, y con una salinidad muy elevada. Las propiedades minero-medicinales atribuidas a estas aguas dieron origen a la construcción de un balneario en 1858 (Figueras, 1916). En la actualidad ya no existe el balneario, pero sigue brotando el agua, que discurre por el barranco hasta alcanzar el cauce del Río Vinalopó. Este punto acuífero fue declarado minero-industrial en 1991 y en él se pretende ubicar una planta de explotación de la salmuera por parte de una entidad privada (de la Torre *et al.*, 1995).

## 2. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS MATERIALES

- Triásico (Tk). Los materiales triásicos aflorantes en este sector presentan la misma facies descrita para el Acuífero de Crevillente. La presencia del manantial de Salinetas, surgente en los propios terrenos triásicos, y de contenido salino muy elevado, pone de manifiesto la existencia de una porosidad secundaria provocada por la disolución de las evaporitas. De cualquier forma, en la mayor parte de los lugares ofrecen un comportamiento acuícludo y ha sido considerado como impermeable.

- Jurásico (J). A pesar de que los materiales pertenecientes al Jurásico son calizas y dolomías que presentan condiciones acuíferas, la reducida extensión de afloramiento les impide tener interés hidrogeológico en este área.

- Conjunto margoso cretácico (C-1 y C-2). Las unidades C-1 y la parte basal de la unidad C-2 muestran un comportamiento claramente impermeable. Principalmente están formadas por margas y margocalizas. La unidad C-2 tanto de forma local como con carácter general hacia techo puede presentar niveles más carbonáticos que le confieren cierta permeabilidad, mostrando un comportamiento acuífardo o de acuífero muy pobre. Este sería el caso del sector situado al NE del relieve del Cid, al cual se le asocia el manantial del Chorrillo (nº 40).

- Conjunto carbonático cretácico (C-3, C-4). Las calizas de las unidades C-3 y C-4 constituyen la mayor y mejor parte del Acuífero del Cid. El conjunto sobrepasa 450 m de potencia, al menos en los Llanos del Cid.

Las calizas oolíticas del C-3 son las que presentan mejores características hidráulicas. Se trata del tramo alcanzado por todos los sondeos del sistema. Su condición acuífera se debe a la elevada fracturación y karstificación que deben presentar, a tenor de los altos rendimientos que muestran las captaciones que bombean agua de este tramo. En cuanto al C-4, la aparición de niveles margocalizos y margosos en la base de la secuencia provoca una reducción de su permeabilidad, aunque hacia techo vuelven a predominar las calizas puras, recuperando los altos valores de conductividad hidráulica.

- Conjunto margocalizo cretácico superior-eoceno (C-5 y E): Incluyo los tramos C-5 y E, los cuales presentan semejantes características litológicas. Aunque a nivel regional, al menos al tramo C-5, se le considera acuífero, en las inmediaciones de la Sierra del Cid, su gran componente margosa reduce considerablemente sus propiedades acuíferas, por lo que se puede catalogar de acuífero pobre, e incluso localmente actuar como acuitardo.

- Materiales miocénicos (M). A grandes rasgos, los materiales terciarios representados al W y S de la Sierra del Cid presentan dos comportamientos hidrogeológicos bien definidos. El tramo de características margosas y margocalizas se comporta como impermeable, mientras que las calizas pararecificales actúan como acuífero. De cualquier forma, su interés hidrogeológico es reducido, debido a que los afloramientos no son de gran extensión, encontrándose inconexos unos con otros. Además, el hecho de que algunos de ellos se encuentren descansando sobre materiales triásicos provoca que sus aguas no sean de buena calidad. El drenaje de estos afloramientos puede llegar a dar pequeños manantiales como es el caso del manantial del Gobernador (nº35).

- Materiales detríticos recientes (P-Q). En cuanto a los materiales más recientes, aparecen únicamente en los bordes oriental y meridional de la Sierra del Cid. Se trata de depósitos de ladera y derrubios que se disponen formando glacis. Estos materiales detríticos presentan una porosidad primaria, si bien su permeabilidad es muy variable según el contenido arcilloso de la matriz y su grado de cementación. En el paraje de los Llanos del Cid, los materiales cuaternarios tienen escaso interés hidrogeológico, debido a su escasa potencia; sin embargo, en los alrededores de Agost presentan condiciones para su explotación, al superponerse niveles de limos y conglomerados que llegan a alcanzar el centenar de metros. Similares características presentan los depósitos ubicados en la depresión de Monforte del Cid, si bien al encontrarse dispuestos sobre materiales del Trías su calidad es muy deficiente.

### 3. GEOMETRÍA Y LÍMITES

El Acuífero del Cid, compuesto por el conjunto calizo comprendido entre el Albiense y el Cretácico superior (parte superior del C-2, C-3, C-4 y C-5), presenta como

particularidad la ausencia de un tramo basal impermeable netamente definido. El impermeable de base lo constituye la propia serie Albiense-Aptiense (C-2) en el que existen margas, margocalizas y calizas; gradualmente aumenta la proporción de margas hacia el muro, perdiéndose el carácter acuífero a medida que se desciende en la serie hasta convertirse en su propio impermeable de base.

La disposición estructural de la serie cretácica, buzante monoclinamente hacia el W-SW, provoca que los límites oriental y septentrional estén constituidos por los propios materiales margosos albienses. En principio, se trata de límites abiertos y colgados debido a su situación a cota elevada. Por su parte, el sector SE ofrece dudas, ya que los materiales acuíferos se ponen en contacto con el detrítico de Agost, por lo que es muy posible que pueda existir un límite abierto. Sin embargo, los datos hidrogeológicos de que dispongo son contradictorios, puesto que las perforaciones que se realizaron parece que fueron infructuosas.

En cuanto al límite occidental queda definido por la banda de yesos y arcillas rojas del Trías que surca el Valle del Vinalopó y corta la estructura de la Sierra del Cid. En la parte más meridional de este borde la existencia de una falla de dirección N-S al W de la Serreta Larga origina el hundimiento del bloque occidental y levantamiento de las margas albienses en la parte oriental. Estas margas, junto a las arcillas triásicas que aprovechan esta fractura para extruir hasta llegar a aflorar en la parte N de Serreta Larga, conforman los materiales impermeables que confinan lateralmente el SW del acuífero.

El borde meridional está controlado por una falla inversa de dirección E-W paralela a la carretera Novelda-Agost que eleva las margas albienses en el bloque S constituyendo la barrera impermeable meridional. No obstante, la parte más cercana a Serreta Larga, que se encuentra cubierta por materiales más recientes de edad cuaternaria ofrece ciertas dudas. Es muy posible que el sistema, en régimen natural y antes de producirse el descenso del nivel piezométrico, tuviese en este sector un límite abierto a partir de cierta cota y drenara subterráneamente. Esto explicaría la carencia de surgencias naturales previas a la explotación, ya que, a pesar de la investigación llevada a cabo, no se ha podido constatar la existencia de antiguos manantiales.

La geometría del sistema queda, por tanto, representada en la figura 93, así como en los cortes geológicos del capítulo III (figura 34). A grandes rasgos se trata de un sistema controlado por fallas normales que provocan el hundimiento de los bloques meridionales, de forma que el agua infiltrada a lo largo de todo el relieve es finalmente almacenada en el bloque más hundido y confinado, que es el que conforma el sector de los Llanos del Cid-Serreta Larga.

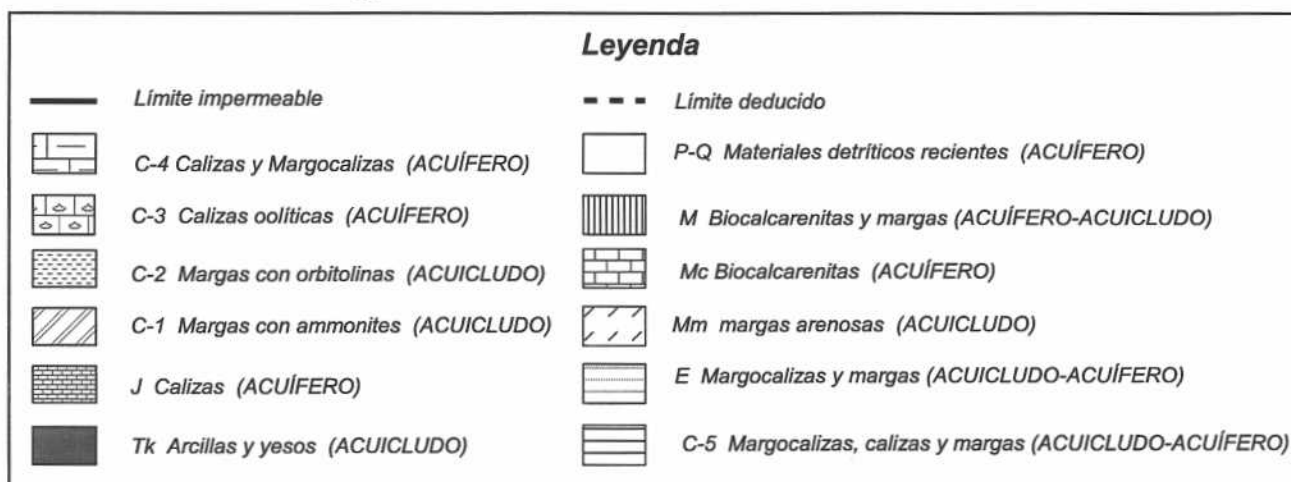
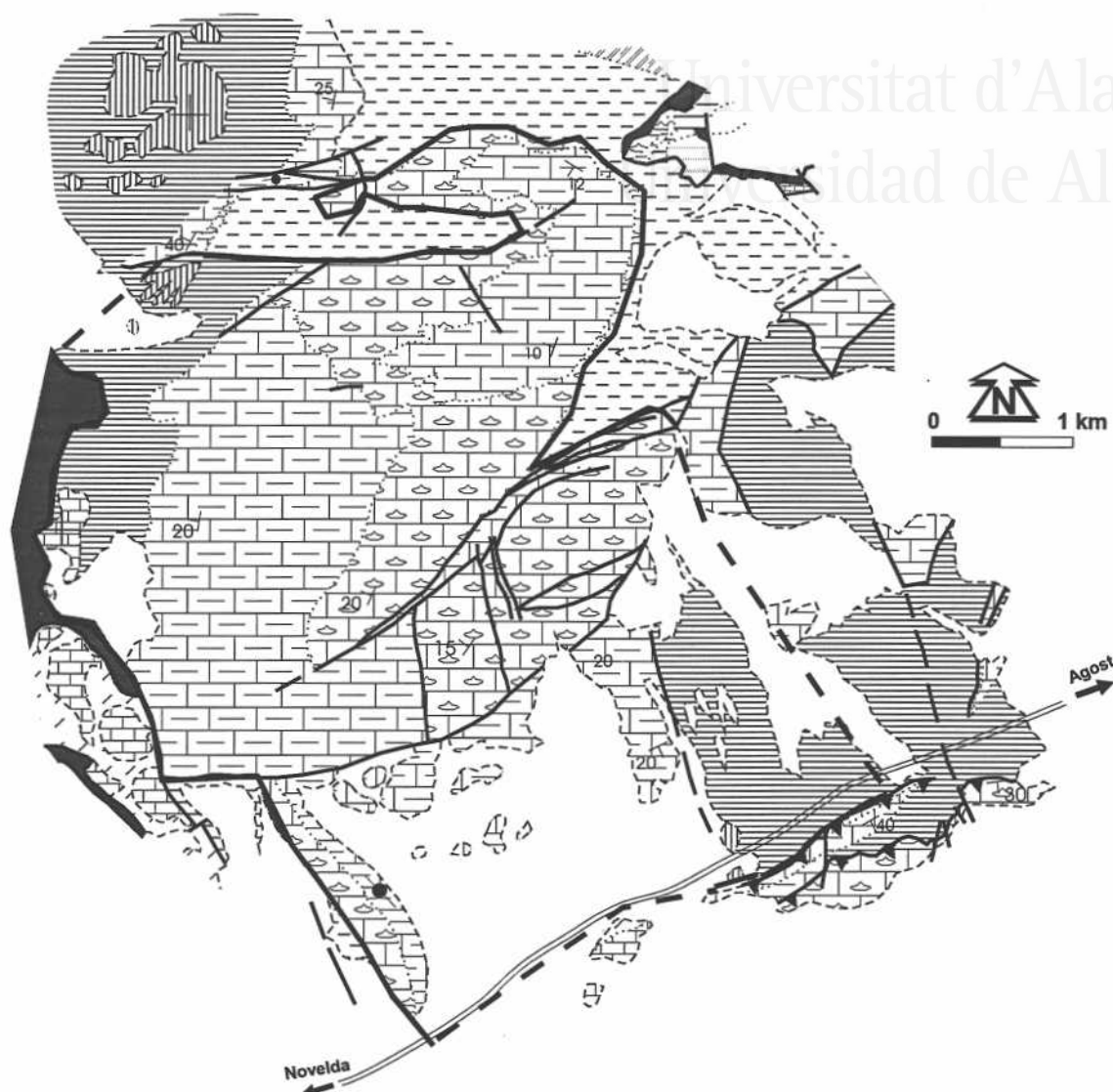


Figura 93. Esquema hidrogeológico del Acuífero del Cid.



## 4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

### 4.1. PIEZOMETRÍA

#### 4.1.1. Red de control piezométrico

El seguimiento de este sistema ha sido llevado a cabo mediante el control de cuatro captaciones abandonadas y sin instalación de bombeo. Tres de ellas se encontraban en el paraje de los Llanos del Cid, mientras que la última se ubicaba en Serreta Larga. Esporádicamente se ha contado con el nivel piezométrico del punto nº 2. Las mediciones se realizaron con una periodicidad mensual y fueron efectuadas manualmente con una sonda marca *Meyer*.

#### 4.1.2. Evolución piezométrica

Prácticamente se carece de información referente a la situación del nivel piezométrico previo a la explotación intensiva del sistema. Únicamente se tiene constancia de que en la parte meridional de Serreta Larga, el IRYDA construyó en 1965 el que parece ser el primer sondeo relacionado con este acuífero (actualmente desaparecido). Su nivel piezométrico era de 79 m que en cota absoluta debía tener entre 205 y 240 m s.n.m, por lo que es muy posible que ésta fuese la superficie piezométrica previa al inicio de los bombeos. La pérdida de cota del nivel del agua durante el periodo 1969-1974 se estima en 60 m, con descensos del orden de 12 m/año (IGME-IRYDA, 1978a). Tal situación se corresponde con un régimen de fuertes bombeos desde finales de la década de los sesenta.

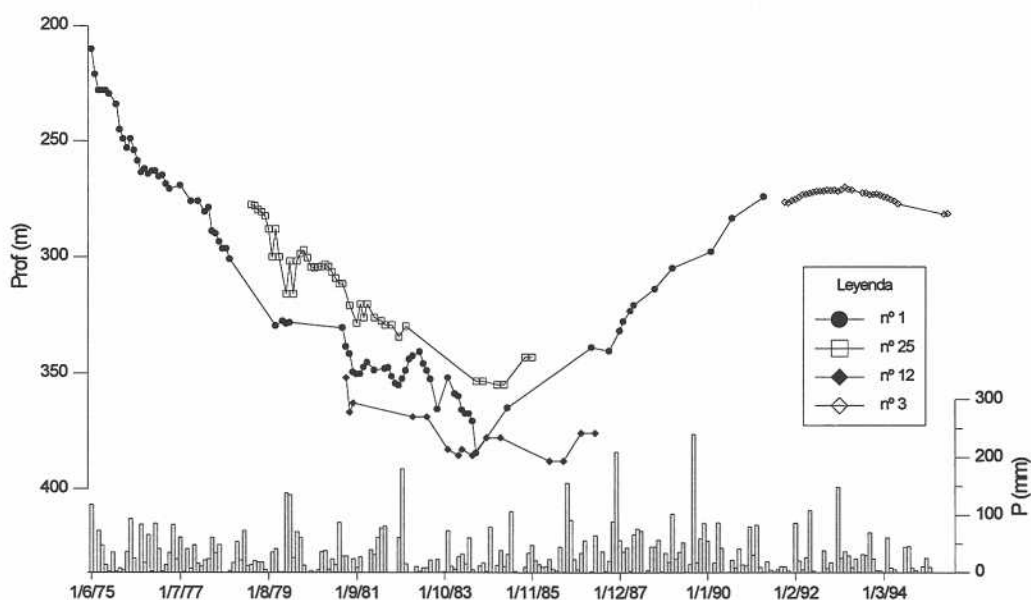


Figura 94. Evolución piezométrica en distintos puntos del Acuífero del Cid.

A partir de 1975 se dispone de un registro relativamente completo de la evolución del nivel del agua en este acuífero (figura 94). El punto nº 1, ubicado en los Llanos del Cid, presenta una evolución claramente descendente hasta 1984. Este descenso continuado tan sólo se vió interrumpido o paliado por algunos episodios lluviosos de cierta importancia, como el producido en octubre de 1982. Las mayores pérdidas de nivel se produjeron entre 1976 y 1977, con descensos que sobrepasaron los 30 m. Las profundidades más bajas registradas en este piezómetro fueron de 385 m, lo que supone una pérdida de cota de 174 m en nueve años. Comportamientos similares se produjeron en Serreta Larga y Casa Costera. Así, el nº 20 presentó un descenso de 51 m entre 1976 y 1979.

La tendencia descendente se invirtió a partir de 1985 comenzando una etapa de recuperación. Este cambio de comportamiento se debió al abandono de numerosas captaciones como consecuencia de que muchas quedaron secas y no fueron sustituidas por otras y, sobre todo, al deterioro que sufrió la calidad de sus aguas (Pulido-Bosch, 1986 y 1988; Rodríguez Estrella y Gómez de las Heras, 1986). El ascenso de los niveles tuvo un ritmo fuerte favorecido por la época de elevadas precipitaciones que hubo en la segunda mitad de la década de los ochenta, lo que supuso que el nivel recuperase aproximadamente 115 m hasta 1992, con un ascenso relativo de 19 m/año.

A partir de finales de 1991, se redujo la tasa de ascenso del nivel piezométrico, pasando a ser de algo más de 5 m entre noviembre de 1991 y 1992. Ello se debe fundamentalmente a que terminó el periodo húmedo y las precipitaciones disminuyeron. No obstante, como las salidas del sistema también eran pequeñas al bombear tan sólo en dos puntos, la recuperación fue continua. A mediados de 1993 el incremento de los puntos de extracción a cuatro, unido a una reducción de las precipitaciones al entrar en un periodo seco, empezó a provocar nuevamente una ligera caída del nivel.

#### **4.1.3. Variaciones estacionales**

La figura 95 muestra las variaciones piezométricas que ha experimentado este acuífero durante su seguimiento. Se observa un comportamiento idéntico en el paraje de los Llanos del Cid y Serreta Larga. Únicamente el punto nº 3 muestra ligeras irregularidades respecto a los otros, aunque sigue la misma tendencia. Una característica particular del conjunto de los piezómetros es que el nivel del agua no presenta oscilaciones estacionales, probablemente debido a las condiciones climáticas que se han producido durante este periodo. Otro aspecto a destacar es la rápida respuesta de los niveles frente a precipitaciones que superan 50 mm.

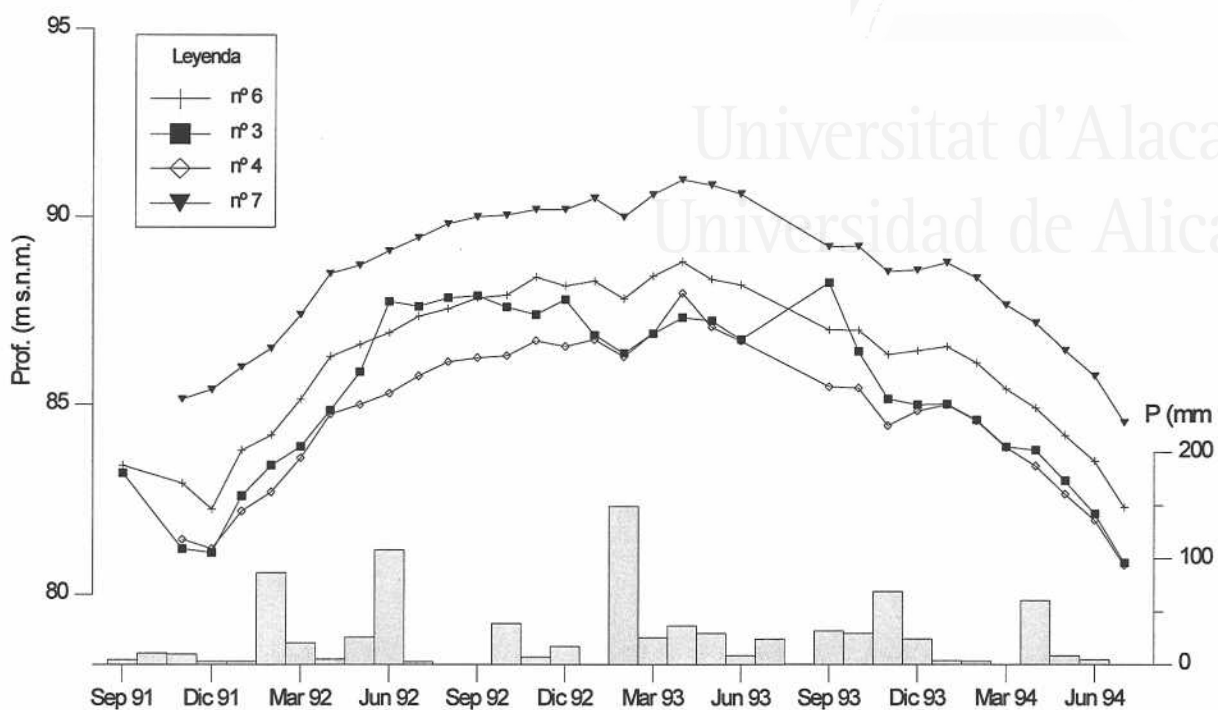


Figura 95. Variaciones piezométricas estacionales en cuatro sondeos del Acuífero del Cid durante el periodo septiembre de 1991-julio de 1994.

#### 4.1.4. Comportamiento hidrodinámico del acuífero

El hecho de que la totalidad de los puntos acuíferos se sitúe en un radio muy pequeño impide conocer la distribución de los niveles en toda la extensión del acuífero. Se propone un esquema de circulación profunda en el que en líneas generales, los gradientes tienen componente N-S y W-E (figura 96), encontrándose las cotas más elevadas en los sondeos más próximos a la falda de la Sierra del Cid y en Serreta Larga, lugares potencialmente más favorables para la recarga. Las diferencias piezométricas de los sondeos ubicados en el paraje de los Llanos del Cid son inferiores al metro, por lo que para establecer el flujo ha sido necesario realizar una campaña altitudinal con una precisión centimétrica. Para ello, todos los sondeos en los que se medía el nivel fueron referenciados respecto al nº 1.

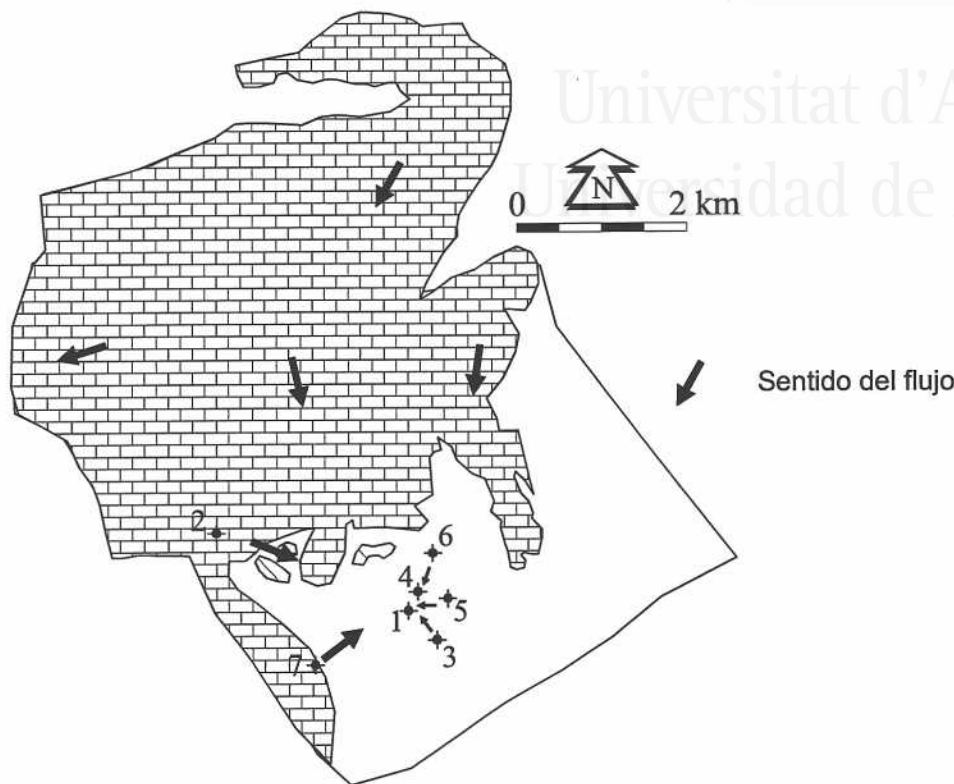


Figura 96. Esquema de dirección y sentido del flujo subterráneo.

#### 4.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Se han podido realizar dos bombeos de ensayo; sin embargo, no se ha conseguido obtener ningún valor del coeficiente de almacenamiento.

- *Prueba nº 1.* Se realizó en mayo de 1994, y se utilizaron, como pozo de bombeo, el nº 1, que extraía un caudal aproximado de 100 l/s, y, como piezómetro, el nº 4, situado a 125 m del anterior. Durante las veinte horas que duró la prueba no se observó ninguna variación del nivel en el piezómetro (figura 97). Este bombeo de ensayo establece la interrogante de si existe o no conexión entre ambos puntos. Según

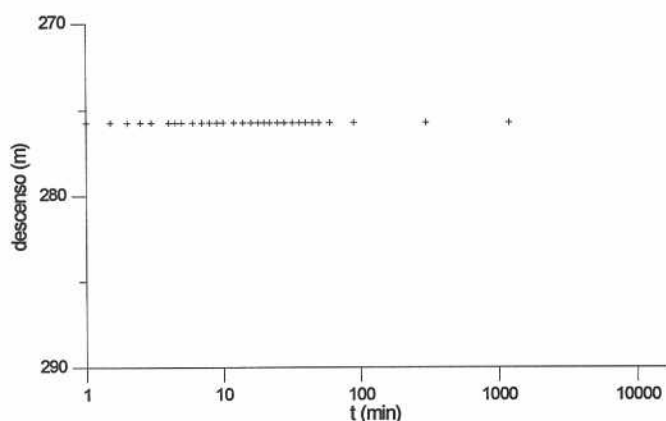


Figura 97. Comportamiento del nivel piezométrico en el punto nº 4 durante el bombeo de ensayo realizado en el nº 1.

los datos de que dispongo, los descensos del nivel en el propio sondeo de bombeo no sobrepasan el metro, por lo que en un principio se puede pensar que el nivel no ha sido afectado probablemente como consecuencia del escaso desarrollo del conoide de depresión, debido a las elevadas transmisividades existentes en este entorno.

- **Prueba nº 2.** Fue llevado a cabo en mayo de 1995 en el sondeo nº 2, y tuvo una duración de siete días. Los descensos fueron medidos en el mismo pozo de bombeo, el cual extraía un caudal en torno a los 80 l/s. Durante los primeros 300 minutos no se consiguió deprimir el nivel del agua. Se han establecido dos tramos en función de la evolución piezométrica (figura 98); al primero le corresponde una transmisividad de 31000 m<sup>2</sup>/día, lo que pone de manifiesto la ubicación

de este sondeo en una zona altamente transmisiva. Para el tramo final se ha obtenido un valor de 4700 m<sup>2</sup>/día. Esta fuerte reducción de la transmisividad podría ser debida a que se habría alcanzado alguna barrera impermeable como podría haber sido uno de los límites del acuífero. En cuanto a la permeabilidad obtenida a partir de la transmisividad, ésta se encuentra comprendida entre 50 y 400 m/día, lo que supone que este sondeo presenta permeabilidades altas. Dado que el sondeo siguió funcionando más tiempo no se pudieron realizar medidas de recuperación del nivel.

Los valores de transmisividad y permeabilidad obtenidos en estas pruebas parecen corroborar las buenas condiciones hidráulicas que se le atribúan al acuífero. Así, se puede pensar que gran parte de la extensión en la que se ubican las captaciones tiene unos valores de transmisividad y permeabilidad que se pueden catalogar de altos a muy altos.

## 5. HIDROGEOQUÍMICA

### 5.1. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA LLUVIA

La estación de Sax situada a 5 km al N de la Sierra del Cid es la más cercana de las que se dispone de analítica y la que mejor puede caracterizar el quimismo de la

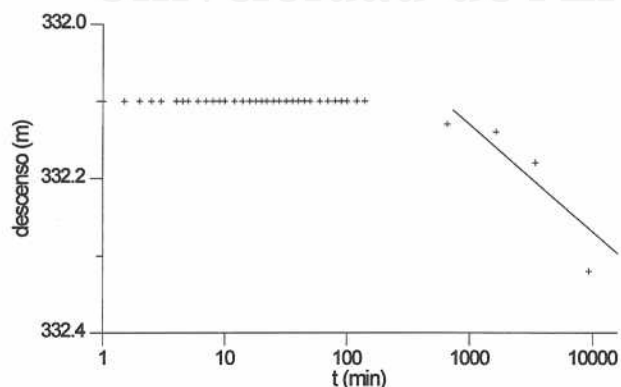


Figura 98. Comportamiento de nivel piezométrico en el bombeo de ensayo realizado en el nº 2.

precipitación que se produce sobre esta área. También se encuentra dentro de la "Zona D: Alicante al S de la Sierra de Bernia" (Carratalá, 1993). Presenta conductividades medias de  $64 \mu\text{S}/\text{cm}$  y pH de 6.95 y su facies es bicarbonatada cálcica. La distribución de los principales iones de las veinte muestras recolectadas por Carratalá (*op. cit.*) se recogen en la figura 99. Al igual que otras estaciones de esta zona, la principal característica del agua de precipitación es que los sulfatos muestran contenidos medios de más de 6 mg/l.

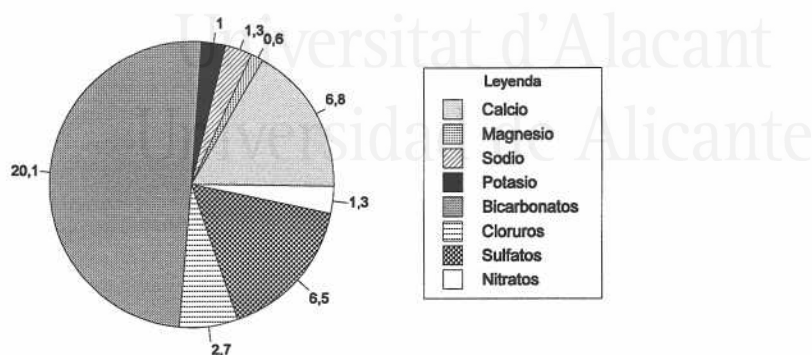


Figura 99. Concentraciones medias (mg/l) de los diferentes iones mayoritarios del agua de precipitación recogida en Sax (datos tomados de Carratalá (1993).

## 5.2. FACIES HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas de este acuífero presentan una facies hidroquímica clorurada respecto a los aniones, mientras que para los cationes muestra características mixtas entre cálcica y sódica (figuras 100 y 101). Los sondeos ubicados en los Llanos del Cid y Serreta Larga tienen un carácter más sódico-cálcico que el sondeo nº 2 que es más cálcico.

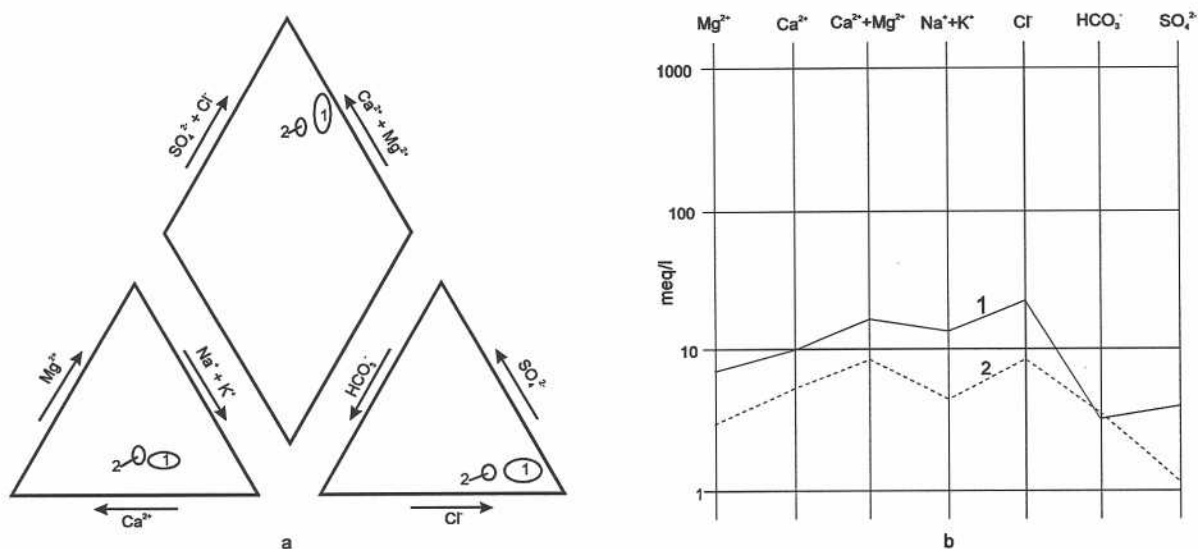


Figura 100. Diagramas de Piper (a) y de Schoeller-Berkaloff (b) de la aguas de los puntos nº 1 y 2. En el segundo diagrama se representa únicamente el muestreo de marzo de 1994.



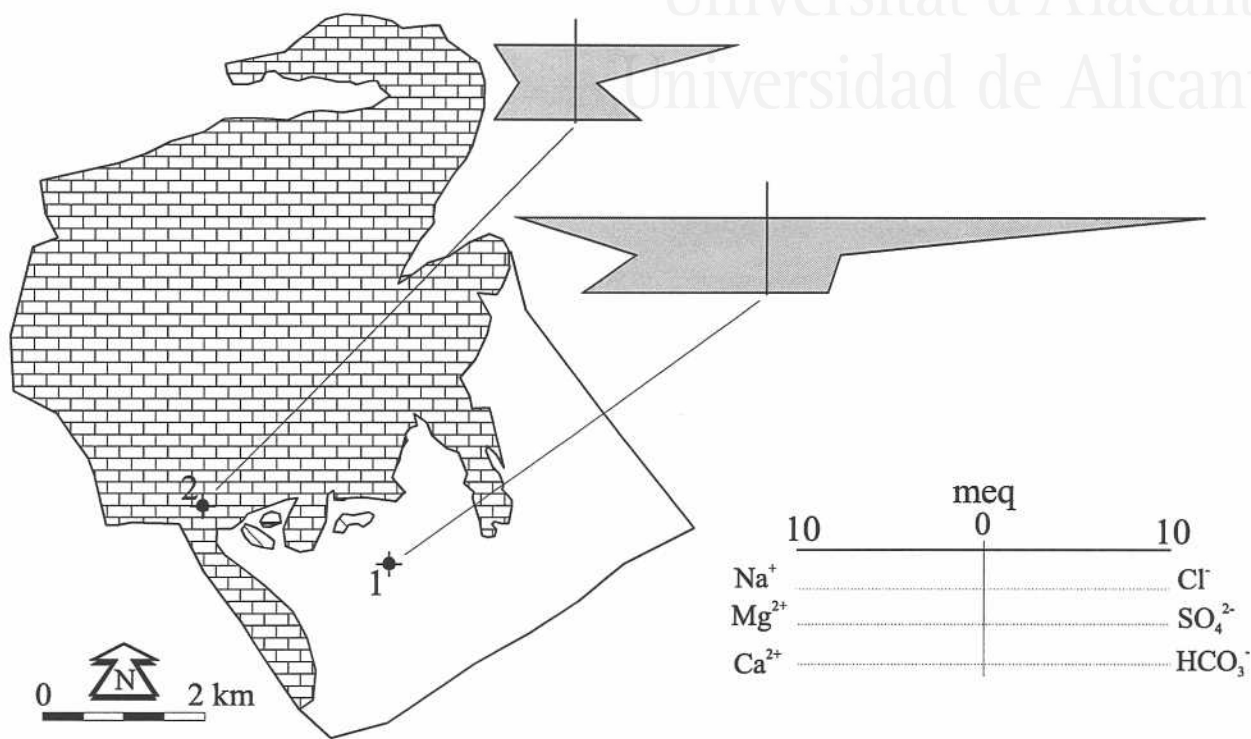


Figura 101. Diagramas de Stiff modificado de la aguas del acuífero del Cid para el muestreo realizado en marzo de 1994.

### 5.3. VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES

#### 5.3.1. Parámetros no específicos

##### **Conductividad**

Atendiendo al muestreo de marzo de 1994, los dos puntos controlados presentaban valores entre 1300 y 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen otras captaciones que fueron abandonadas por problemas de salinidad. Así, los valores determinados en los puntos nº 5 con 4840  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (diciembre de 1991) y nº 8 con 3915  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (junio de 1992), pueden dar una idea de la salinidad del agua existente en este acuífero.

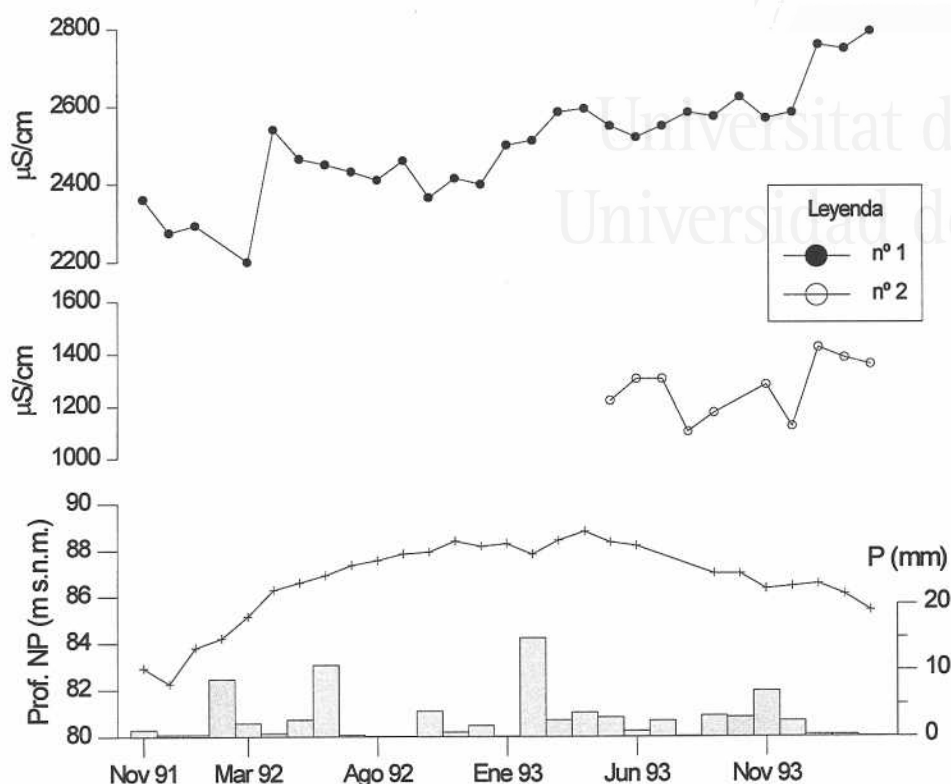


Figura 102. Evolución de la conductividad en los puntos nº 1 y 2 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

Únicamente el punto nº 1 presenta un registro lo suficientemente largo para poder establecer algunas precisiones de su comportamiento (figura 102). Al comparar la conductividad con la evolución piezométrica se observa que, a grandes rasgos, presenta una tendencia ascendente, que no parece estar muy relacionada con el comportamiento del nivel piezométrico, dado que las oscilaciones de éste han sido de escasa entidad. En el nº 2 el escaso número de medidas de conductividad no permite asegurar que ese comportamiento sea igual.

### Temperatura

Las temperaturas medias oscilan entre 23.9°C del nº 2 a 25°C del nº 1 (figura 103). Los puntos acuíferos nº 5 y 9 presentaron temperaturas de 25 y 24. 5°C respectivamente, por lo que el intervalo de temperaturas expuesto puede ser considerado como válido para todo el acuífero. Las escasas variaciones piezométricas durante estos últimos años pueden explicar que este parámetro haya permanecido prácticamente estabilizado.



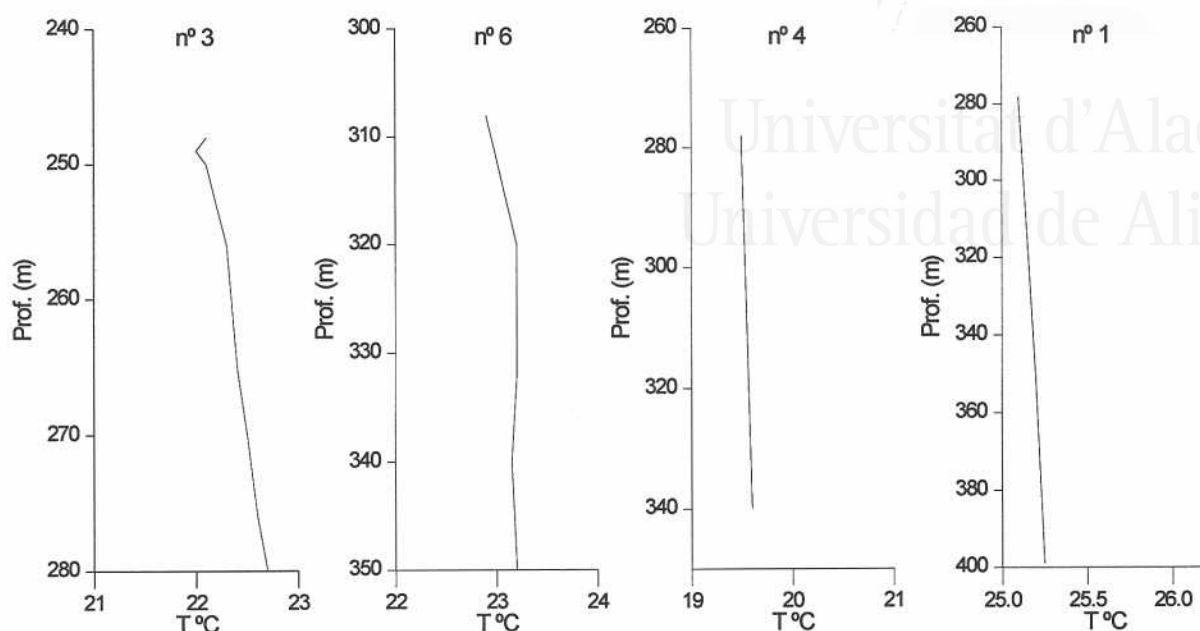


Figura 104. Variación de la temperatura con la profundidad.

Además de las testificaciones, en agosto de 1995 se recogieron muestras de agua a distintas profundidades a las cuales se les midió la temperatura en el momento de su extracción. Si bien estos valores pueden presentar ciertas variaciones debido al tiempo necesario para su elevación, he creído conveniente exponerlas aquí por su significación (tabla 35). Hay que destacar que los valores absolutos no son coincidentes en los puntos comunes con los registrados en las testificaciones. La razón de ello se debe al uso de instrumental diferente.

nº 1		nº 6		nº 3		nº 4		nº 5	
prof.	T	prof.	T	prof.	T <sup>a</sup>	prof.	T	prof.	T
370	23.6	320	24.5	250	25	300	24.2	300	24.2
390	23.7	360	24.6	300	24.5	320	24.1	350	25.2
410	23.6	400	25.2	-	-	-	-	400	25.9

Tabla 35. Valores de temperatura (°C) a distintas profundidades (m) tomadas mediante un tomamuestras en agosto de 1995.

En definitiva, se puede deducir la existencia de un ligero aumento de la temperatura con la profundidad, si bien en menor medida que el gradiente geotérmico natural de 3°C/100 m. Algunas de las testificaciones realizadas no ofrecen variaciones de este parámetro al no introducirse lo suficiente en la zona saturada.

## pH

Se han determinado valores de pH entre 7 y 7.8, con valores medios entre 7.3 y 7.4. El pH medido en el nº 1 es ligeramente inferior al encontrado en el nº 2. La evolución temporal que ha mantenido este parámetro se caracteriza por presentar una situación de estabilidad (figura 105).

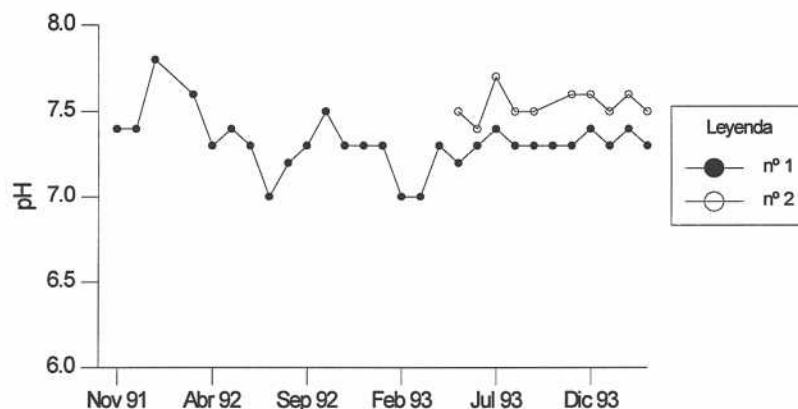


Figura 105. Evolución del pH en los puntos nº 1 y 2 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

### 5.3.2. Constituyentes mayoritarios

#### Cloruros

Las aguas de este acuífero presentan contenidos en cloruros que abarcan entre 250 y 900 mg/l. Como he expuesto anteriormente, la mayoría de las captaciones se abandonaron por problemas de salinidad, siendo el cloruro el principal ión que contribuyó al aumento de dicha salinidad. Es por ello que las concentraciones en otros puntos acuíferos distintos a los muestreados puedan ser más elevadas. A título indicativo quiero destacar que las determinaciones efectuadas en 1991 y 1992 para los sondeos nº 5 y nº 8 mostraron valores de 1493 mg/l y 940 mg/l respectivamente.

La distribución temporal de este anión (figura 106) presenta una tendencia claramente ascendente. Ésta es más evidente en el sondeo nº 1 al presentar un mayor registro, aunque también en el nº 2 se han producido ligeros aumentos en los últimos meses de muestreo.

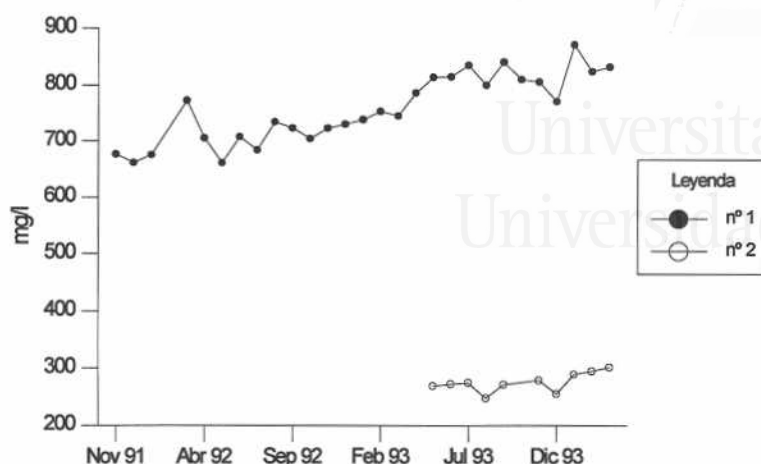


Figura 106. Evolución del contenido en cloruros en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Sulfatos

A pesar de los graves problemas de salinidad que ha mostrado este acuífero, los contenidos en sulfatos no son excesivamente elevados si se comparan con los valores encontrados en el Acuífero de Crevillente. Los dos puntos muestreados presentan valores comprendidos entre 50 y 200 mg/l, encontrándose dentro de los límites establecidos para abastecimiento humano. Las aguas de los nº 5, 8 y 9 mostraron valores de 302, 178 y 85 mg/l respectivamente, por lo que corroboran que las mayores concentraciones de sulfatos del acuífero se alcanzan en la parte de los Llanos del Cid, existiendo una notable diferencia respecto a los sondeos ubicados en la parte más septentrional, donde no se suelen sobrepasar los 100 mg/l.

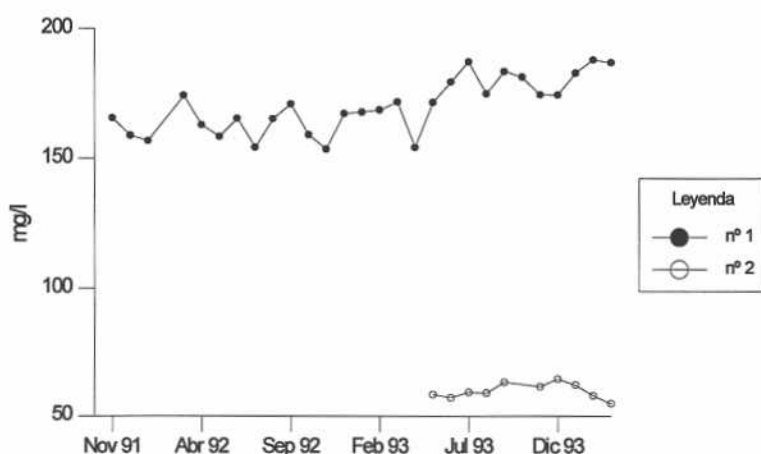


Figura 107. Evolución del contenido en sulfatos en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.



En cuanto a la distribución temporal (figura 107), los contenidos en sulfatos en el nº 1 muestran una tendencia ascendente, al menos desde el inicio de 1993, mientras que en el nº 2 muestra una cierta situación de estabilidad.

### Bicarbonatos

Se presenta en concentraciones comprendidas entre 195 y 215 mg/l. A pesar de que las diferencias son pequeñas, se aprecia cómo el sondeo nº 1 es el que registra los mínimos valores (figura 108). La concentración de bicarbonatos se ha mantenido prácticamente constante, sin experimentar variaciones estacionales o anuales significativas.

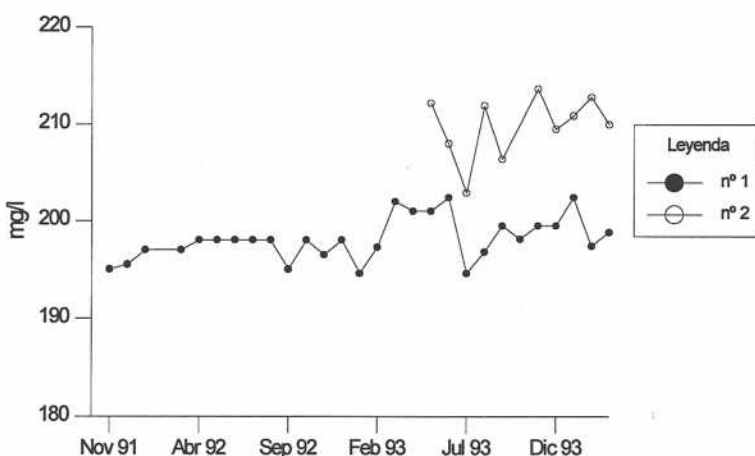


Figura 108. Evolución del contenido en bicarbonatos en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Nitratos

Los valores de nitrato de los puntos seleccionados muestran una fuerte diferencia entre ellos. Así, mientras que el nº 2 presenta cantidades en torno a 10 mg/l, el nº 1

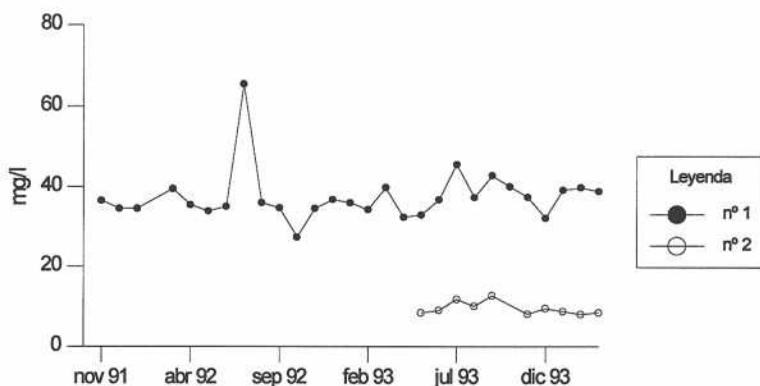


Figura 109. Evolución del contenido en nitratos en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

habitualmente ofrece valores entre 30 y 40 mg/l. Esto pone de manifiesto una clara distribución espacial, que como en la mayoría de los iones estudiados, el sector meridional de la Sierra del Cid es el más enriquecido en nitratos. En este sentido el sondeo nº 5, próximo al nº 1, alcanzó 59 mg/l en diciembre de 1991.

La figura 109 recoge la evolución del contenido en nitratos durante el periodo de muestreo. A pesar de alguna oscilación puntual, en ambos sondeos se presenta un comportamiento similar, apareciendo sensiblemente estabilizado, aunque esporádicamente se han determinado valores muy altos, como ocurrió en julio de 1992.

### Sodio

Las concentraciones de sodio oscilan entre 100 y 525 mg/l; sin embargo, al igual que ocurre en el Acuífero de Crevillente, el deterioro de la calidad del agua está fuertemente ligado con el aumento de este ión, por lo que es muy posible que algunos de los sondeos actualmente desmantelados presenten valores por encima de los mencionados. La distribución espacial de sodio pone de manifiesto que en Serreta Larga y en los Llanos del Cid se sobrepasan los 300 mg/l. Por el contrario, el nº 2, con valores en torno a 100 mg/l, presenta las concentraciones más bajas del acuífero.

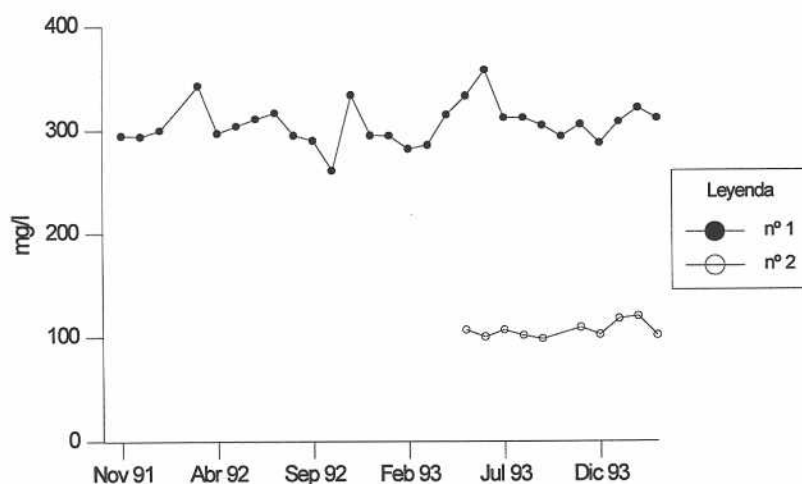


Figura 110. Evolución del contenido en sodio en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

A diferencia de lo que ocurre con otros cationes, e independientemente de las fluctuaciones que existen entre los distintos meses, no parece que exista un incremento continuado con el tiempo (figura 110). El comportamiento del sodio no corresponde a lo que en principio cabría esperar a tenor del aumento de salinidad global del agua, especialmente en cloruros.

### Calcio

Los contenidos de calcio son bastante variables. Se han determinado concentraciones entre 100 y 265 mg/l. A partir de los datos existentes, se establece que una vez más en la parte septentrional se registran las menores concentraciones de calcio. El resto del acuífero presenta valores por encima de 140 mg/l, aunque su valor depende del sondeo en concreto. La distribución temporal de este catión queda recogida en la figura 111. En ella se puede apreciar una tendencia ascendente en los dos puntos controlados.

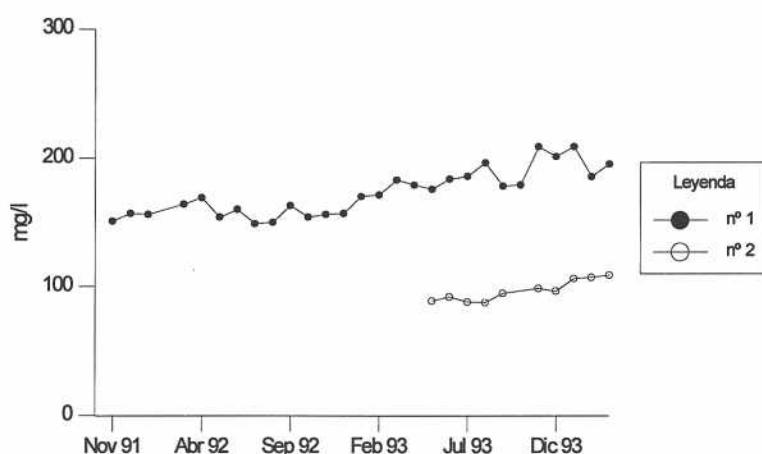


Figura 111. Evolución del contenido en calcio en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Magnesio

Aparece en cantidades comprendidas entre 30 y 120 mg/l. Al igual que la mayoría de los cationes, el magnesio es más abundante en las captaciones ubicadas en los Llanos

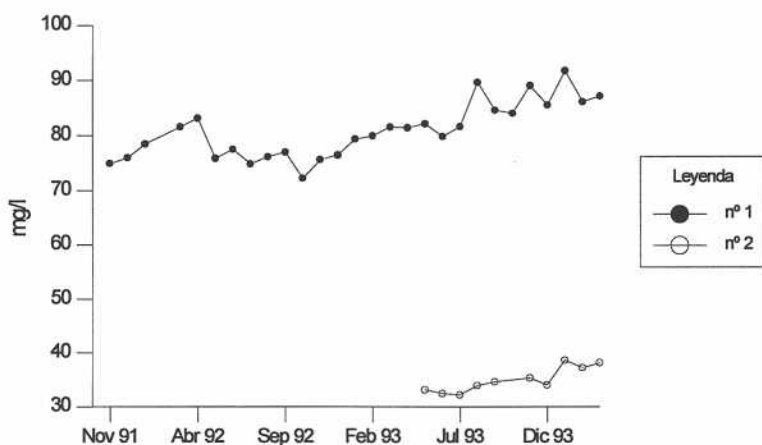


Figura 112. Evolución del contenido en magnesio en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

del Cid. Así, el nº 5 presentaba 117 mg/l en el análisis efectuado a finales de 1991. El nº 1 presentaba valores entre 70 y 90 mg/l, mientras que el nº 2 no superaba los 40 mg/l. Esto vuelve a poner de manifiesto la misma distribución espacial del calcio, ya que en la parte septentrional del acuífero hay aguas menos enriquecidas en magnesio que la meridional. El magnesio sigue un comportamiento bastante semejante al del calcio (figura 112).

### Potasio

Como ocurre con los otros cationes existen ciertas diferencias en las concentraciones de potasio entre los dos sondeos controlados. Mientras que el nº 1 registra valores entre 5 y 6.3 mg/l, el nº 2 no supera los 4 mg/l. La distribución temporal que ha presentado el potasio se recoge en la figura 113. El nº 1, tras una primera fase más o menos estabilizada, adquiere una tendencia ascendente. Este comportamiento no se manifiesta en el nº 2.

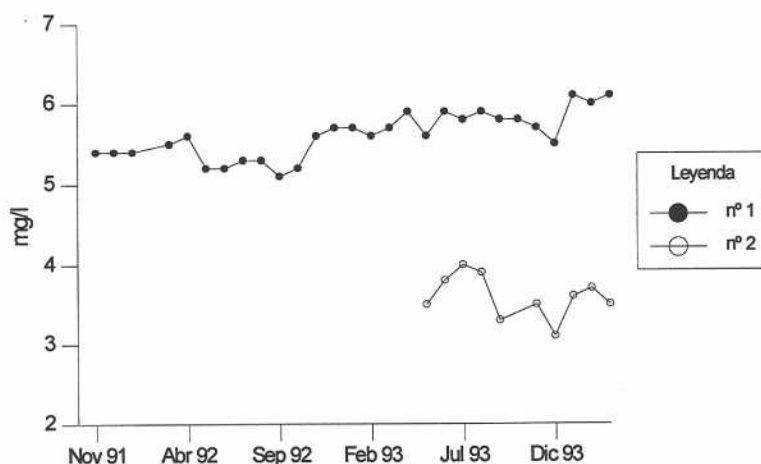


Figura 113. Evolución del contenido en potasio en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### 5.3.3. Constituyentes minoritarios y trazas

#### Estroncio

Una vez más el sondeo nº 1 presenta mayores concentraciones que el nº 2. La figura 114 muestra el comportamiento de este elemento, el cual ha ido incrementando su proporción disuelta con el tiempo. Su tendencia se correlaciona bastante bien con el aumento de salinidad del agua.

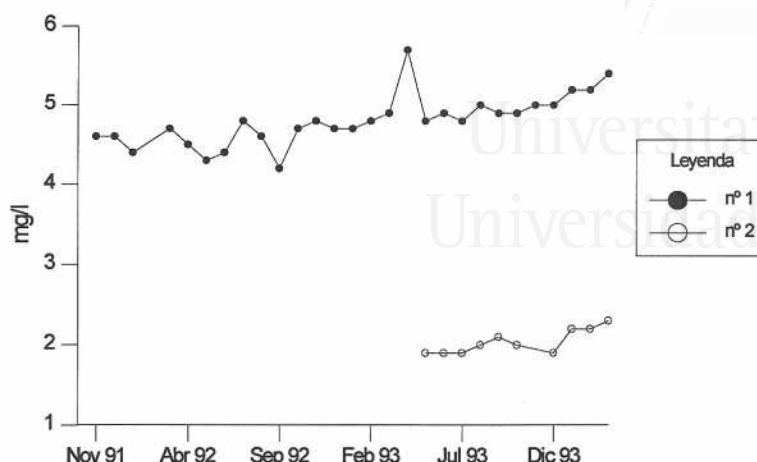


Figura 114. Evolución del contenido en estroncio en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Sílice

Los contenidos de sílice disuelta oscilan entre 8 mg/l y 12 mg/l. La figura 115 muestra la representación temporal de esta especie; en general, presenta ciertas oscilaciones mensuales de difícil explicación, aunque su tendencia es de estabilidad.

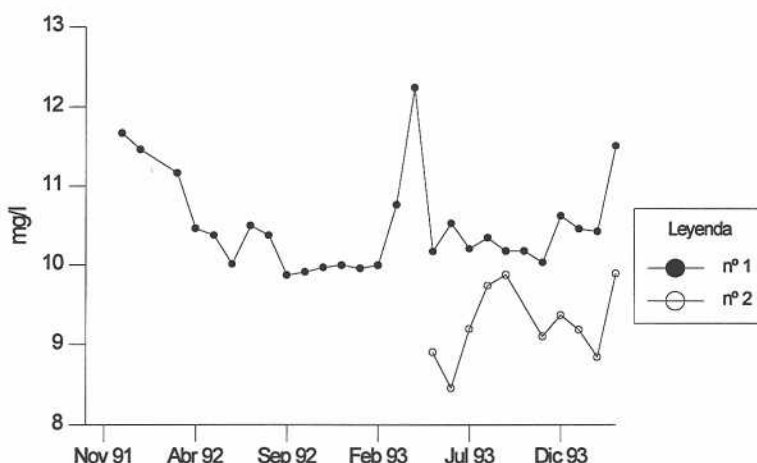


Figura 115. Evolución del contenido en sílice en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Bario

Se trata del acuífero que presenta los mayores contenidos en bario disuelto. Se han determinado cantidades que van desde 30 a 75 µg/l. Una vez más, es el sondeo nº 1 el que presenta las mayores concentraciones. Su distribución temporal (figura 116) muestra claramente cómo en el nº 1 se produce un aumento de sus contenidos correlacionable con el aumento de salinidad del agua. Esta correlación con la salinidad apunta a que el bario

debe estar asociado a los materiales triásicos que son los que confieren la salinidad al agua. Elevadas cantidades de bario se han encontrado asociadas a aguas de salmueras (White, 1965).

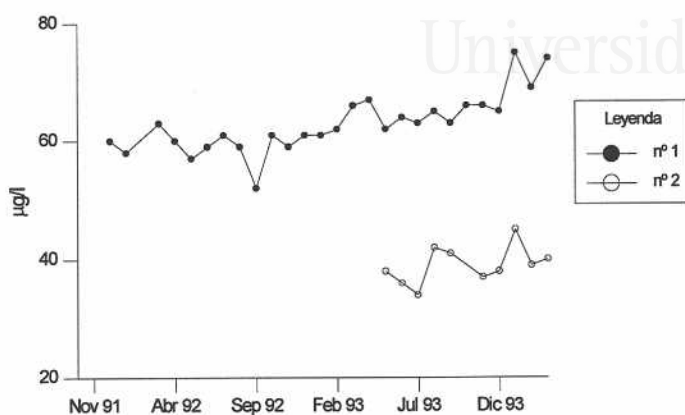


Figura 116. Evolución del contenido en bario en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Litio

Como expuse en el Acuífero de Crevillente, este ión no fue objeto de seguimiento continuado. Las determinaciones realizadas presentan concentraciones bastante diferentes entre los dos puntos seleccionados. Los valores de litio alcanzaron 58  $\mu\text{g/l}$  en el nº 1 y 19  $\mu\text{g/l}$  en el nº 2; el hecho de que las aguas del punto más salino registren mayores cantidades de litio podría estar relacionado con su origen, el cuál podría asociarse a la disolución de rocas evaporíticas.

### Boro

Las cantidades medias son 0.11 mg/l para el nº 2 y 0.31 mg/l para el nº 1. La figura

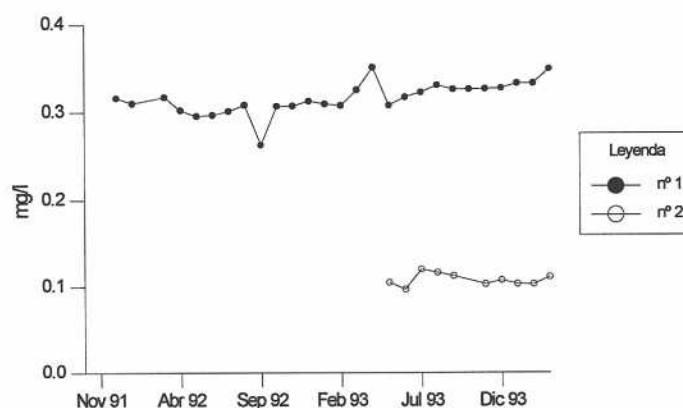


Figura 117. Evolución temporal del contenido en boro en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994



117 recoge la evolución temporal que ha seguido este elemento; en ella se puede apreciar cómo los contenidos en boro, a pesar de las variaciones poco acusadas, han sufrido un débil ascenso en el sondeo nº 1. También en este acuífero se establece una clara correlación entre la salinidad y las mayores concentraciones de boro disuelto.

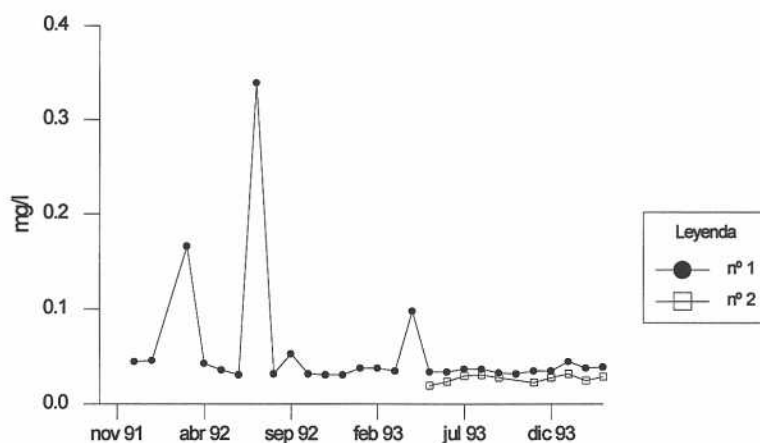
### **Amonio y nitritos**

La determinación efectuada en el nº 1 en febrero de 1995 pone de manifiesto que tanto el  $\text{NH}_4^+$  como los  $\text{NO}_2^-$  se encuentran por debajo del límite de detección en las aguas de este acuífero.

### **Metales pesados**

Al igual que ocurría en el Acuífero de Crevillente los metales pesados determinados en este trabajo se encuentran por debajo de  $20 \mu\text{g/l}$ . Únicamente el hierro presenta valores superiores. Las cantidades de hierro oscilan principalmente entre  $20$  y  $50 \mu\text{g/l}$ . De forma aleatoria se detectan valores más altos que han llegado a sobrepasar  $0.3 \text{ mg/l}$ , que podrían tener su origen en la propia tubería de la captación.

En ninguno de los dos puntos muestreados se observan variaciones significativas de los contenidos de hierro disuelto que indiquen tendencias temporales manifiestas (figura 118).



**Figura 118.** Evolución temporal del contenido en hierro en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

### **$\text{CO}_2$ Disuelto y presión parcial de $\text{CO}_2$**

Los valores obtenidos presentan habitualmente concentraciones comprendidas entre  $5$  y  $15 \text{ mg/l}$ . No obstante el nº 1 ha llegado a superar  $25 \text{ mg/l}$ , tal y como refleja la figura

119. Tampoco se observa ninguna tendencia evolutiva clara a pesar de las oscilaciones que se aprecian.

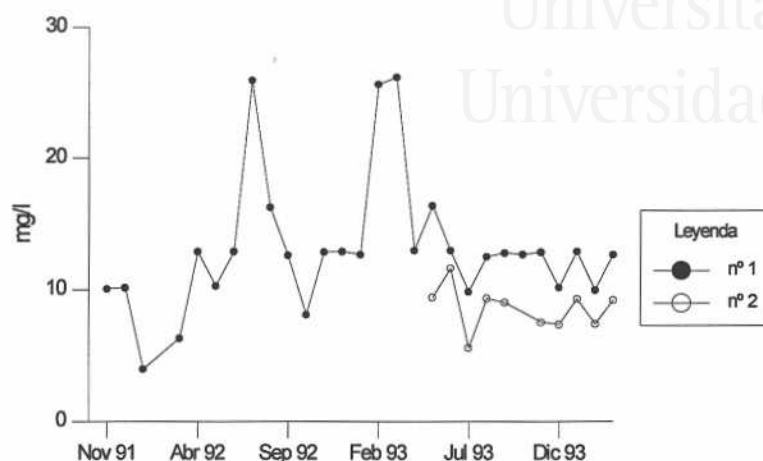


Figura 119. Evolución temporal del contenido en CO<sub>2</sub> en los puntos nº 1 y 2 durante noviembre de 1991- marzo de 1994.

El valor medio de la  $P_{CO_2}$  es del 0.78% si bien se han obtenido valores que se sitúan entre 0.26 y 1.75%. El nº 1 ofrece  $P_{CO_2}$  ligeramente superiores al nº 2. La semejanza de los contenidos de CO<sub>2</sub> en el agua de este acuífero con los del Acuífero de Crevillente podrían estar relacionadas con un origen semejante, es decir, su aporte se debe mayoritariamente a fuentes exógenas.

#### 5.4. RELACIONES IÓNICAS DE INTERÉS

##### $rMg^{2+}/rCa^{2+}$

Los valores más frecuentes de esta relación en las aguas de los sondeos controlados varían entre 0.6 para el nº 2 y 0.8 para nº 1, mostrando un incremento de la relación en la parte meridional que evidencia un mayor tiempo de contacto agua-roca y, por consiguiente, un posible flujo hacia las partes más meridionales. Los valores de  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$  no han experimentado variaciones temporales significativas.

##### $rCl^-/rHCO_3^-$ y $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$

Se han determinado valores de  $rCl^-/rHCO_3^-$  que han pasado de 5 a 7 en el sondeo nº 1, mientras que el nº 2 ha oscilado entre 2 y 2.5. Los elevados valores que presenta el punto nº 1 ponen de manifiesto un claro fenómeno de disolución de sales cloruradas, probablemente asociadas a los terrenos triásicos.

La relación  $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$  está comprendida entre 0.3 y 1.2. A diferencia de la

relación  $rCl/rHCO_3^-$ , las variaciones temporales no son tan manifiestas, debido a que el enriquecimiento salino ha sido más clorurado que sulfatado, como consecuencia de la existencia de evaporitas fuertemente enriquecidas en cloruros. El manantial de Salinetas (nº 36), ubicado en las proximidades de la Sierra del Cid y con contenidos de cloruro sódico de 160 g/l, atestigua la presencia de tales sales cloruradas en las proximidades del acuífero.

### **$rCl/rSO_4^{2-}$**

Los puntos muestrados presentan similares relaciones  $rCl/rSO_4^{2-}$ , encontrándose los valores medios entre 6 y 7. Estos valores tan elevados corroboran el mayor peso de la disolución de sales cloruradas frente a sulfatadas. La relación  $rCl/rSO_4^{2-}$  ha presentado un ligero ascenso a lo largo del tiempo, lo que evidencia que el incremento de la mineralización es mayoritariamente por cloruros.

### **$Kr$**

Los puntos utilizados presentaron valores medios de 2.6, similares a los encontrados en el Acuífero de Crevillente; luego también parecen descartarse posibles fenómenos de reducción de sulfatos.

### **$rSr^{+2}/rCa^{+2}$**

Este acuífero presenta relaciones prácticamente idénticas a las encontradas en el Acuífero de Crevillente, ya que sus aguas se encuentran dentro de un intervalo medio de 0.0080 a 0.0013. El enriquecimiento en estroncio respecto a calcio puede tener su origen en posibles fenómenos de reprecipitación del calcio como consecuencia de que el agua alcanza puntos de saturación respecto a la calcita durante el tiempo de residencia en el acuífero.

### **$rSO_4^{2-}/rCa^{+2}$**

Presenta valores inferiores a 0.5, lo que pone de manifiesto que en este acuífero, además de la disolución de yesos, intervienen otros procesos que provocan un enriquecimiento en calcio.

### **$rCl/rNa^+$**

Con relaciones de  $rCl/rNa^+$  aproximadas de 1.6, las aguas de este acuífero presentan un déficit de sodio respecto al cloruro. Esta deficiencia podría estar relacionada con el origen de dicha salinidad debido a la existencia de otras sales cloruradas en los depósitos triásicos asociados a este acuífero. Tampoco se pueden descartar otros procesos

posteriores, como cambio de bases, ya que no hay que olvidar que los materiales impermeables laterales y de muro tienen una fuerte componente arcillosa. Así, en ciertos casos puede ocurrir que las direcciones de intercambio iónico sean anómalas, de forma que la solución pierde  $\text{Na}^+$  y toma  $\text{Ca}^{2+}$  de las arcillas. Estas reacciones se denominan de intercambio inverso (Howard y Lloyd, 1983), debido a que el calcio tiene afinidad por la adsorción y tiene dificultad para ser cedido a la solución.

## 5.5. ANÁLISIS MULTIVARIANTES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

La matriz de correlación entre los distintos parámetros queda recogida en la tabla 36. Se destacan los elevados coeficientes de correlación (siempre por encima del 0.93) que presentan entre sí las variables de conductividad, calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos, cloruros y estroncio. Asimismo, es característica la correlación negativa entre la conductividad y los bicarbonatos, y la notable correlación entre los nitratos y los cationes y aniones principales junto con el estroncio.

	C	pH	t	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	HCO	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Sr}^{2+}$	$\text{SiO}_2$	B	Ba	Fe	$\text{PCO}_2$	dpH	Idol
C	1.00																		
pH	-0.48	1.00																	
t	0.62	-0.42	1.00																
$\text{Ca}^{2+}$	0.94	-0.50	0.69	1.00															
$\text{Mg}^{2+}$	0.93	-0.53	0.45	0.97	1.00														
$\text{Na}^+$	0.93	-0.51	0.72	0.92	0.97	1.00													
$\text{K}^+$	0.97	-0.44	0.62	0.91	0.92	0.90	1.00												
HCO	-0.86	0.40	-0.77	-0.80	-0.87	-0.90	-0.83	1.00											
$\text{SO}_4^{2-}$	0.94	-0.52	0.77	0.95	0.94	0.98	0.90	-0.91	1.00										
$\text{Cl}^-$	0.97	-0.51	0.72	0.97	0.97	0.97	0.93	-0.88	0.99	1.00									
$\text{NO}_3^-$	0.77	-0.61	0.77	0.80	0.86	0.89	0.74	-0.83	0.89	0.85	1.00								
$\text{Sr}^{2+}$	0.95	-0.55	0.74	0.96	0.98	0.97	0.94	-0.87	0.97	0.97	0.86	1.00							
$\text{SiO}_2$	0.79	-0.14	0.33	0.64	0.65	0.65	0.83	-0.62	0.61	0.68	0.42	0.69	1.00						
B	0.70	-0.54	0.80	0.80	0.89	0.84	0.73	-0.74	0.83	0.78	0.81	0.88	0.42	1.00					
$\text{Ba}^{2+}$	0.81	-0.57	0.75	0.91	0.93	0.88	0.80	-0.72	0.90	0.88	0.84	0.93	0.48	0.91	1.00				
$\text{Fe}^{3+}$	0.01	-0.27	0.13	0.02	0.11	0.17	0.04	-0.12	0.08	0.06	0.44	0.15	0.05	0.21	0.17	1.00			
$\text{pCO}_2$	0.31	-0.94	0.30	0.33	0.36	0.34	0.27	-0.25	0.35	0.33	0.51	0.38	0.03	0.41	0.42	0.38	1.00		
dpH	-0.17	0.92	-0.17	-0.14	-0.18	-0.20	-0.13	0.15	-0.20	-0.18	-0.37	-0.21	0.08	-0.24	-0.23	-0.31	-0.93	1.00	
Isdol	-0.03	0.85	-0.02	0.01	-0.02	-0.03	0.02	-0.02	-0.03	-0.03	-0.21	-0.05	0.18	-0.06	-0.08	-0.26	-0.88	0.98	1.00

**Tabla 36.** Coeficientes de correlación entre las distintas variables.

Con las cuarenta muestras tomadas en este acuífero y utilizando las variables de conductividad, pH, temperatura, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos,

cloruros, nitratos, estroncio, sílice, boro, bario, hierro,  $PCO_2$ , dpH e índice de saturación de la dolomita he realizado el ACP, obteniendo que las tres primeras componentes explican el

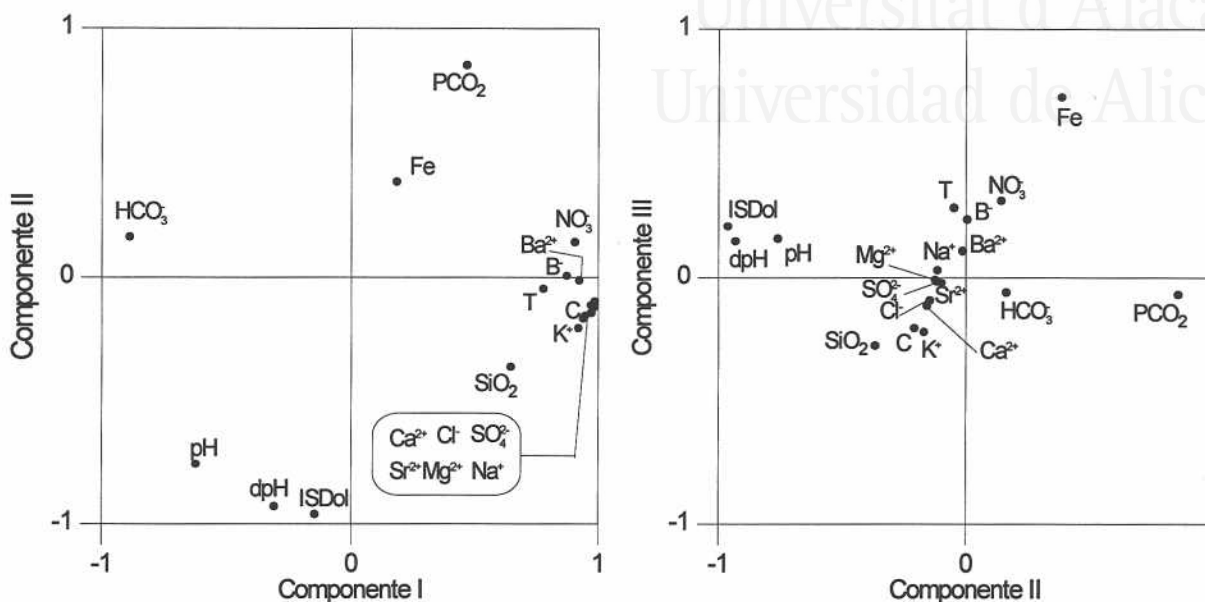


Figura 120. ACP de las variables consideradas.

89.8% de la varianza (65.3% componente I; 18.9% componente II; 5.6% componente III). Se trata de un sistema muy estructurado. En general, no se suele utilizar esta metodología cuando el 90% de la varianza es expresada por las primeras componentes; de cualquier forma he preferido mostrar gráficamente (figura 120) la distribución de las variables en el

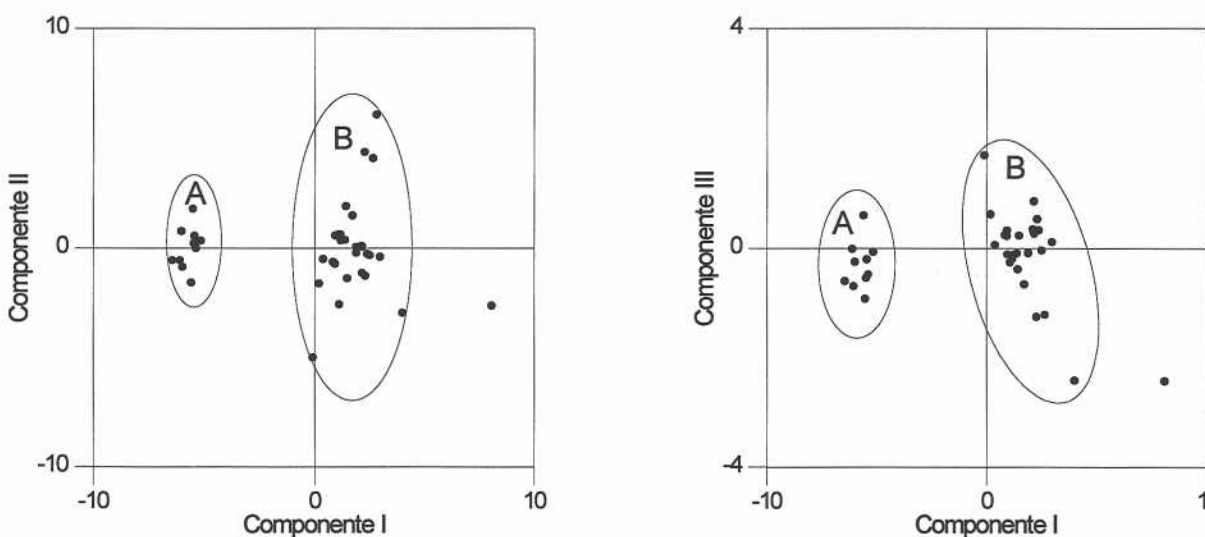


Figura 121. ACP de las muestras consideradas.

plano de las dos primeras componentes. Se puede observar cómo la componente I es la que viene condicionada por las variables conductividad, calcio, magnesio, sodio, potasio,

cloruros, sulfatos, estroncio, bario, boro, nitratos y en sentido negativo los bicarbonatos. Se trata de la componente que representa la salinidad. La componente II explica las variables dpH, índice de saturación de la dolomita y en menor medida por el pH. Finalmente el factor III tan sólo tiene significación para el hierro.

En el espacio de las unidades estadísticas (figura 121) existe una discriminación importante en función de la salinidad. Se observa que tanto en la gráfica definida por las componentes I-II como en la de las componentes I-III, el grupo A incluye todas las muestras de la parte septentrional del acuífero, de menor mineralización, mientras que las más salinas se sitúan hacia partes más positivas de la componente I. Fuera del grupo B y más alejada del origen se encuentra la muestra tomada en el punto nº 8, situado en Serreta Larga y que presenta mayores salinidades que las correspondientes a los Llanos del Cid.

## 5.6. CONDICIONES DE EQUILIBRIO-DESEQUILIBRIO: ÍNDICES DE SATURACIÓN

Para determinar las condiciones de equilibrio que se dan en este acuífero he utilizado las muestras recolectadas en marzo de 1994. También en este caso los cálculos se han efectuado mediante el programa *Soluteq*. Los dos puntos utilizados presentan aguas subsaturadas en halita, yeso, anhidrita, celestina, barita, magnesita e hidromagnesita, y saturadas respecto a dolomita, calcita, witherita y estroncianita (tabla 37). Por su parte la barita se encuentra en condiciones de equilibrio en el punto nº 1 y algo subsaturada en el nº 2, mientras el aragonito está en equilibrio en ambos puntos.

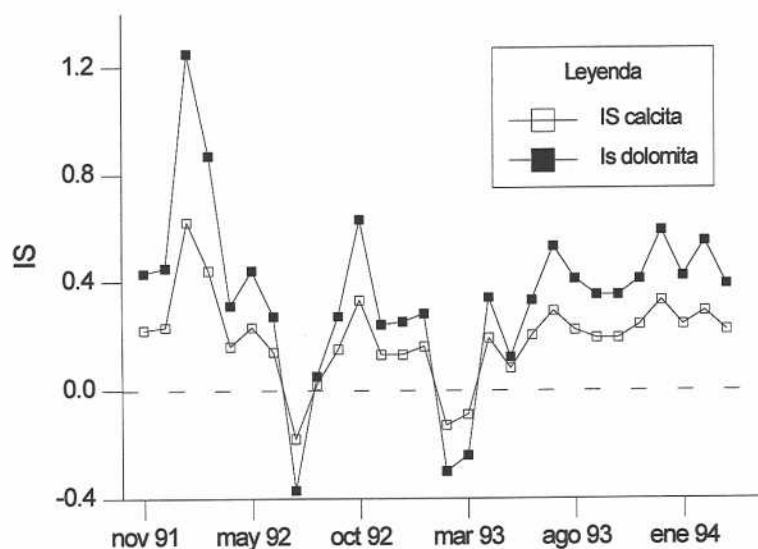


Figura 122. Evolución temporal de los índices de saturación de la calcita y dolomita durante noviembre de 1991- marzo de 1994 en los puntos nº 1 y 2.



Al igual que ocurría en el Acuífero de Crevillente, a pesar de que los IS que presenta la calcita se encuentren en estado de sobresaturación no significa que exista precipitación de carbonato cálcico, ya que se requieren índices de saturación superiores a 1 para que se den las condiciones favorables de precipitación.

En definitiva, todo parece indicar que en este acuífero las aguas tienen capacidad de disolución por lo que serán éstos los procesos dominantes.

La figura 122 muestra que las condiciones de equilibrio para la calcita y la dolomita durante el periodo de seguimiento han sido semejantes a las obtenidas en el muestreo de marzo de 1994, encontrándose saturadas; sin embargo, puntualmente se han registrado episodios en los que los índices determinan estados de subsaturación.

	nº 1	nº 2
halita	-5.24	-6.12
estroncianita	1.28	1.24
dolomita	0.39	0.41
anhidrita	-1.26	-1.84
calcita	0.22	0.29
magnesita	-0.13	-0.19
witherita	1.13	1.21
aragonito	-0.04	0.03
celestina	-1.70	-2.41
hidromagnesita	-3.44	-3.59
barita	0.01	-0.56
yeso	-1.21	-1.78

Tabla 37. Valores de los índices de saturación de algunas especies minerales.

## 5.7. CARACTERÍSTICAS ISOTÓPICAS

### 5.7.1. Isótopos estables de la molécula del agua

#### ***Oxígeno-18***

El muestreo isotópico de las aguas de este acuífero se ha realizado regularmente en el punto nº1, el cual ha proporcionado contenidos de  $\delta^{18}\text{O}$  comprendidos entre -6.28‰ y -7.11‰, con valores medios de -6.8‰. También en mayo de 1993 se muestreó el punto nº 2 registrando un valor de  $\delta^{18}\text{O} = -7.39\%$ . Las diferencias observadas en los contenidos de  $\delta^{18}\text{O}$  entre los dos puntos muestreados en este sistema acuífero pueden tener varias posibles interpretaciones:

- que el punto nº 1, al estar ubicado a cota más baja y alejado del relieve del Cid, extraiga mayor proporción de agua recargada a menor altitud, mientras que el nº 2 situado a mayor cota y próximo al relieve del Cid bombee una mayor componente de agua recargada a mayor altitud.

- que el nº 1, situado entre campos de cultivos, esté influenciado por excedentes de riego, y por tanto su agua sea una mezcla del excedente de riego y el agua subterránea. No hay que olvidar que habitualmente las aguas de riego, a pesar de tener una procedencia

subterránea, se almacenan en balsas donde se produce evaporación enriqueciéndose en isótopos pesados.

- el nº 1 es más profundo y capta también los tramos inferiores del acuífero. El agua bombeada es la resultante de la mezcla entre la parte superficial y la profunda, por lo que los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  son la combinación de las aguas de ambos tramos. Esto puede interpretarse como debido a la existencia de aguas con menores contenidos en  $\delta^{18}\text{O}$  en las partes profundas del acuífero.

Muy probablemente las diferencias del  $^{18}\text{O}$  entre ambos puntos obedezcan a la combinación de estas tres hipótesis.

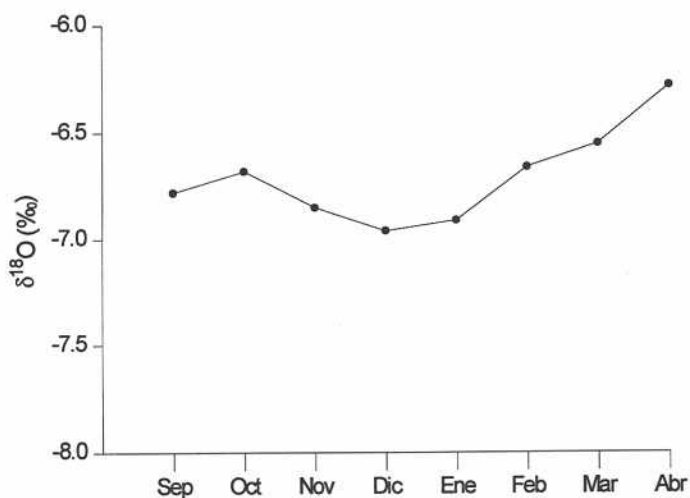


Figura 123. Evolución del  $\delta^{18}\text{O}$  en el nº 1 durante septiembre de 1993 y abril de 1994.

La evolución del  $\delta^{18}\text{O}$  durante el periodo septiembre-93/abril-94 (figura 123) muestra los valores más negativos y por tanto la mayor cantidad en moléculas ligeras durante los meses de diciembre y enero. A partir de entonces aumenta progresivamente su componente pesada, si bien sería necesario al menos un año hidrológico completo para poder observar mejor el comportamiento de este isótopo. De cualquier forma, se aprecia cierta tendencia al enriquecimiento de agua pesada coincidente con los descensos piezométricos y con los periodos de mínimas precipitaciones, lo que concuerda con la hipótesis de que los niveles profundos aportan aguas de mayor ligereza isotópica.

### **Deuterio**

El único muestreo de deuterio en las aguas de este acuífero se realizó en el punto nº 1, obteniéndose un valor de  $\delta\text{D} = 42.3\text{‰}$ . La representación frente al  $\delta^{18}\text{O}$  la sitúa por

encima de la línea meteórica mundial (figura 82), lo que quiere decir que existe un exceso de deuterio cuantificado en 13.7‰. Este valor es acorde para precipitaciones provenientes del Mediterráneo, en donde los excesos de deuterio son del 14‰ (IAEA, 1967), pudiendo alcanzar incluso valores del 18‰ (Domínguez y Custodio, 1994). En definitiva, este valor evidencia que la recarga de este acuífero se produce principalmente a partir de precipitaciones de componente E.

### 5.7.2. Tritio

En los dos puntos muestreados de este acuífero (tabla 38) se extrae agua resultante de la mezcla de aguas anterior y posterior a 1952, pero es el nº 2, el que presenta una mayor proporción de agua joven. La información que suministra el tritio es concordante con la presencia de flujos desde la parte más septentrional hacia la meridional del acuífero, así como de una posible presencia de aguas más antiguas y, por tanto, con menores contenidos en tritio en las partes inferiores del mismo.

### 5.7.3. Radiocarbono y Carbono-13

De igual forma que en el Acuífero de Crevillente, en este acuífero se realizaron determinaciones de radiocarbono para intentar establecer la edad de sus aguas. Posteriormente, se ha efectuado un seguimiento del carbono-13 en uno de los puntos seleccionados.

La metodología seguida para establecer la edad del agua ha sido idéntica a la utilizada en el Acuífero de Crevillente, por lo que las columnas A, B y C de la tabla 39, mantienen las equivalencias con la tabla 26. La utilización conjunta del  $^{14}\text{C}$  y tritio indica que el agua del nº 2 es más reciente, mientras que el agua bombeada por el nº 1 ha permanecido mayor tiempo en

Punto	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{14}\text{C}$ pmc(%)	$\text{D}^{14}\text{C}$ (‰)	T (UT)	C.M.T moles/l	ISC (%)
nº 1	-7.38	26.5	-734	1.2	3.60	20
nº 2	-7.54	36.4	-634	4.1	3.66	12

**Tabla 38.** Contenidos isotópicos del carbono-13, radiocarbono, carbono muerto, tritio, carbono mineral total e índice de solubilidad de la calcita del muestreo realizado en mayo de 1993.

contacto con la roca encajante. No obstante, la edad obtenida a partir del  $^{14}\text{C}$  para este último punto no parece estar en total concordancia con las establecidas respecto al tritio. La explicación de esta divergencia hay que atribuirle a una mezcla de aguas antiguas con aguas recientes posteriores a las pruebas nucleares. Al margen de los problemas que plantea la utilización del  $^{14}\text{C}$  para datar aguas ligadas a carbonatos (Custodio y Llamas, 1983; Mazor, 1991), la diferencia de edad entre ambos puntos también sugiere un posible

flujo desde la parte septentrional del acuífero hacia la meridional.

Los  $\delta^{13}\text{C}$  medios de  $-7.6\%$  junto con los valores del radiocarbono reflejan cierta interacción agua-roca, aunque en este acuífero es menor que la observada en el Acuífero de Crevillente. Aunque se han muestreado únicamente dos puntos, se puede comprobar cómo la muestra que presenta mayor contenido en  $\delta^{13}\text{C}$  se encuentra más saturada en  $\text{CaCO}_3$ .

Método	A	B	C
Muestra		$\text{C}_o/\text{C}_t = 0.85$	
nº 1	1600	7000	Reciente
nº2	900	9700	NA

Tabla 39. Edad de las aguas en años. NA: no aplicable.

La evolución que ha presentado el  $\delta^{13}\text{C}$  durante el intervalo muestreado refleja ciertas oscilaciones, si bien para establecer una tendencia clara sería necesario un mayor registro (figura 124).

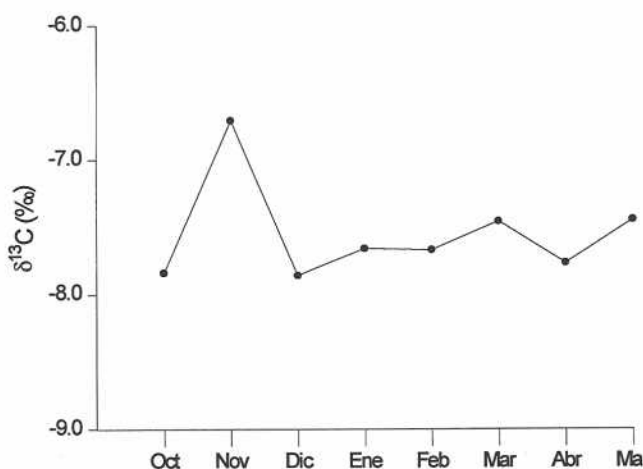


Figura 124. Evolución del  $\delta^{13}\text{C}$  en el punto nº 1 durante octubre de 1993 y mayo de 1994.

#### 5.7.4. Azufre

Además de los muestreos realizados a las aguas del acuífero, se recogió una muestra de los yesos triásicos con el propósito de conocer los valores  $\delta^{34}\text{S}$  de esta región. La muestra se obtuvo en la carretera de San Vicente del Raspeig-Agost, en una antigua cantera de yesos situada en las cercanías de Agost, a pocos kilómetros de la Sierra del Cid. El resultado de la determinación analítica del contenido en  $\delta^{34}\text{S}$  fue de  $12.9\%$ , valor ligeramente por encima de los determinados para los mismos materiales aflorantes en la Sierra de Crevillente, y a los establecidos por Claypool *et al.* (1980) para las evaporitas marinas del Keuper.

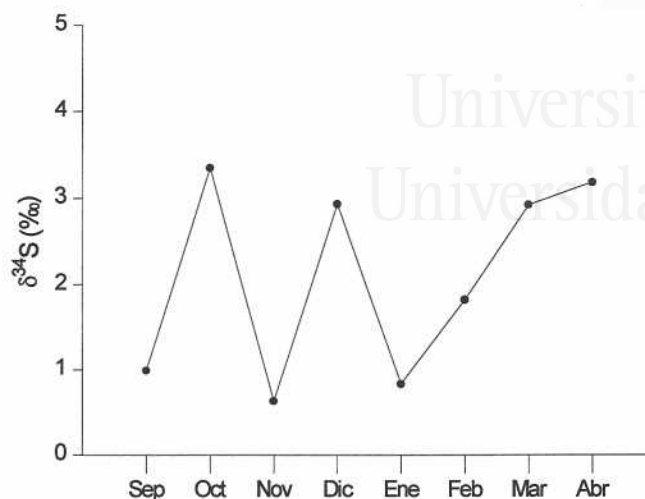


Figura 125. Evolución del  $\delta^{34}\text{S}$  en el punto n° 1 durante septiembre de 1993 y abril de 1994.

En cuanto a las determinaciones en las aguas, el primer muestreo se realizó en mayo de 1993, obteniéndose valores de 0.51‰ en el n° 2 y de 7.63‰ en el n° 1. Sin embargo, los resultados posteriores en el n° 1, cuya evolución se observa en la figura 125, no sobrepasaron los valores de 3.35‰.

Los contenidos tan bajos en  $\delta^{34}\text{S}$  que presentan las aguas de este acuífero apuntan a que el origen de los sulfatos no correspondan a los yesos triásicos; tampoco parece que pueda proceder de otros yesos incluidos en otros materiales de edad Albiense o más reciente, sino que, más bien su origen está relacionado con la presencia de sulfuros tipo pirita, calcopirita, esfalerita, etc., cuya oxidación origina el sulfato que contiene este agua. Sin embargo, no existen evidencias de mineralizaciones de sulfuros en el entorno del acuífero, aunque sí se ha podido constatar que numerosas fracturas presentan abundantes óxidos de hierro.

### 5.7.5. Nitrógeno

Además de los muestreos llevados a cabo regularmente en el punto n° 1, cuyos valores quedan recogidos en el anejo 3, en mayo de 1993 se determinó el contenido en  $\delta^{15}\text{N}$  en las aguas del n° 2, obteniéndose un valor de +2.72‰. En general, la mayor parte de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados en los nitratos de este acuífero pueden tener un origen natural propio del agua de lluvia o bien provenir de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, el valor  $\delta^{15}\text{N}$  determinado en abril de 1994 corresponde a contaminación orgánica.

La explicación de los elevados valores de  $\delta^{15}\text{N}$  que puntualmente han podido producirse durante el periodo de seguimiento de este isótopo se deben a la introducción

accidental de aguas residuales en el acuífero. En esta región, además de las aguas subterráneas y las importadas de otras cuencas, se utilizan aguas residuales para el riego. Las redes de distribución de éstas discurren por el área que comprende este acuífero, y en ella se ha comprobado la existencia de pequeñas balsas utilizadas para el reparto muy próximas a antiguas captaciones abandonadas. Existen evidencias de roturas y desbordes accidentales de tales redes que han provocado que el agua residual alcanzara la boca de sondeos abandonados, los cuales se encontraban sin ningún tipo de impermeabilización contra la infiltración, llegando a percolar hasta alcanzar la zona saturada. La entrada de este contaminante puede alcanzar fracturas preferenciales (Doerfliger y Zwahlen, 1997) que presentan comunicación con el punto nº 1. En este sentido se ha detectado contaminación bacteriológica propia de aguas residuales en momentos muy concretos .

Los valores encontrados en el mes de abril de 1994 podrían estar indicando un momento en el que se produjo entrada de agua residual al acuífero. Kaplan y Magaritz, 1986 encontraron valores comprendidos entre 19.2% y 28.8% en las aguas subterráneas de pozos cercanos a una planta de tratamiento en Rishon Le Zion en Israel.

#### 5.7.6. Radón

Las determinaciones de  $^{222}\text{Rn}$  encontrados en este acuífero son de  $3.3 \text{ Bq/l} \pm 15\%$  en el nº 2 y  $4.4 \text{ Bq/l} \pm 15\%$  en el nº 1; por su parte, el  $^{226}\text{Ra}$  es de  $0.0123 \pm 29\%$  y  $0.0275 \pm 22\%$  Bq/l respectivamente. Tanto los contenidos en radón como de radio se sitúan dentro del intervalo que ofrecen las rocas sedimentarias. Los acuíferos que originan estas rocas se caracterizan por presentar aguas con contenidos de radon semejantes en toda su extensión debido a que las emanaciones de este gas suelen ser bastante homogéneas. Según estos valores, todo apunta a que el origen del radón en este acuífero corresponde a la propia formación rocosa. Una procedencia externa del suelo parece poco factible puesto que el tiempo de desintegración del radón debe superar el tiempo necesario para que el agua de infiltración alcance el nivel piezométrico.

#### 5.8. CALIDAD DEL AGUA

- *Consumo humano.* Los caracteres físicoquímicos de las aguas del nº 2 se encuentran dentro de los límites legislados, por lo que en principio se trata de agua de calidad buena para consumo humano. No obstante, esta captación suministra agua exclusivamente para riego; otros puntos no muy distantes de éste, sí se utilizan para abastecimiento.

Por el contrario, las aguas extraídas en los Llanos del Cid por el nº 1 rebasaban en marzo de 1994 la concentración máxima admisible de residuo seco, sobrepasando con amplio margen los parámetros de magnesio y sodio. Si bien parte de sus aguas se



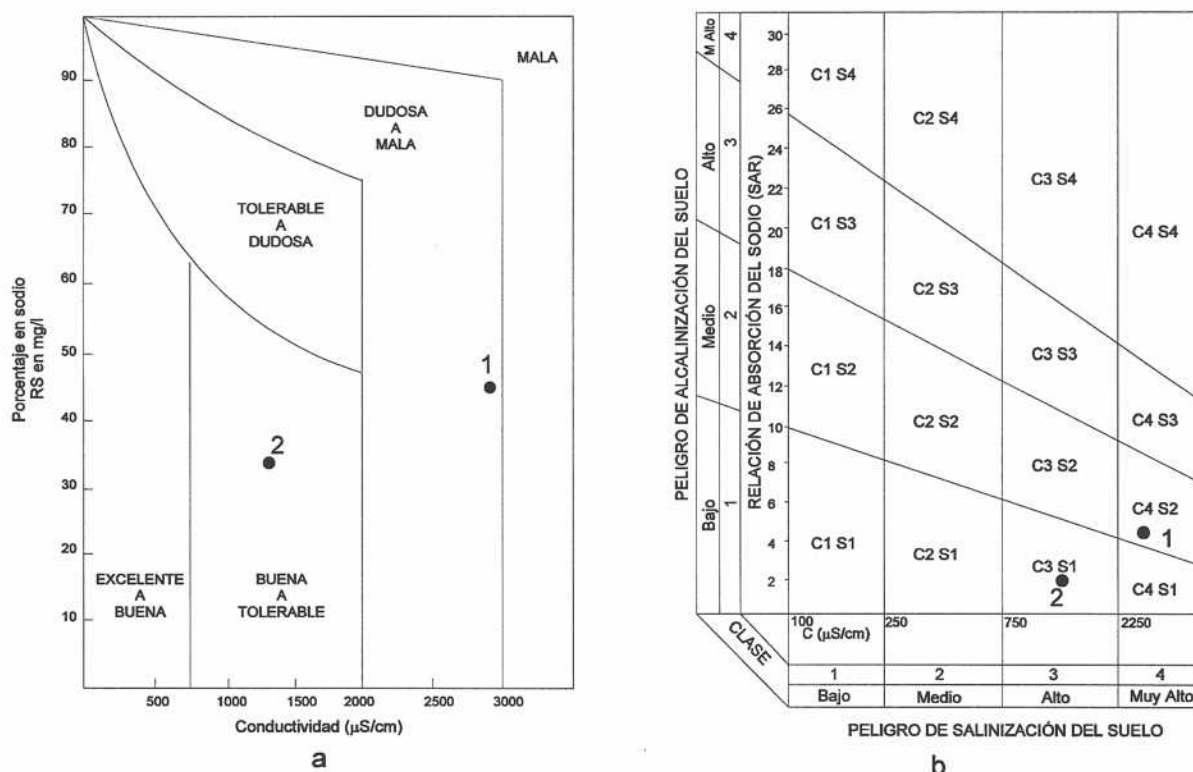
destinaban a abastecimiento, su distribución final se realizaba después de ser mezclada con agua de mejor calidad.

- *Uso agrícola.* A tenor de los valores del SAR y del SARa, el agua procedente de este acuífero es de calidad media, aunque el índice de Scott sitúa al agua del nº 2 como agua tolerable, y a la del nº 1 de calidad mediocre (tabla 40). Los valores de dureza obtenidos indican que se trata de aguas duras y muy duras para el nº 1 y 2, respectivamente. Por el contrario, los valores de CSR clasifican estas aguas como de buena calidad.

Punto	SAR	SARa	CSR	Dureza	I. Scott
nº 1	4.6	10.7	-13.7	85	2
nº 2	2.1	4.7	-5.1	43	7

**Tabla 40.** Valores de SAR: relación de adsorción de sodio; SARa: relación de adsorción de sodio ajustado; CSR: carbonato sódico residual; Dureza en grados franceses; k: índice de Scott de algunas muestras de marzo de 1994.

La representación de las normas combinadas (figura 126) pone claramente de manifiesto como las aguas del nº 2 presentan mejor calidad para fines agrícolas que las del nº1. Las características para uso agrícola son semejantes a las aguas extraídas en el Acuífero de Crevillente.



**Figura 126.** Caracterización de la calidad del agua para riego del muestreo de marzo de 1994 según los diagramas de las normas de Wilcox (a) y de Riverside (b).

## 6. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

### 6.1. FUNCIONAMIENTO EN RÉGIMEN NATURAL

Puesto que se carece de trabajos hidrogeológicos del área previos a la sobreexplotación de este sistema, no se tienen datos que indiquen cómo fue su funcionamiento en régimen natural. Las investigaciones realizadas a partir de la bibliografía geográfica e histórica han sido infructuosas, ya que nunca se mencionan manantiales cuando se hace referencia a la Sierra del Cid. Tampoco las encuestas elaboradas en campo identificaron la presencia de los mismos, sino más bien todo lo contrario, reafirmando la idea de que este sistema no tuvo manantiales. Por ello, todo parece indicar que transfería todos sus recursos de forma oculta hacia otros.

La falta de información dificulta establecer más allá de la hipótesis el funcionamiento en régimen natural de este acuífero. De cualquier forma se proponen, a título de idea general, algunas posibilidades. Parece como más probable que la mayor parte de sus recursos pudieran ser transferidos a los acuíferos detríticos situados en la parte meridional. Es probable que drenara en su mayor parte hacia los materiales cuaternarios de la depresión del Vinalopó. La población de Monforte del Cid poseía cierta riqueza en aguas subterráneas; ello había sido puesto de manifiesto por Cavanilles (1795-97) quien cita varias surgencias que brotaban junto a la misma villa y que se utilizaban para el riego de 500 tahullas. Estos manantiales se agotaron cuando se inició la transformación de los cultivos tradicionales en riegos intensivos y se comenzaron a alumbrar nuevos caudales.

La pauta de extracción de las aguas subterráneas en este sector durante el presente siglo se inició con la explotación del Cuaternario mediante pozos de poca profundidad situados en las inmediaciones del pueblo. Posteriormente, debido a que las captaciones eran insuficientes, la explotación sufrió una migración y se fue trasladando hacia el N a cotas más altas, hasta finalmente alcanzar Serreta Larga y la parte meridional de la Sierra del Cid. Los pozos y pequeñas captaciones en terreno detrítico quedaban secas, de modo que, y con el alumbramiento de aguas en las partes más altas, fueron finalmente abandonadas. A pesar del abandono, los niveles apenas se recuperaron permaneciendo únicamente como productivos aquellos sondeos situados en los materiales cretácicos.

Una posible interpretación a este fenómeno es que hubiera una zona de descarga por Serreta Larga que alimentase el Cuaternario del Valle del Vinalopó. Estas aportaciones explicarían la abundancia de aguas en este acuífero detrítico y, que el emplazamiento de los sondeos en los materiales cretácicos lo dejase sin su alimentación natural más importante impidiendo que se recuperase tras el abandono de sus extracciones.

Otra posible salida de este sistema sería el sector SE donde los materiales carbonáticos del Cid se ponen en contacto directo lateral con los terrenos detríticos de la Vega de Agost, de modo que, para situaciones de niveles piezométricos altos, podría existir una conexión entre ambos acuíferos.

Finalmente, también parecen estar relacionadas con el relieve del Cid las surgencias denominadas Salinetas y Nuevas Salinetas de Novelda. Se trata de los manantiales ubicados en los terrenos del Trías Keuper en la vertiente occidental del macizo carbonático en su descenso hacia el Río Vinalopó, y en el mismo cauce del río al N de la localidad de Novelda. El origen de estos manantiales ha sido atribuido a la descarga natural oculta de la parte NW del acuífero, concretamente de la denominada subunidad Sierra del Cid (IGME-Dip. Alicante, 1982; ITGE-Dip. Alicante, 1992; de la Torre *et al.*, 1995).

Existen referencias sobre el caudal que aportaban estos manantiales siendo el menos caudaloso el de Salinetas con 9.22 l/min, mientras que las surgencias del cauce del Vinalopó registraban caudales de 36 y 64 l/min (Figueras, 1916), lo que supone una descarga cercana a 60000 m<sup>3</sup>/año. Estos valores difieren considerablemente de los 0.3 hm<sup>3</sup>/año (IGME- Dip. Alicante, 1982) y 0.17 hm<sup>3</sup>/año (de la Torre, *et al.*, *op. cit*) aforados únicamente para el manantial de Salinetas (nº36).

## 6.2. FUNCIONAMIENTO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO

A partir de la mitad de la década de los sesenta comienza la ejecución de sondeos en las inmediaciones de Serreta Larga; éstos proliferaron de forma importante entre 1968 y 1972. Desconozco la cantidad de agua bombeada durante esos años, pero ya se debían sobrepasar los recursos propios del sistema, puesto que existen informes técnicos inéditos que advierten que un incremento en los bombeos pondrían en grave peligro las reservas del mismo, corriendo el riesgo de dejar secos los sondeos. De todas formas el número de captaciones siguió aumentando, construyéndose las últimas entre 1975-1977. Esta situación condujo a la extracción de las máximas cantidades de agua durante la primera mitad de los años setenta, con volúmenes de 24 hm<sup>3</sup> en 1974. Posteriormente, la información existente revela una fuerte reducción de los bombeos, situándose en 11 hm<sup>3</sup> en 1977 y 7 hm<sup>3</sup> en 1981 (IGME- Dip. Alicante, 1982; Oliver, 1985; Pulido-Bosch, 1986, 1988 y 1992).

La disminución progresiva de las extracciones se debió a una reducción del número de sondeos como consecuencia de dos factores (Pulido-Bosch, 1986; Rodríguez Estrella, 1986):

- Muchos de los sondeos iban quedando paulatinamente secos; debido a deficiencias

en su construcción, debieron ser abandonados y no se sustituyeron por otros.

- El descenso de los niveles piezométricos provocó una pérdida de calidad del agua, que la hacía inservible para el riego. Esta cuestión fue quizás el problema más importante que condujo prácticamente al abandono de la mayoría de las captaciones.

El abandono de las captaciones fue bastante importante, y en 1977 quedaban en funcionamiento diecisiete de las treinta y una existentes, es decir el 45% de los sondeos habían quedado inutilizados (IGME-IRYDA, 1979). La reducción continuó de forma progresiva hasta llegar a 1990. En este año tan sólo bombeaban asiduamente dos de los cuatro puntos que aún presentaban instalación eléctrica, por lo que las extracciones se situaron en 0.8 hm<sup>3</sup>.

## 7. COMPONENTES DEL BALANCE

### 7.1. SALIDAS

Las salidas se realizan exclusivamente por los bombeos efectuados en los escasos puntos del paraje de los Llanos del Cid, así como por el punto acuífero nº 2 ubicado al N de la Serreta Larga. La tabla 41 representa las cantidades bombeadas durante el periodo 1989-94; se puede observar cómo a finales de la década de los ochenta y principios de los noventa los volúmenes extraídos no alcanzaban los 2 hm<sup>3</sup>/año, aunque a partir de 1993 ha habido un nuevo incremento como consecuencia de la puesta en funcionamiento de antiguas captaciones abandonadas. Las salidas medias para el periodo seleccionado son de 2 hm<sup>3</sup>/año.

Año	hm <sup>3</sup>
1988	1.8
1989	1.7
1990	0.8
1991	1.9
1992	1.7
1993	2.5
1994	3.8
<b>Media</b>	<b>2</b>

**Tabla 41.** Extracciones en el Acuífero del Cid

La distribución de los bombeos a lo largo del año presenta una clara estacionalidad, (figura 127). Durante los meses de julio y agosto se sobrepasan los 250000 m<sup>3</sup>/mes, lo que

supone unas extracciones del 27% respecto al total anual; por el contrario, en el resto de los meses se han bombeado volúmenes comprendidos entre 90000 y 210000 m<sup>3</sup>.

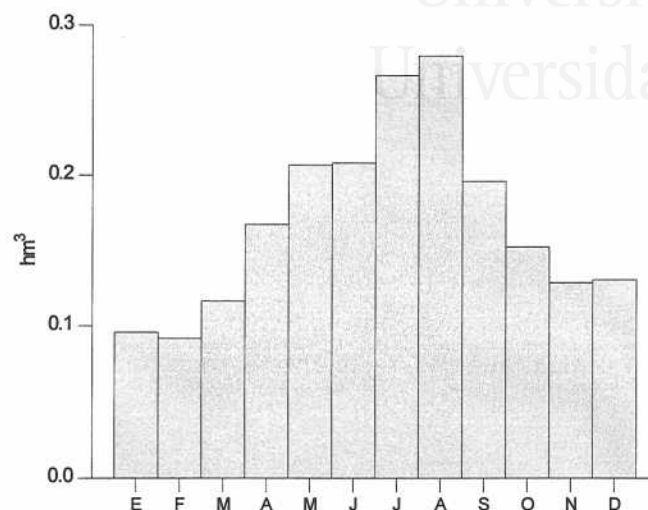


Figura 127. Distribución mensual de las extracciones.

Finalmente, hay que destacar que las salidas efectuadas por el manantial de Salinetas se evalúan en 0.17 hm<sup>3</sup>/año (de la Torre, 1995), lo que unido al resto de las otras surgencias que aparecen en el cauce del Río Vinalopó sobre los mismos terrenos triásicos estimo que pueden llegar a descargar entre 0.3 y 0.5 hm<sup>3</sup>/año.

## 7.2. ENTRADAS

En este sistema acuífero la principal fuente de alimentación es la infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los materiales carbonáticos. En menor medida, existe una cesión de agua de los materiales detríticos que cubren al acuífero en su parte meridional.

### 7.2.1. Infiltración en los terrenos carbonáticos

Al igual que en el caso del Acuífero de Crevillente, las estimaciones de la infiltración directa procedente del agua de lluvia se han efectuado utilizando las metodologías de Kessler y Thornthwaite.

#### - Método de Kessler

Se ha aplicado a las estaciones climáticas más próximas al acuífero aportando valores de infiltración comprendidos entre el 40% de Monforte del Cid y el 41% de Tibi Taleca (tabla 42), porcentajes muy similares a los encontrados para el Acuífero de Crevillente, así como en acuíferos kársticos de regiones áridas o semiáridas (López Vera y

Saiz, 1976). El aspecto más destacable es la acusada variación de los coeficientes de infiltración de unos años a otros. Así, existen años cuyas tasas de infiltración son nulos frente a otros en que asciende al 80% de la precipitación recibida.

	Agost	Novelda	Tibi T	Monforte
1963	49	45	46	41
1964	34	27	57	30
1965	45	35	46	35
1966	33	27	30	42
1967	66	53	41	56
1968	37	57	55	54
1969	17	42	23	34
1970	44	62	56	63
1971	40	34	35	42
1972	42	49	45	44
1973	53	56	52	39
1974	56	57	78	56
1975	37	37	20	36
1976	5	8	0	3
1977	29	24	36	4
1978	44	31	45	38
1979	38	34	47	36
1980	72	71	67	61
1981	60	55	49	65
1982	30	51	34	32
1983	46	37	40	43
1984	43	34	27	20
1985	33	41	24	19
1986	16	20	12	22
1987	37	37	43	35
1988	58	59	46	66
1989	42	34	35	36
1990	55	77	80	62
<b>Media</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>40</b>

**Tabla 42.** Infiltración en % respecto a la pluviometría total, calculada por el método de Kessler (1965). Las series han sido reestructuradas en años naturales.

#### - Método de Thornthwaite

Junto con la aplicación de este método he estimado los coeficientes de escorrentía, aplicando como umbrales de escorrentía valores de 20 y 40 mm. Los balances diarios se han efectuado con los datos de lluvia de la estación Tibi Taleca, ya que, según muestra el mapa de isoyetas medias (figura 11), es la que caracteriza mejor la precipitación que recibe el acuífero. El periodo 1987/88-1992/93 se ha utilizado como periodo de referencia para contrastar los resultados de recarga con el comportamiento piezométrico del sistema. Las mejores respuestas de infiltración se obtienen con una reserva útil de 35 mm (figura 128). La utilización de diferentes umbrales de escorrentía apenas refleja diferencias en los últimos años.



## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

	LI útil (mm)	I (mm) a	I (mm) b	V (hm <sup>3</sup> ) a	V (hm <sup>3</sup> ) b
1965-66	0	0	0	0	0
1966-67	49.9	10	49	0.3	1.4
1967-68	38.7	35.9	38.7	1	1.1
1968-69	129.7	89.8	118.2	2.5	3.3
1969-70	57.6	57	57.6	1.6	1.6
1970-71	113.2	103.3	113.2	2.9	3.2
1971-72	266.6	203.4	245.3	5.7	6.9
1972-73	168.4	142.1	164.7	4	4.6
1973-74	162.5	155	162.5	4.3	4.6
1974-75	122.4	88.2	114.4	2.5	3.2
1975-76	24.4	24.2	24.4	0.7	0.7
1976-77	99	98.3	98.8	2.8	2.8
1977-78	0.3	0	0.3	0	0
1978-79	36.1	35.4	36.1	1	1
1979-80	213.3	135.7	183.3	3.8	5.1
1980-81	13.4	11.7	13.4	0.3	0.4
1981-82	87.2	79.2	87.2	2.2	2.4
1982-83	112	85.3	101	2.4	2.8
1983-84	12.5	10.2	12.5	0.3	0.4
1984-85	53.1	49.9	53.1	1.4	1.5
1985-86	108	71.2	98.3	2	2.8
1986-87	77.3	70.4	76.8	2	2.2
1987-88	284.8	195	247.4	5.5	6.9
1988-89	226.1	144.2	193.5	4	5.4
1989-90	115.3	112.2	115.3	3.1	3.2
1990-91	93.4	93.4	93.4	2.6	2.6
1991-92	58.3	53	58.2	1.5	1.6
1992-93	101.4	100.6	101.4	2.8	2.8
1993-94	34.7	33.6	34.7	0.9	1
media	98.6	78.9	92.9	2.2	2.6
%		20.5	24.1		

**Tabla 43.** Estimaciones de las entradas en el acuífero; I: infiltración; V: volumen infiltrado; columna a:  $P_0 = 20$  mm; columna b:  $P_0 = 40$  mm.

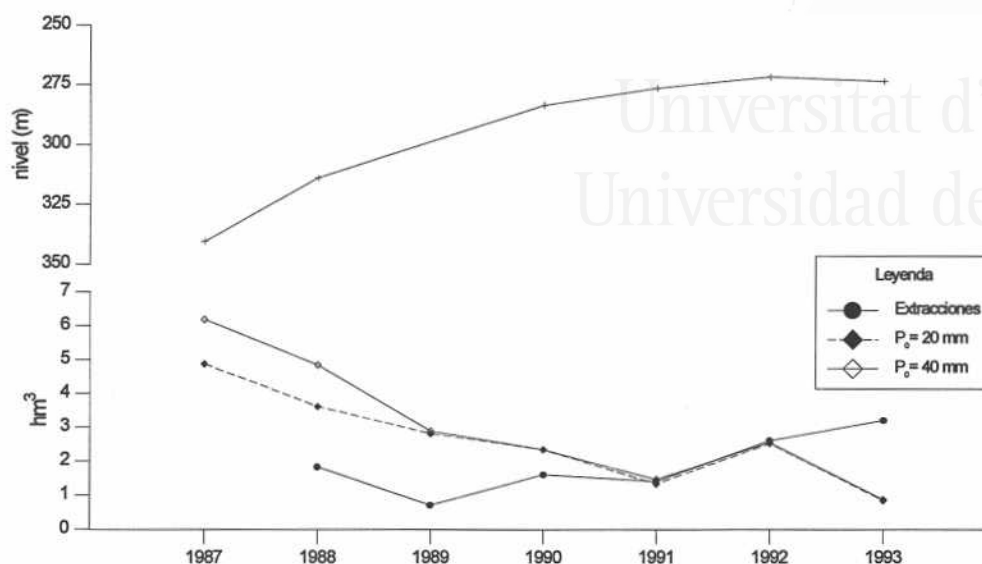


Figura 128. Estimación de la infiltración por el método Thornthwaite.

La extrapolación de los valores de reserva útil al periodo 1965/66-1992/93, intervalo del que se dispone de registro de precipitaciones diarias en la estación Tibi Taleca aporta unos valores de infiltración medios comprendidos entre 78.9 y 92.9 mm/año, si bien existen años en los que se superan los 200 mm/año y otros en los que no se produce ninguna. La extensión de afloramientos carbonáticos que he considerado es de 28 km<sup>2</sup>, por lo que la cantidad de agua que se infiltraría por estos materiales está comprendida entre 2.2. y 2.6 hm<sup>3</sup>/año (tabla 43). Los coeficientes de infiltración medios se sitúan entre 21 y 24% de la precipitación recibida, valores bastante más bajos a los estimados mediante la metodología de Kessler.

### 7.2.2. Infiltración cedida por los materiales detríticos

En la parte meridional del acuífero, concretamente en el paraje de los Llanos del Cid los materiales carbonáticos aparecen cubiertos por depósitos recientes detríticos, sobre los cuales existen plantaciones de vid. La alimentación de estos materiales procede del agua de lluvia y del retorno de riegos. Parte del agua que se infiltra en estos materiales es cedida posteriormente al Acuífero del Cid. En definitiva, estos materiales actúan como meros transmisores de agua y, por tanto, forman parte del acuífero.

Para establecer la infiltración proveniente de la lluvia directa, he procedido de igual forma que para los materiales carbonáticos. En este caso se ha utilizado un umbral de escorrentía de 16 mm, valor recomendable por el *U.S. Soil Conservation Service* para cultivos en hilera, entre los que se encuentra la vid, con suelos con capacidad de infiltración moderada. Para efectuar los balances diarios de Thornthwaite se ha utilizado una reserva

útil de 100 mm. El periodo seleccionado en este caso ha sido todo el registro que presentaba la estación de Tibi-Taleca. La infiltración media estimada, para los 5 km<sup>2</sup> de extensión que comprenden estos materiales, se sitúa en 0.1 hm<sup>3</sup>/año.

Los retornos de riego se han calculado atendiendo a la extensión que ocupan los cultivos y las dotaciones que agua que reciben. En este caso se trata de agua externa al sistema, ya que actualmente el riego de este paraje es distribuido por la Comunidad de Regantes de Monforte del Cid, la cual dejó de bombear agua de este acuífero a principios de esta década. Los terrenos cultivados sobre el acuífero se estiman entre 200 y 400 has, de forma que para una dotación aproximada de 4000 m<sup>3</sup>/ha.año esta superficie recibe un volumen de 0.8 a 1.6 hm<sup>3</sup>/año. Si al valor medio le aplicamos un retorno de riegos entre el 20 y 30% se obtienen cantidades medias inferiores a 0.3 hm<sup>3</sup>/año.

En definitiva, se puede establecer que el volumen de agua, que la parte detrítica es capaz de ceder a los materiales infrayacentes se encontraría por debajo de 0.4 hm<sup>3</sup>/año.

### 7.2.3. Recarga

En un intento de aproximación de establecer la recarga total de este sistema, se puede decir que ésta se sitúa entre 2.6 y 3 hm<sup>3</sup>/año. No obstante, también para este acuífero el hecho de que coexistan años con recargas superiores a 7 hm<sup>3</sup> con otros inferiores a 1 hm<sup>3</sup>, cuestiona considerablemente la significación de los valores medios.

## 8. AJUSTE DEL BALANCE Y ESTADO DEL ACUÍFERO

Las salidas medias por bombeos que se han producido en los últimos años se han estimado alrededor de 2 hm<sup>3</sup>/año, mientras que las posibles descargas hacia los materiales triásicos están comprendidas entre 0.3 y 0.5 hm<sup>3</sup>. Ello supone unas salidas medias en torno a 2.5 hm<sup>3</sup>/año.

Las entradas medias originadas por la infiltración son de 2.2 a 2.6 hm<sup>3</sup>/año y aproximadamente 0.4 hm<sup>3</sup>/año cedido por los materiales detríticos superpuestos, esto supone unas entradas totales de 2.6 a 3 hm<sup>3</sup>/año.

Este balance pone de manifiesto que el sistema presenta un estado de equilibrio o ligero superávit, si bien, las escasas entradas originadas por la época seca posterior a 1991 han disminuido la tasa de recuperación e incluso han llegado a producir ligeros descensos del nivel piezométrico.

## 9. RESERVAS

La estimación de las reservas en este acuífero no deja de ser especulativa, dado que se carece de suficiente información para obtener un valor representativo. Además, la estructuración que presenta el sector de los Llanos del Cid en forma de cubeta provoca una reducción del vaso que se traduce en una disminución de las mismas con el aumento de la profundidad. Algunos estudios previos estiman las reservas de este acuífero en aproximadamente 100 hm<sup>3</sup> (IGME-Dip. de Alicante, 1982).

Al realizar un balance aproximado entre los años 1991-93 se obtiene que para un superávit en las entradas de aproximadamente 1.7 hm<sup>3</sup> se produjo un ascenso piezométrico de 4.7 m. Relacionando estos valores con una columna media saturada de acuífero de 130 m se puede establecer un volumen de reservas en torno a 50 hm<sup>3</sup>. No obstante, la representatividad de este valor tan sólo indica un orden de magnitud.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **VI. HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR**





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Los puntos de agua inventariados en este acuífero han sido tomados, en su gran mayoría, del Inventario Nacional del IGME, llevado a cabo entre 1972 y 1977. Para su elaboración he revisado y completado las nuevas captaciones realizadas en los últimos años. A pesar de ser un acuífero de pequeña extensión existen 43 puntos. La gran mayoría son sondeos efectuados en los primeros años de la década de los sesenta, como consecuencia de la fuerte demanda de agua a nivel regional.

Como en los anteriores ejemplos, en el Cabeçó d'Or existe una gran irregularidad en la distribución de las captaciones. La práctica totalidad de puntos se concentra en la parte meridional de la sierra (figura 129), coincidiendo con las áreas de descarga natural del acuífero. Los alrededores de Aigües, con dieciocho captaciones, y el Barranco de Salmitre, con nueve, son los sectores más intensamente perforados; sin embargo, no todos los sondeos efectuados alcanzaron el Acuífero del Cabeçó d'Or. Repartidos por las inmediaciones de la sierra aparecen perforaciones que, debido a su mal emplazamiento, resultaron negativas y, por tanto, abandonadas tras su realización.

El número de sondeos útiles fue disminuyendo con el tiempo y en la actualidad bombean frecuentemente tres de ellos, si bien presentan instalación eléctrica dos más, los cuales son utilizados únicamente en momentos de necesidad. Si bien inicialmente el principal destino de las aguas fue el agrícola, el uso actual es el abastecimiento a las localidades de Aigües y Busot, así como a alguna urbanización de El Campello; no obstante, una parte de la extracción continúa destinándose a regadío.

El inventario también incluye los principales manantiales que existían en el acuífero cuando funcionaba en régimen natural. Éstos se encuentran secos desde hace más de treinta años. Entre ellos, destaca el manantial de Los Baños (nº 29), máximo representante de la cantidad de nacimientos que surgían en las inmediaciones de Aigües, junto al que se construyó el Balneario de Busot, cuyo edificio ha perdurado hasta nuestros días. En el área estudiada existen algunas pequeñas surgencias que continúan brotando actualmente, y que ponen de manifiesto una clara desconexión con la zona saturada del acuífero. En ningún caso los caudales de estos manantiales sobrepasan 1 l/s.

A lo largo de la Sierra del Cabeçó d'Or existen innumerables perforaciones y pozos, algunos de ellos de más de 20 m, que no están contemplados en este inventario. Se debe a que no se trata realmente de obras de captación de aguas subterráneas, sino de catas mineras cuyo objetivo era la exploración y extracción de mineralizaciones, principalmente de hierro y estroncio, que aparecen relacionadas con algunos materiales que constituyen este relieve.

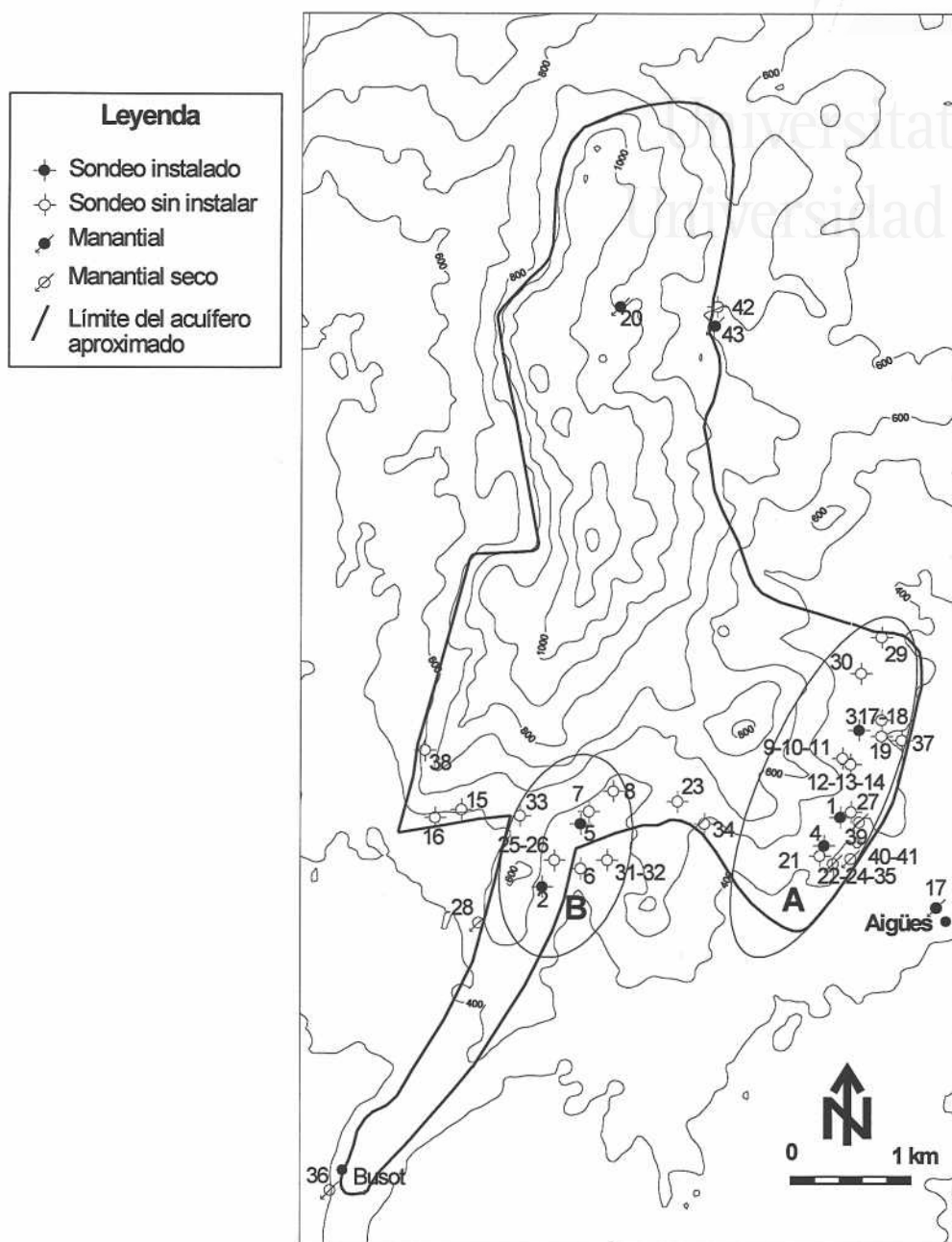


Figura 129. Distribución de los puntos de agua en el Acuífero del Cabeço d'Or. A:sector de Aigües; B:sector de Salmitre.

## 2. COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS MATERIALES

- Calizas del Jurásico-Cretácico inferior y Areniscas del Valanginiense (J y C-1). La unidad J, constituida fundamentalmente por calizas del Jurásico superior y Cretácico inferior, junto al tramo suprayacente de areniscas y calcarenitas del Valanginiense (C-1) conforman el Acuífero del Cabeço d'Or. La potencia total del sistema no se conoce con exactitud, si bien

a partir de los datos de sondeos, se sabe que sobrepasa los 450 m. Ambas unidades muestran porosidad secundaria debido a una elevada fisuración y karstificación.

- Margas del Cretácico inferior (C-2, C-3 y C-5). Con comportamiento impermeable aparecen las margas y margocalizas de las unidades C-2, C-3 y C-5. Estos materiales bordean principalmente el relieve carbonático, y debido a la estructuración tectónica que presenta el relieve, pueden constituir el impermeable lateral y basal en la vertiente occidental, así como el impermeable lateral y de techo en la vertiente oriental. Las principales surgencias que presentaba este sistema aparecían relacionadas con el contacto de estos materiales con las calizas de la unidad J. La formación C-3 hacia techo presenta niveles calcareníticos alternantes en la serie margosa, por lo que localmente puede llegar a tener propiedades de acuitardo o de acuífero muy pobre.

- Calizas arrecifales (C-4). Los materiales de la unidad C-4, formados por calizas procedentes de construcciones arrecifales, presentan propiedades acuíferas. A la porosidad primaria que tiene este tipo de materiales, hay que unirle una secundaria a causa de la fracturación que han sufrido por procesos tectónicos. Sin embargo, su escasa potencia, habitualmente inferior a 10 m, la pequeña extensión superficial que tienen, al presentar una compartimentación en bloques aislados y su confinamiento entre las margas del C-3 y C-5, le impiden presentar una superficie de recarga importante y anulan su interés hidrogeológico en las inmediaciones del Cabeçó d'Or.

- Calizas del Cretácico superior (C-6). Las calizas tableadas del Cretácico superior también desarrollan una porosidad secundaria por razones semejantes a otros materiales carbonáticos; por consiguiente, su comportamiento es acuífero. La presencia de estratos margosos en el techo de la unidad reduce sus características hidráulicas. El emplazamiento de esta unidad en algunos sectores elevados del relieve, en contacto directo con los materiales jurásicos les hace formar parte del sistema del Cabeçó d'Or. Relacionados con estos materiales aparecen algunas de las surgencias incluidas en el inventario de puntos de agua (nº20). En general, se trata de pequeños manantiales cuyos caudales no alcanzan 1 l/s.

- Serie flysch (T). La Sierra del Cabeçó d'Or se encuentra totalmente rodeada por la serie flyschoides del Oligoceno. Se compone fundamentalmente de una secuencia de margas con intercalaciones de bancos arenosos y calcareníticos que presentan un carácter de acuífero multicapa, pero con rendimientos muy bajos, por lo que a nivel regional se puede considerar como acuitardo o acuícludo.

- Materiales recientes (P-Q). Por último se encuentran los terrenos plioceno-cuaternarios, que en este caso, formados por depósitos de ladera o de piedemonte, depósitos aluviales ligados a barrancos y travertinos ubicados en los antiguos manantiales termales, podrían

constituir acuíferos ya que presentan buena porosidad primaria, si bien debido a la poca extensión y potencia que desarrollan en las inmediaciones del Cabeçó d'Or apenas presentan interés hidrogeológico.

### 3. GEOMETRÍA Y LÍMITES

Ninguno de los sondeos realizados en este sistema ha alcanzado el impermeable de base, por lo que existen ciertas dudas sobre el mismo. Al S de la provincia de Valencia bajo las calizas del Jurásico terminal existen margas blancas del Kimmeridgiense (Champetier, 1972). Sin embargo, en los afloramientos jurásicos más cercanos al Cabeçó d'Or nunca llegan a aflorar estas margas (Granier, 1987), por lo que existe la posibilidad de que sean otros materiales los que actúen como impermeable basal.

La estructuración que presenta este acuífero en anticlinal condiciona que a grandes rasgos sean los propios materiales suprayacentes cretácicos y terciarios los confinantes en ambos flancos, constituyendo sus límites oriental y occidental. La complejidad tectónica provoca que el flanco occidental cabalgue sobre su misma serie en la parte N, por lo que el límite NW queda colgado a mayor cota. El cabalgamiento disminuye su desplazamiento hacia el S de forma que en la parte meridional son las margas del Cretácico inferior en serie normal las que actúan de impermeable lateral (figura 130).

Respecto al límite oriental, no se observan en superficie evidencias de una ruptura suficientemente importante que implique el confinamiento lateral por esta parte, por lo que es muy probable que el acuífero se extienda en profundidad hacia el E por debajo de toda la serie cretácica y terciaria.

El límite septentrional del acuífero está condicionado por la terminación del cabalgamiento; así, mientras su parte occidental se encuentra totalmente superpuesta a los materiales terciarios, la parte oriental acaba en una falla en la que las calizas quedan confinadas por las margas cretácicas.

La terminación del Cabeçó d'Or en el S coincide con fallas normales que hundan los bloques meridionales; sin embargo, el acuífero se extiende más hacia el S al encontrarse en conexión hidráulica con el Alto de Salmitre. A su vez, este último permanece como otro relieve elevado unido al Cabeçó d'Or y rodeado por accidentes tectónicos que geomorfológicamente originan un horst. El acuífero continúa hacia el S de forma oculta bajo el conjunto de la serie cretácica y terciaria hasta alcanzar la localidad de Busot, donde nuevamente por fracturas, aflora otro horst de materiales del Jurásico terminal-Cretácico inferior y en el que existían surgencias relacionadas con este sistema acuífero.

Universitat d'Alacant  
 Universidad de Alicante

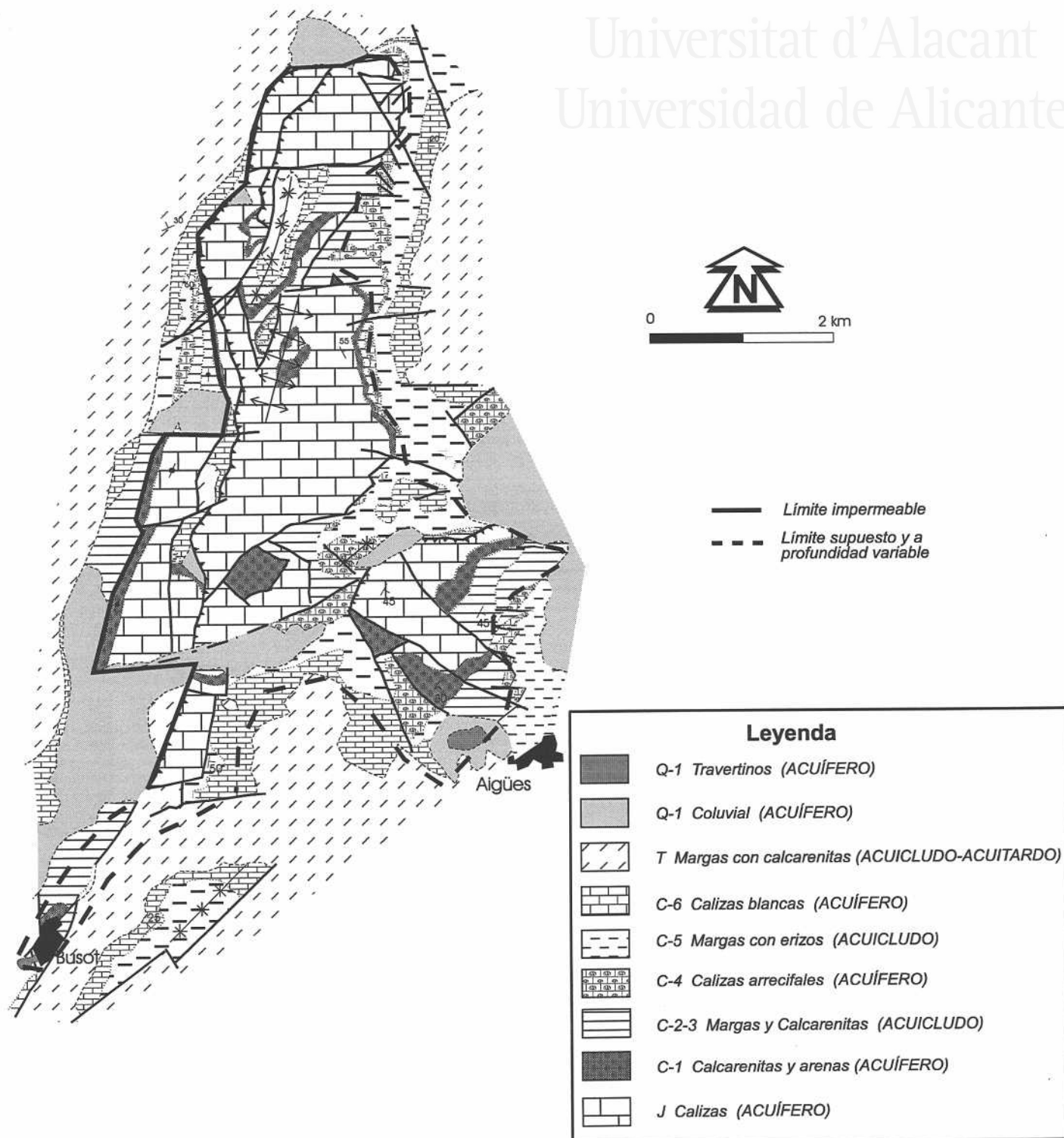


Figura 130. Esquema hidrogeológico del Acuífero del Cabeço d'Or.



## 4. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS

### 4.1. PIEZOMETRÍA

#### 4.1.1. Red de control piezométrico

El seguimiento de los niveles piezométricos se llevó a cabo en los puntos nº 2, 6 y 19. Al igual que en los anteriores sistemas, la frecuencia de las mediciones fue mensual. Las medidas se realizaron con una sonda tipo *Meyer* en los puntos sin instalación eléctrica, y mediante las propias sondas instaladas en la captación cuando se encontraban equipados y tenían tubos piezométricos. A partir de enero de 1994 se pudo contar con el apoyo de una estación automática que se instaló en el punto nº 19. Esta estación presenta idénticas características técnicas a la descrita en el Acuífero de Crevillente. Dado que las oscilaciones piezométricas estacionales en este acuífero eran mucho menores, se pudo realizar una calibración mucho más precisa. El rango de medida establecido fue para 3 m, lo que significa que la sonda sólo es capaz de reconocer alturas de agua por debajo de 3 m; presiones superiores a las ejercidas por esa columna de agua, responden con impulsos eléctricos de 40 mA. La ventaja de esta calibración es que los errores que se cometen al tomar el nivel piezométrico son inferiores a 2 cm.

#### 4.1.2. Evolución piezométrica

Como ocurría en los otros sistemas acuíferos, tampoco se dispone de series de niveles piezométricos desde el inicio de la explotación intensiva, aunque la existencia de los manantiales más importantes a una cota aproximada de 420 m s.n.m., establece el punto de partida para una reconstrucción evolutiva.

Las primeras mediciones fueron tomadas en 1977, y alcanzaron la superficie piezométrica a 210 m s.n.m., es decir, desde el inicio de las explotaciones en 1963 hasta esa fecha se produjo una bajada absoluta de 210 m, que supone un descenso relativo de 19 m/año (IGME-IRYDA, 1978a; IGME-Dip. Alicante, 1982; IGME, 1987; Andreu, *et al.*, 1992; Andreu, 1995). A partir de 1978, comienza un seguimiento piezométrico más o menos continuado, el cual ha perdurado hasta la actualidad. En la curva piezométrica (figura 131) se pueden reconocer varias etapas por las que ha pasado el sistema:

- 1ª etapa comprendida entre los años 1978-82. Se observa un descenso importante, paliado por periodos estacionales lluviosos. Las abundantes precipitaciones caídas sobre el Cabecó d'Or durante el primer semestre de 1980 originaron un rápido ascenso de los niveles de casi 5 m desde diciembre de 1979 a junio de 1980. No obstante, la tendencia descendente perduró hasta mediados de 1982, por lo que la pérdida de cota del agua se estima alrededor de 7 m/año (Andreu *et al.*, 1992; Pulido-Bosch *et al.*, 1995);

este descenso es mucho menor que el sufrido al inicio de la explotación del sistema.

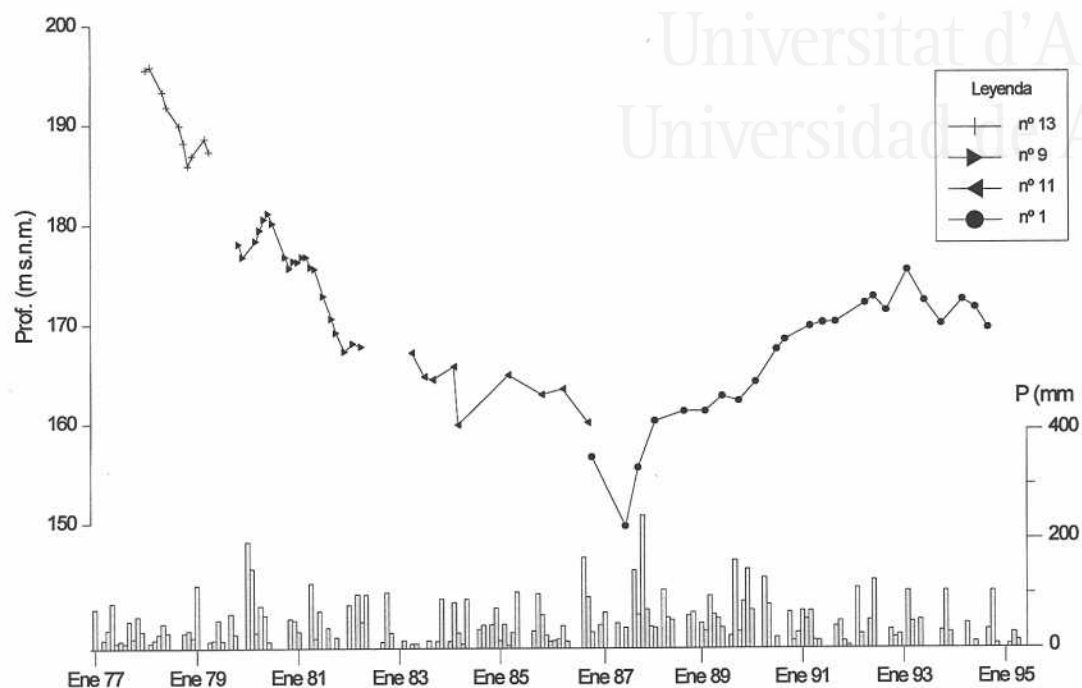


Figura 131. Evolución piezométrica en el Cabeçó d'Or durante el periodo 1977-1995.

- 2ª etapa que abarca desde 1982 hasta mediados de 1987. Se caracteriza por una fuerte recesión de los descensos. Las pérdidas de nivel relativo se pueden establecer en torno a 1 m/año. La reducción de los descensos ha sido atribuida a la disminución de la extracciones de agua, a causa del abandono de multitud de captaciones al quedar secas y tener mayores costes de extracción (IGME-Dip. Alicante, 1982).

- 3ª etapa desde mediados de 1987 hasta 1993. Las entradas procedentes de la lluvia superan las salidas, por lo que el sistema cambia de tendencia y entra en una clara recuperación. El ascenso registrado en el sondeo nº 1 desde febrero de 1987 a febrero de 1993 ha sido de 19 m.

- 4ª etapa desde 1993 hasta la actualidad. Presenta precipitaciones muy inferiores a la media del entorno; como consecuencia se produce la pérdida de cota del nivel piezométrico a pesar de que las extracciones siguen siendo similares a los años anteriores.

#### 4.1.3. Variaciones estacionales

Las variaciones piezométricas obtenidas durante el seguimiento de los puntos nº 19 y 2 muestran un comportamiento totalmente semejante (figura 132), por lo que queda clara la conexión hidráulica existente entre la parte de Aigües y la parte de Salmitre. El comportamiento del punto nº6, a pesar de encontrarse a unos 500 m del nº 2, es

totalmente diferente por lo que es probable que no llegue a alcanzar el acuífero jurásico.

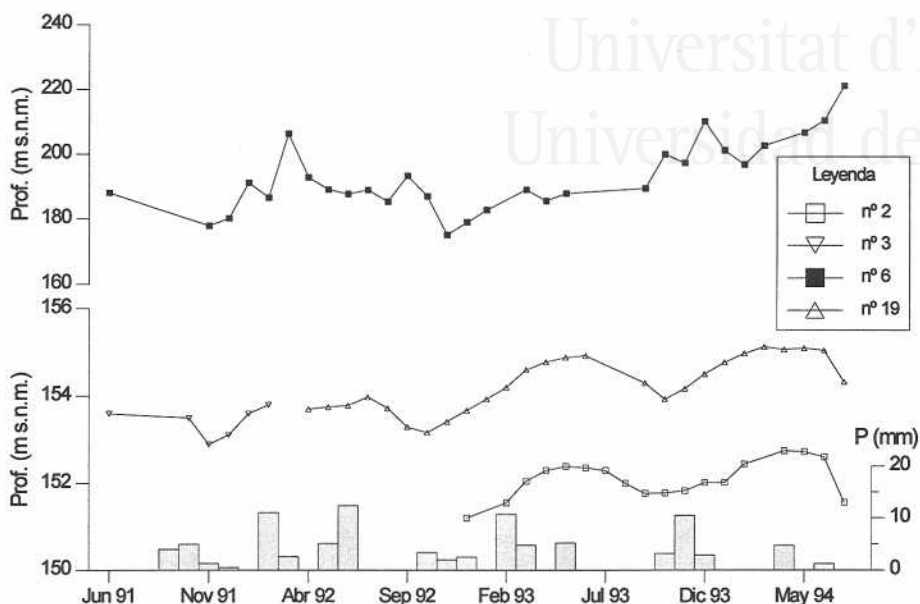


Figura 132. Variaciones piezométricas mensuales.

En cuanto al comportamiento de la superficie piezométrica a lo largo de un ciclo, se aprecia un carácter estacional, cuyos niveles más bajos se suelen registrar en los meses de octubre, mientras que los más altos se producen en junio. No obstante, la amplitud de las oscilaciones estacionales son inferiores a los 2 m. Por el contrario, el sondeo n° 6 muestra un comportamiento totalmente diferente, aunque se correlacionan relativamente bien los ascensos piezométricos con las precipitaciones.

#### 4.1.4. Comportamiento hidrodinámico del acuífero

El esquema de funcionamiento hidrodinámico propuesto para este acuífero (figura 133) muestra que el flujo tiene una componente mayoritaria de N a S. Las escasas diferencias del nivel piezométrico reflejan que los gradientes hidráulicos son muy débiles, al menos en la parte meridional en la que se encuentran los puntos de control.

## 4.2. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Dispongo de tres bombeos de ensayo realizados por el IGME-Dip. Alicante en las captaciones destinadas al abastecimiento de las localidades de Aigües y Busot. De ellas, dos se realizaron hace algunos años, pero debido a que la profundidad del nivel piezométrico era semejante a la actual, los parámetros hidráulicos tienen total validez en la actualidad. Desafortunadamente, en estas pruebas no se pudieron obtener los coeficientes de almacenamiento para este acuífero.

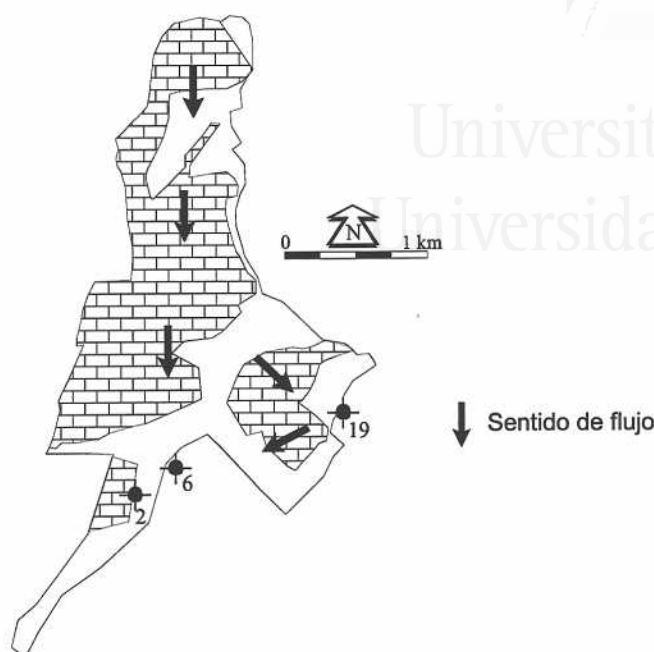


Figura 133. Esquema de direcciones y sentido del flujo subterráneo.

- Prueba nº 1. Este ensayo se efectuó en junio de 1983 en el sondeo nº 1. El caudal de bombeo fue establecido en 27 l/s, y las medidas de descensos se realizaron en el mismo pozo de bombeo y en un piezómetro situado a 650 m. Sin embargo, este último no se vió afectado en ningún momento, permaneciendo su nivel estable durante toda la prueba de bombeo. Por esta razón no se pudo calcular el coeficiente de almacenamiento. Tampoco hubo posibilidad de medir la recuperación, ya que no se disponían de válvulas de retención.

La interpretación de la curva de descensos (figura 134) ofrece cierta complejidad. Se observan varios tramos con pendientes diferentes que podrían tener cierta relación con la existencia de una karstificación irregular del macizo. Sin embargo, los dos primeros podrían deberse a un efecto de capacidad del sondeo, ya que, la aplicación del test de validez exige tiempos superiores a 60 min. Descartando los primeros tramos, se puede estimar una primera recta para la cual se obtienen valores de transmisividad en torno a  $160 \text{ m}^2/\text{día}$  y una segunda con

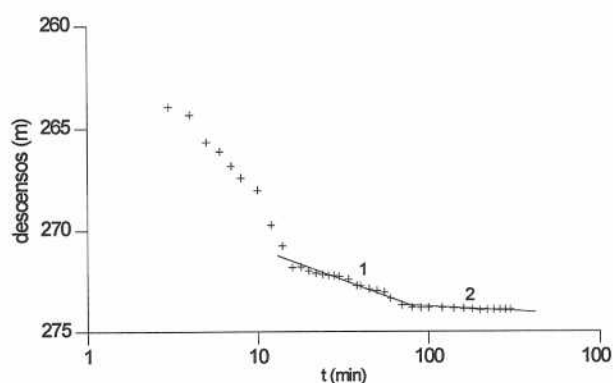


Figura 134. Comportamiento del nivel piezométrico durante el bombeo de ensayo en del punto nº 1.

1200 m<sup>2</sup>/día. Este tipo de curvas que alcanzan su estabilización después de una evolución exponencial han sido interpretadas como respuestas influenciadas por la karstificación (Gouin, 1988). Los valores de permeabilidad calculados a partir de estas transmisividades abarcan el intervalo comprendido entre 1 y 10 m/día.

- **Prueba n° 2.** Se realizó en noviembre de 1986 en el n° 2. La prueba tuvo una duración de algo más de 20 h, en la cual únicamente se realizaron las medidas de descensos en el pozo de bombeo; posteriormente midió la recuperación del nivel piezométrico. El caudal de bombeo fue de 30 l/s. Los resultados de transmisividades obtenidos de las curvas de descenso y recuperación (figura 135a y b) han sido de 800 m<sup>2</sup>/día y 2400 m<sup>2</sup>/día respectivamente, lo que supone valores de permeabilidad comprendidos entre 5 y 15 m/día. El tipo de curva de descenso encontrada recuerda bastante a la obtenida en la prueba n° 1, por lo que podría tener una significación similar.

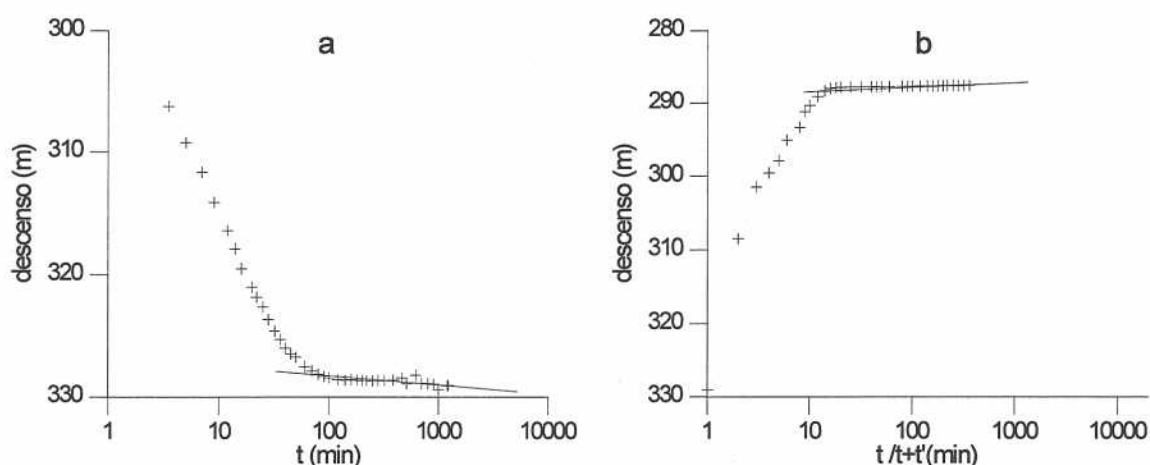


Figura 135. Comportamiento del nivel piezométrico durante el bombeo de ensayo del punto n° 2; curva de descensos (a) y de recuperación (b).

- **Prueba n° 3.** Fue llevada a cabo en enero de 1991 en el punto acuífero n° 3, y a diferencia de las anteriores, se realizaron tres escalones con caudales crecientes de 15, 30 y 40 l/s. El tiempo total invertido fue de 25 horas. En esta prueba no se hicieron mediciones de recuperación ni tampoco de descensos en piezómetros.

La representación de la curva descensos/log tiempo para el caudal de 40 l/s (figura 136) muestra un descenso inicial importante seguido de una parte más estabilizada en la que se pueden establecer dos tramos cuyas transmisividades son de 700 m<sup>2</sup>/día y 2400 m<sup>2</sup>/día. Una vez más, la forma de la curva es similar a las anteriores pruebas de bombeo efectuadas en este acuífero, por lo que su interpretación es semejante. En cuanto a la

permeabilidad, se han obtenido valores comprendidos entre 4 y 15 m/día.

En definitiva, estas pruebas de bombeo han demostrado una uniformidad de los parámetros hidráulicos, lo que podría corresponder a una karstificación relativamente homogénea, al menos en la parte meridional del acuífero en la que se encuentran los puntos utilizados. No obstante, esta afirmación debe ser tomada con mucha cautela, ya que se necesitaría mayor cantidad de información para corroborar esta hipótesis.

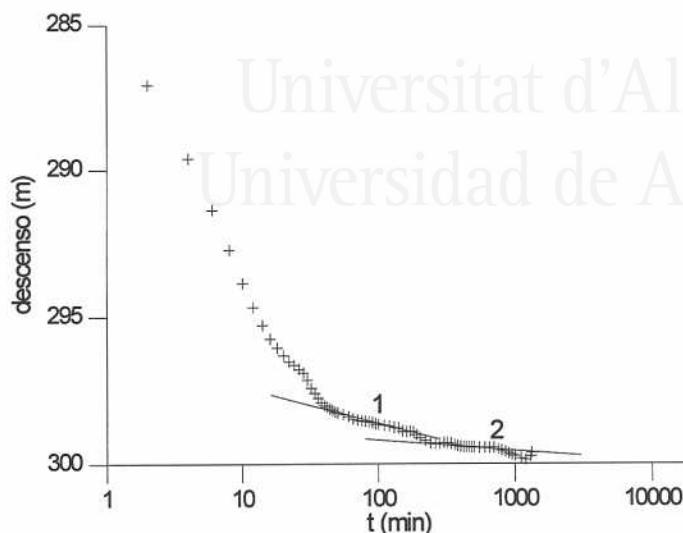


Figura 136. Comportamiento del nivel piezométrico durante el bombeo de ensayo efectuado en el punto n° 3.

## 5. HIDROGEOQUÍMICA

### 5.1. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA LLUVIA

La estación más cercana a la Sierra del Cabeçó d'Or de la que se dispone de información sobre la calidad química de lluvia es Alcoy. Carratalá (1993) analizó 33 muestras de precipitación cuyos valores medios se recogen en la figura 137. Se trata de precipitaciones con conductividades medias en torno a 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y pH de 5.73. Al comparar su quimismo con los de las estaciones utilizadas en los anteriores acuíferos, se observa que presenta características bastante semejantes, si bien no es tan básica. También presenta una facies bicarbonatada cálcica, y, como es típico de la "Zona D: Alicante S de la Sierra de Bernia", los sulfatos

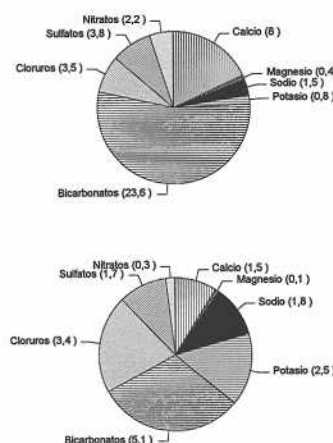


Figura 137. Concentraciones medias en mg/l de los diferentes iones mayoritarios del agua de precipitación recogida en Alcoy. Arriba: datos tomados de Carratalá, 1993; abajo: valores del muestreo realizado en el Cabeçó d'Or.



suelen estar por encima de los 6 mg/l. En el presente trabajo se pudo muestrear un episodio lluvioso en la Sierra del Cabeço d'Or, correspondiente a una precipitación caída en febrero de 1992. La conductividad del agua fue de  $26.1 \mu\text{S}/\text{cm}$  y el pH de 6.2. Esto supone que la salinidad del agua de esta lluvia es bastante inferior a las encontradas en Alcoy. La explicación a tal diferencia se debe a que este último muestreo no está afectado por la deposición seca. Además, la toma del agua se produjo después de varias horas de lluvia, y por lo general, las precipitaciones suelen presentar salinidades más altas en los primeros momentos como consecuencia del lavado atmosférico.

## 5.2. FACIES HIDROQUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los diagramas de Piper Schoeller-Berkaloff y Stiff modificado (figuras 138 y 139) muestran una notable homogeneidad en cuanto a la facies, ya que todos los puntos representados pertenecen a un mismo tipo de agua correspondiente a facies sulfatada-cálcica. No obstante, el de Stiff modificado refleja cómo el contenido iónico de los puntos situados en el entorno del Balneario es superior a los situados en el Barranco de Salmitre.

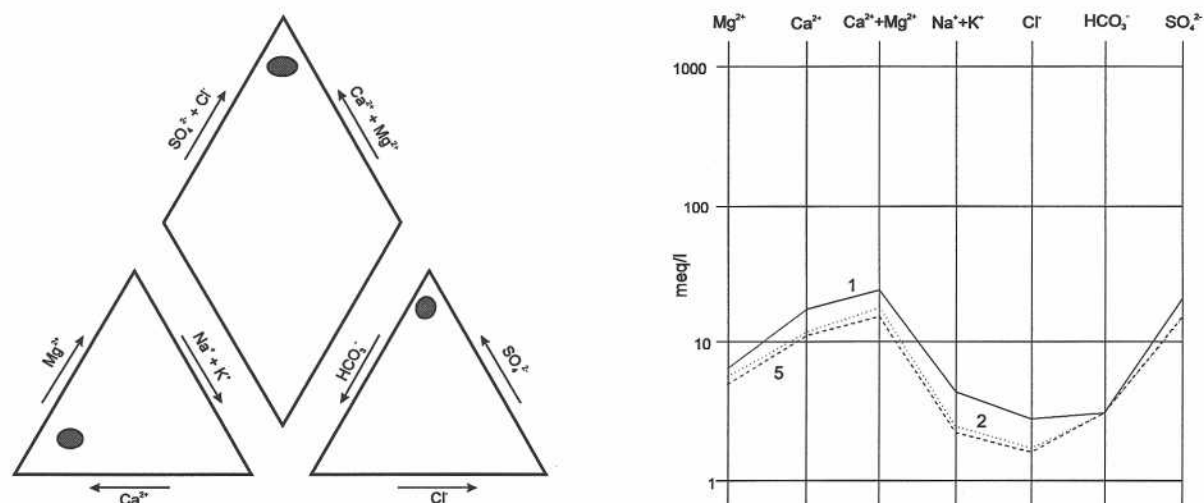


Figura 138. Representación del sector del diagrama de Piper en el que se sitúan las muestras del Cabeço d'Or (a); Representación del muestreo de marzo de 1994 en el diagrama de Schoeller-Berkaloff (b).

## 5.3. VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES

### 5.3.1. Parámetros no específicos

#### Conductividad

Atendiendo al muestreo de marzo de 1994, los valores de conductividad están comprendidos entre 1400 y  $2200 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

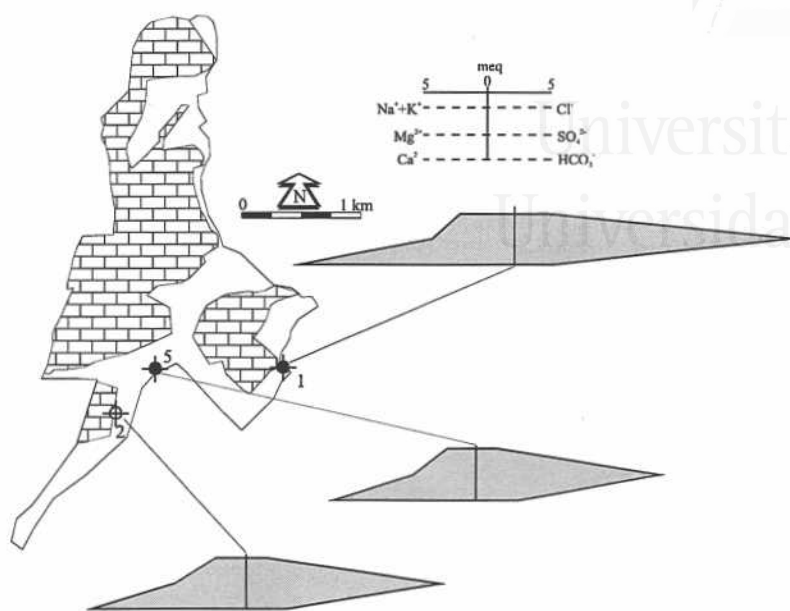


Figura 139. Diagramas de Stiff modificado del muestreo de marzo de 1994.

A diferencia de los anteriores ejemplos, las razones del abandono de captaciones, no parece haber tenido relación con el deterioro de la calidad del agua, por lo que en este caso el intervalo de conductividades indicado es bastante representativo del agua que se encuentra en todo el acuífero. Esta argumentación es apoyada por algunos análisis de aguas pertenecientes a otros sondeos de las inmediaciones de Aigües, que también han presentado valores en torno a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

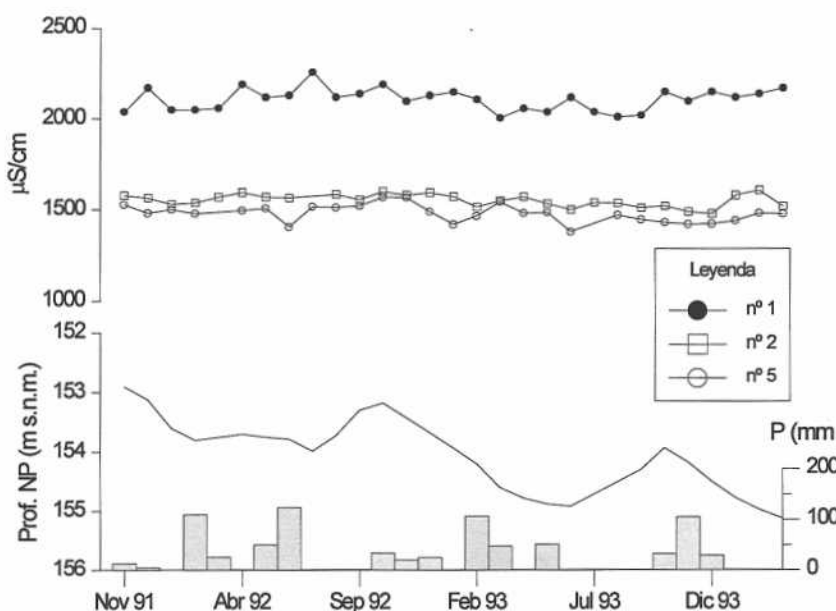


Figura 140. Evolución de la conductividad en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

Este parámetro pone de manifiesto una clara zonación espacial. Los sondeos situados en el Barranco de Salmitre registran valores inferiores a los ubicados en las inmediaciones de Aigües.

La evolución temporal de la conductividad (figura 140) no ofrece ningún tipo de variación estacional o anual, sino que ha permanecido de forma constante en cada uno de los puntos acuíferos controlados. Aunque, hay que tener en cuenta que las oscilaciones piezométricas no han sido significativas.

### **Temperatura**

A pesar de ser el sistema acuífero más pequeño de los estudiados, es el que muestra los mayores contrastes de temperatura del agua. Las temperaturas más elevadas se alcanzan en las captaciones situadas en las inmediaciones de Aigües. En ellas habitualmente se sobrepasan 35°C. El nº 1 presenta una media de 38.1°C, mientras otros como los nº 3 ó 4, muestreados en alguna ocasión, han alcanzado temperaturas de 36°C y 37°C respectivamente. Finalmente, las captaciones situadas en el Barranco de Salmitre presentan temperaturas en torno a 28°C.

Los valores de temperatura de estas aguas superan en más de 4°C la temperatura media ambiental, una vez corregido el efecto del posible gradiente geotérmico (Schoeller, 1962), por ello se sitúan en el campo de las aguas termales. La anomalía geotérmica y el termalismo de las aguas de este acuífero se conoce desde antaño (Cavanilles, 1795-97; Madoz, 1842-50; Figueras, 1916; IGME-IRYDA, 1978a). El propio Madoz comenta de la Sierra del Cabeço d'Or "*hay endiduras de una profundidad extraordinaria, cuyas bocas están siempre rodeadas de zarzaparrilla, romero y mejorana, y exalan un vapor caliente como el de la estufa del baño, por lo que el vulgo las denomina como bocas del infierno.*". Estas aguas termales se usaron en distintas épocas de la historia, llegando a construir un balneario, cuyo edificio perdura aún en nuestros días. La presencia de termalismo no se reduce a las inmediaciones de Aigües, sino que al parecer tenía otra manifestación en el mismo pueblo de Busot donde, de los tres manantiales que poseía esta población, uno era de agua caliente (Madoz, *op. cit.*); desgraciadamente, no existen referencias de la temperatura en esta surgencia.

Tampoco en este acuífero han existido variaciones térmicas del agua durante el periodo de seguimiento (figura 141); quizás la explicación de tal estabilidad podría estar relacionada con las escasas variaciones piezométricas que presenta el acuífero. Aunque, al comparar algunos datos históricos de las temperaturas de los manantiales existentes en las cercanías de la población de Aigües (Madoz, *op. cit.*; Figueras, *op. cit.*; Vinuesa, 1994), se observa que oscilaban entre 37 y 41°C, valores semejantes a los registrados en la

actualidad. Ello indica que este parámetro ha permanecido invariable a lo largo del tiempo independientemente de la profundidad a la que se extrayese el agua.

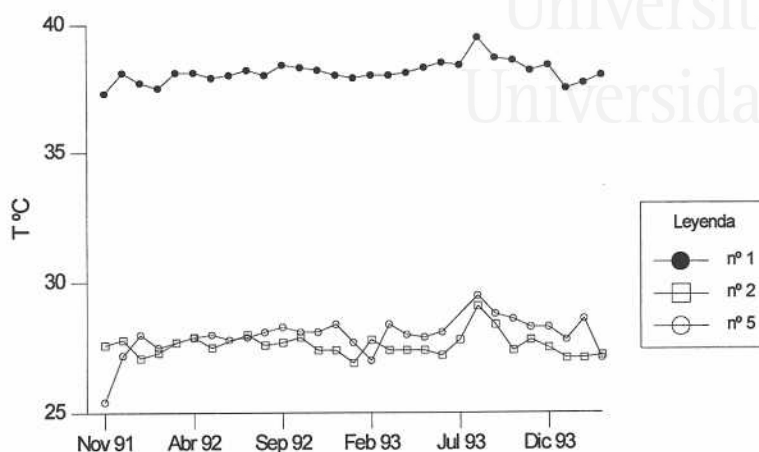


Figura 141. Evolución de la temperatura en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el período noviembre de 1991-marzo de 1994.

#### Variaciones de la temperatura con la profundidad

Con objeto de conocer el gradiente geotérmico que presentaba este acuífero se realizó la testificación de dos sondeos (figura 142), uno emplazado en el sector de Aigües y otro en el Barranco de Salmitre. Los resultados de estas diagráffas son los siguientes:

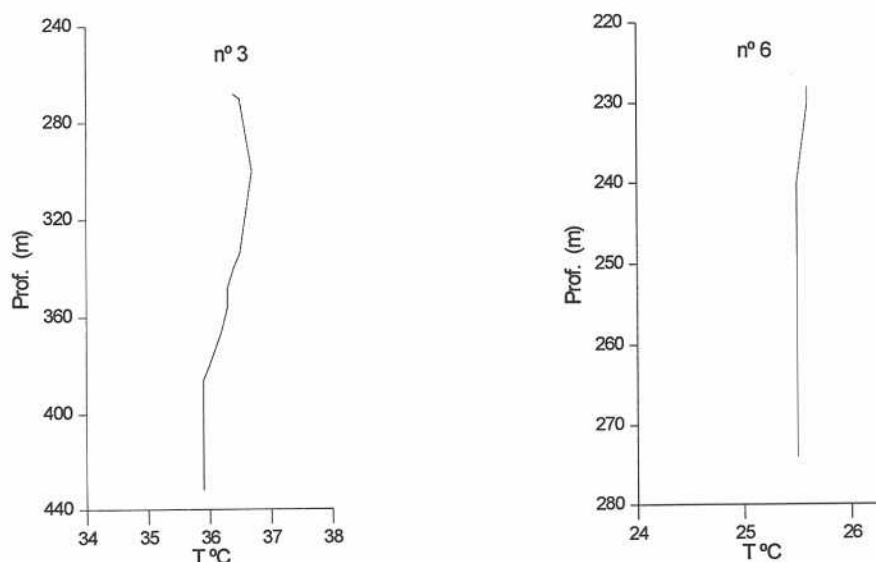


Figura 142. Variación de la temperatura con la profundidad.

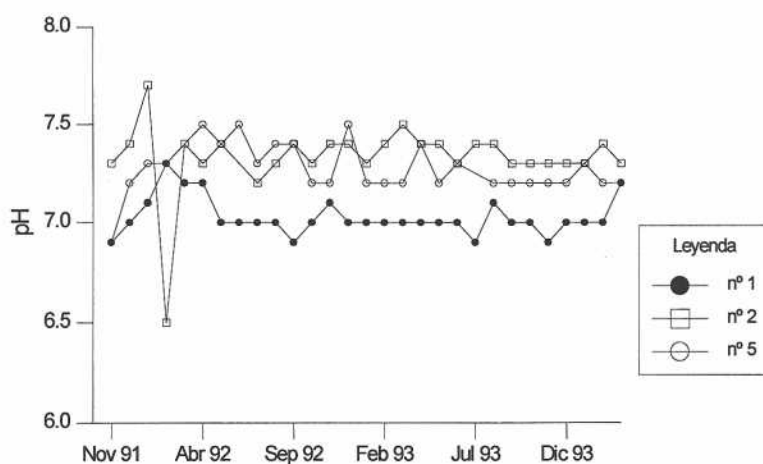
- Sondeo nº 3. En un primer tramo la temperatura es de 36.4°C, ascendiendo ligeramente a partir del metro 282 hasta situarse a 36.6°C. A partir de ese punto permanece invariable hasta 325 m, donde adquiere una tendencia negativa interrumpida en ciertos tramos y que sitúa la temperatura a 35.9°C a 386 m. El gradiente medio de esta zona es de aproximadamente -0.5°C cada 35 m. En los últimos 45 m del sondeo no muestra variación alguna.

- Sondeo nº 6. Tan sólo se testificaron 25 m. La temperatura registrada fue de 25.5°C, la cual permaneció invariable a lo largo de toda la testificación.

En definitiva, según estos resultados, tampoco parece cumplirse en este acuífero el gradiente geotérmico natural. Sí parece claro que las mayores temperaturas se alcanzan en las inmediaciones de Aigües, las cuales disminuyen conforme aumenta la distancia a este sector.

## **pH**

El rango de pH en este acuífero está entre 6.5 y 7.7. El nº 1 es el que presenta unas aguas más "ácidas", ya que los valores de pH se encuentran alrededor de 7. Los sondeos del Barranco de Salmitre muestran pocas diferencias entre sí y tienen un pH algo más básico.



**Figura 143.** Evolución del pH en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

A lo largo del periodo de muestreo el pH no ha estado sometido a ninguna variabilidad estacional, sino que se comporta como un parámetro fuertemente estable (figura 143).

### 5.3.2. Constituyentes mayoritarios

#### Cloruros

Las concentraciones de cloruros varían entre 50 y 110 mg/l. La distribución espacial que adquiere este ion sirve para diferenciar el sector de Aigües, cuyos contenidos están en torno a 100 mg/l, del sector del Barranco de Salmitre, donde no se suelen superar 70 mg/l.

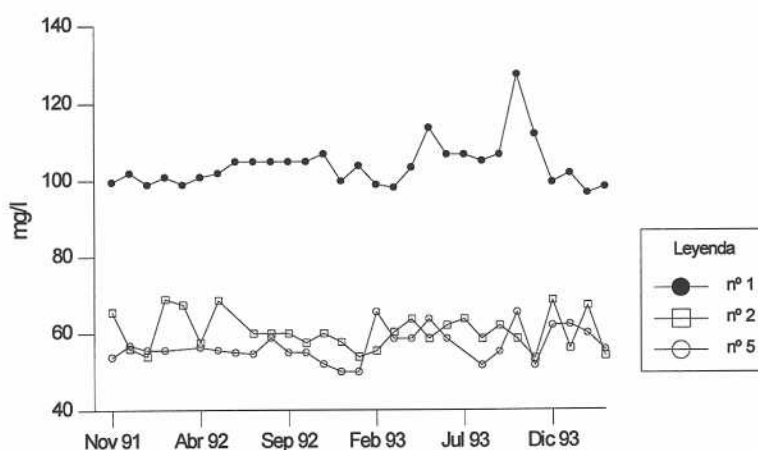


Figura 144. Evolución del contenido en cloruros en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

La característica más importante, referente a la distribución temporal que adquiere este anión (figura 144), es la estabilidad que ofrece en ambos sectores, ya que se ha mantenido aproximadamente en las mismas proporciones a lo largo de todo el periodo de seguimiento.

#### Nitratos

Las determinaciones analíticas de nitratos efectuadas indican que su presencia es muy escasa. Habitualmente las concentraciones no superan 1 mg/l, habiéndose observado ocasionalmente valores puntuales de 2 mg/l en el sector del Barranco de Salmitre.

#### Sulfatos

De los tres acuíferos estudiados es el que presenta las mayores concentraciones disueltas de sulfatos. Sus contenidos oscilan entre 600-750 mg/l en el sector del Barranco de Salmitre y 950-1100 mg/l en el sector de Aigües, por lo que de forma similar al cloruro el sulfato también muestra una fuerte variación espacial.



Como ocurre con la conductividad y cloruros, el sulfato no ha experimentado variaciones durante el periodo de seguimiento (figura 145).

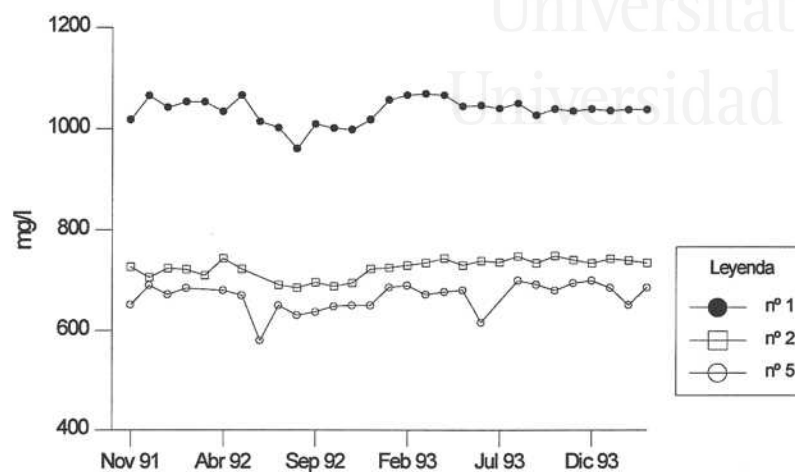


Figura 145. Evolución del contenido en sulfatos en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991-marzo de 1994.

### Bicarbonatos

Los tres puntos muestreados en este acuífero presentan concentraciones similares del ion bicarbonato. Éstas se encuentran habitualmente entre 185 y 200 mg/l (figura 146). En ninguno de ellos los bicarbonatos han experimentado variaciones significativas.

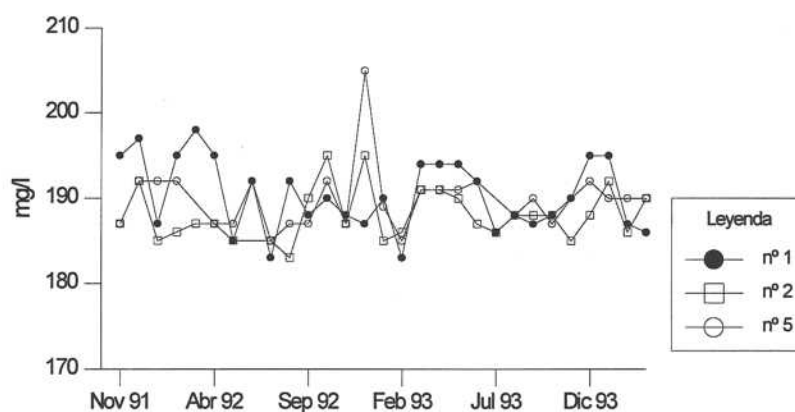


Figura 146. Evolución del contenido en bicarbonatos en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Sodio

También el sodio presenta diferencias notables entre el sector de Aigües y el del Barranco de Salmitre. Valores próximos a 100 mg/l son los normales para el primero, mientras que el segundo no suele sobrepasar 60 mg/l. El sodio ha permanecido

relativamente estabilizado a lo largo de todo el periodo muestreado (figura 147).

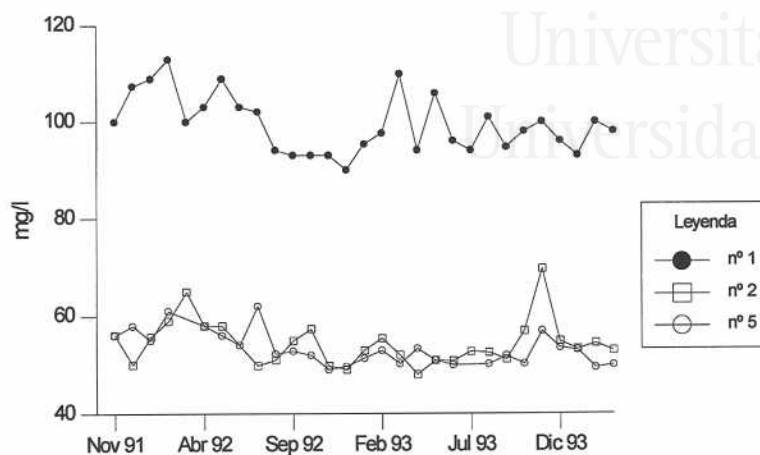


Figura 147. Evolución del contenido en sodio en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Calcio

Una vez más las determinaciones analíticas realizadas ponen de manifiesto una clara diferenciación entre los contenidos de calcio encontrados en el sector de Aigües y del Barranco de Salmitre. En el primero las concentraciones se sitúan en torno a 350 mg/l, mientras que en el segundo no suelen superar los 260 mg/l. En ninguno de los sondeos controlados, este catión ha experimentado variaciones significativas (figura 148).

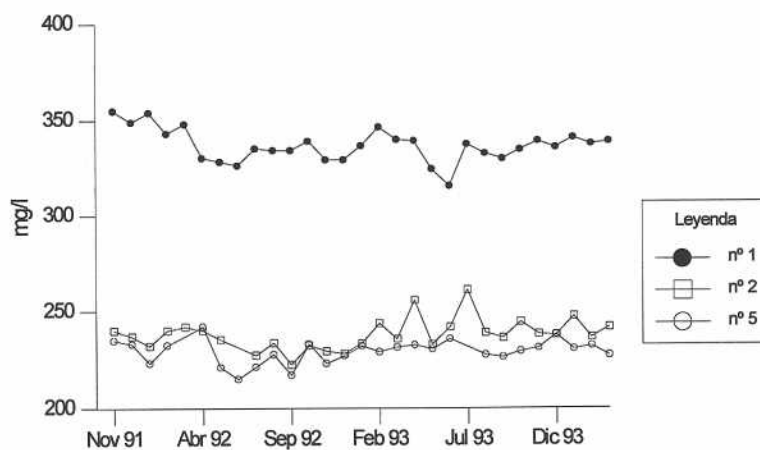


Figura 148. Evolución del contenido en calcio en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Magnesio

Al igual que con el calcio, el magnesio presenta claras variaciones espaciales. Por una parte, los sondeos de Aigües tienen valores comprendidos entre 75 y 95 mg/l, mientras

que los del Barranco de Salmitre están entre 55 y 75 mg/l. Las aguas de los tres sondeos pertenecientes a la red de seguimiento no presentan variación alguna, sino un comportamiento que indica una gran estabilidad de sus concentraciones en todo el acuífero (figura 149).

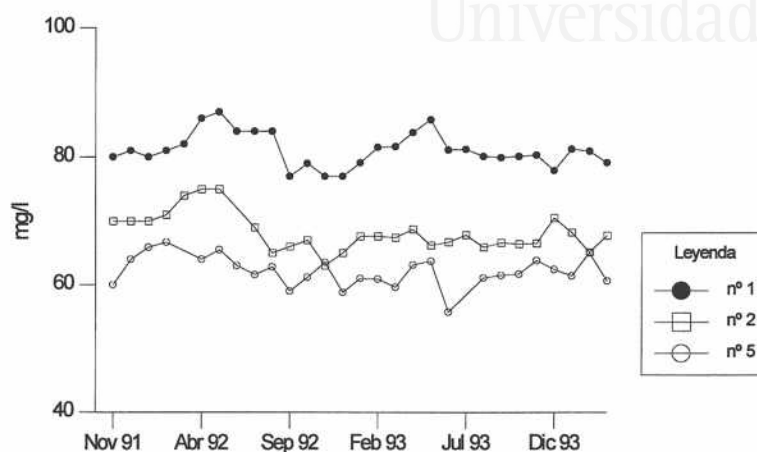


Figura 149. Evolución del contenido en magnesio en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

### Potasio

Los valores encontrados para este acuífero no son demasiado elevados ya que oscilan entre 2 y 4 mg/l. Nuevamente, cómo en la mayoría de los cationes, el nº 1 es el que muestra los contenidos más elevados.

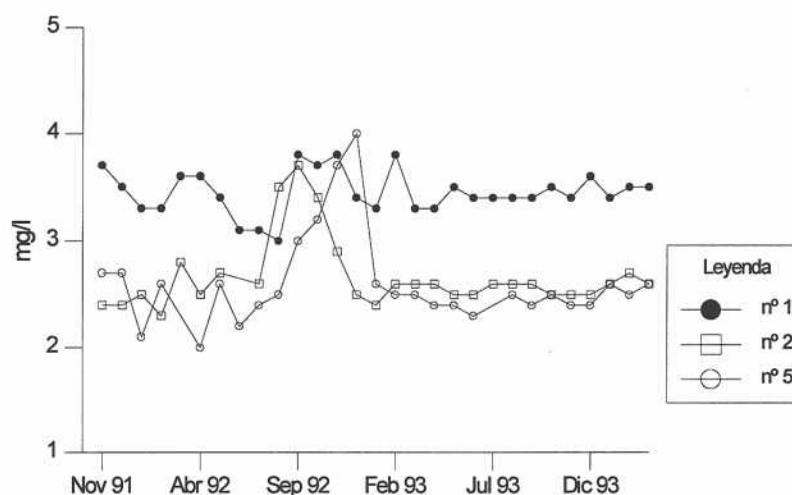


Figura 150. Evolución del contenido en potasio en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994.

En líneas generales este ion ha presentado un comportamiento bastante estable (figura 150). Aunque entre los meses de septiembre de 1992-febrero de 1993, se registró un cierto incremento respecto a los valores normales en los sondeos del sector del Barranco

de Salmitre; a partir de entonces es muy constante en ambos sectores.

### 5.3.3. Constituyentes minoritarios y trazas

#### **Estroncio**

Se trata del acuífero que presenta las mayores concentraciones de estroncio. Se han obtenido valores comprendidos entre 10 y 15 mg/l. A diferencia de lo que ocurre con otros elementos de este grupo, como el calcio o el magnesio, no se observan diferencias de estroncio entre los dos sectores típicos de explotación.

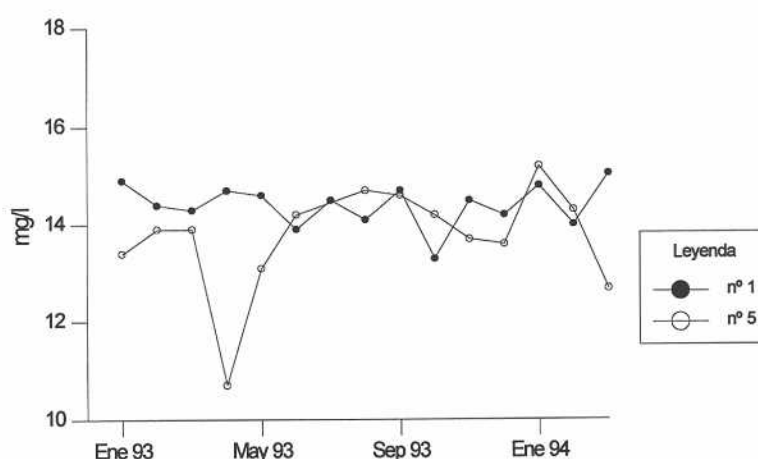


Figura 151. Evolución del contenido en estroncio en los puntos n° 1, 2 y 5 durante el periodo enero de 1993- marzo de 1994.

En cuanto a la evolución temporal se puede observar que, el estroncio a pesar de algunas oscilaciones muy acusadas de difícil explicación (figura 151), la tendencia general es de estabilidad.

#### **Sílice**

También las aguas del Cabeçó d'Or son las que mayores contenidos de sílice disuelta poseen. Sus concentraciones oscilan entre 15 y 25 mg/l. El contacto con la unidad de areniscas del C-1 junto con el carácter termal que presentan las aguas explican estos datos. Como ha ocurrido con la mayoría de los parámetros, la sílice es más abundante en el sector de Aigües.

La distribución temporal de la sílice se puede observar en la figura 152; durante el tiempo de muestreo las concentraciones han permanecido estabilizadas.

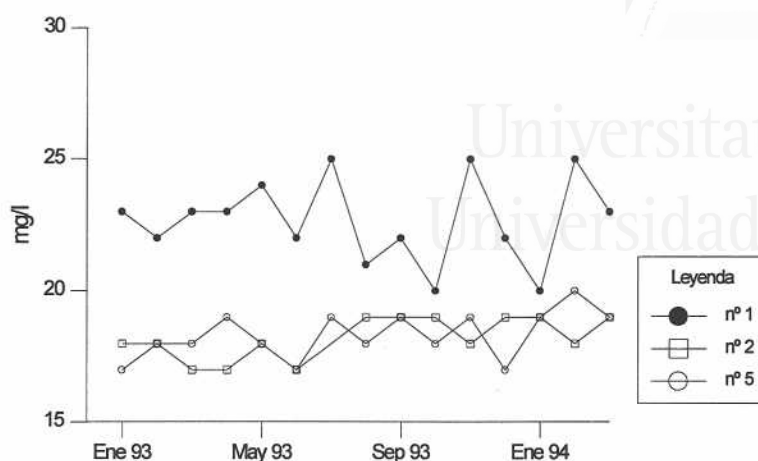


Figura 152. Evolución del contenido en sílice en los puntos n° 1, 2 y 5 durante el periodo enero de 1993- marzo de 1994.

### Bario

Las determinaciones analíticas reflejan que estas aguas presentan cantidades comprendidas entre 10 y 30  $\mu\text{g/l}$ . A diferencia de lo que ocurre con la mayoría de los iones, el bario tiene concentraciones ligeramente inferiores en el sector de Aigües que en el del Barranco de Salmitre, si bien esas diferencias son pequeñas.

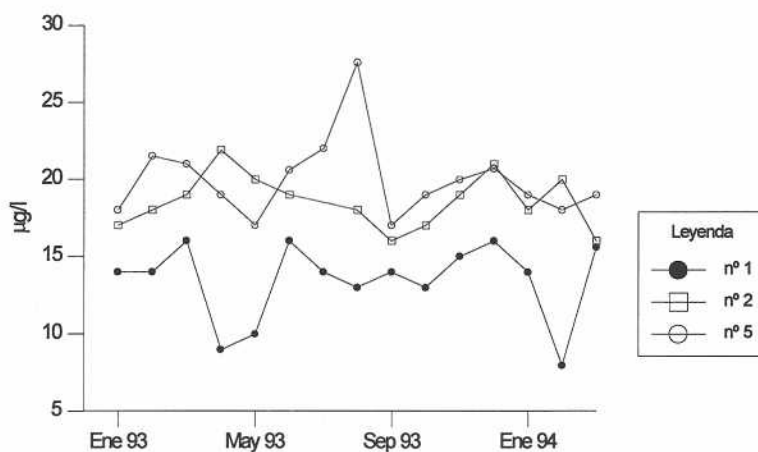


Figura 153. Evolución del contenido en bario en los puntos n° 1, 2 y 5 durante el periodo enero de 1993- marzo de 1994.

En ninguno de los sectores se han producido variaciones significativas que hagan pensar en alguna posible tendencia diferente de la estabilidad (figura 153).

### Litio

A pesar del carácter termal que presenta este acuífero y la estrecha relación que suelen tener las aguas termales con los elevados contenidos en litio (White *et al.*, 1976;

Keith *et al.*, 1983; Brondi *et al.*, 1973; Auqué *et al.*, 1988; Cerón *et al.*, 1993; Cerón, 1995), las concentraciones encontradas no han sido tan elevadas como en un principio cabría esperar. Los dos puntos seleccionados para su determinación nº 1 y 5, registran 32 y 26  $\mu\text{g/l}$  respectivamente, valores por debajo de los encontrados en el Acuífero del Cid, que no posee características termales.

Los resultados evidencian que las diferencias encontradas entre ambos sectores no son muy significativas, si bien parece que este elemento es ligeramente superior en el sector de Aigües.

### Boro

Los dos puntos situados en la parte del Barranco de Salmitre muestran las mismas cantidades medias de 0.13 mg/l, mientras que los nº 1 y 4, este último analizado una sola vez, presentan cantidades ligeramente más elevadas y próximas a 0.20 mg/l. El boro ha permanecido sensiblemente constante a lo largo del periodo de muestreo en cada uno de los tres sondeos en los cuales se ha efectuado el seguimiento (figura 154).

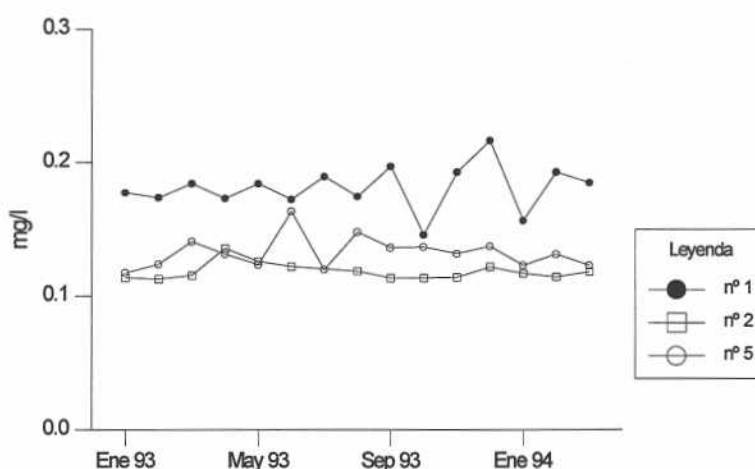


Figura 154. Evolución del contenido en boro en los puntos nº 1, 2 y 5 durante el periodo enero de 1993- marzo de 1994.

En numerosas ocasiones las aguas termales pueden presentar concentraciones elevadas de boro (Koga, 1957; Schofield, 1960; Risacher, 1984; Auqué *et al.*, 1988; Risacher y Fritz, 1991; Cerón *et al.*, 1993), sin embargo, las cantidades determinadas en este acuífero son semejantes o inferiores a las encontradas en los otros que no muestran características termales.

### Amonio, nitritos y DQO

La presencia de  $\text{NH}_4^+$  en este acuífero se pone de manifiesto en algunas de las



determinaciones analíticas realizadas entre 1990 y 1994. De cualquier forma, los máximos valores alcanzados no sobrepasan 0.25 mg/l, cantidades aún lejos del límite legislado.

En cuanto a los  $\text{NO}_2^-$ , todas las determinaciones indican que, de estar presentes, se encuentran en concentraciones inferiores a 0.02 mg/l.

También la totalidad de los análisis muestran valores de DQO inferiores a 1 mg/l.

### Hierro

Antes de comentar las cantidades de hierro disuelto en las aguas de este acuífero quisiera destacar que las características fisicoquímicas de las mismas las hacen especialmente agresivas sobre los metales. Esto ha originado numerosos problemas a los propietarios de las captaciones que han comprobado algunas veces cómo sus bombas de extracción y tuberías eran corroídas. Por ello, la toma de muestras para determinar parámetros como el hierro requiere que los tiempos de bombeo sean algo mayores de lo habitual. Debido a ello los muestreos llevados a cabo en el sondeo nº 2 han sido desestimados, puesto que los tiempos de bombeo previos a la toma de agua no ofrecían garantías de que el hierro presente no provenga de la propia instalación de bombeo.

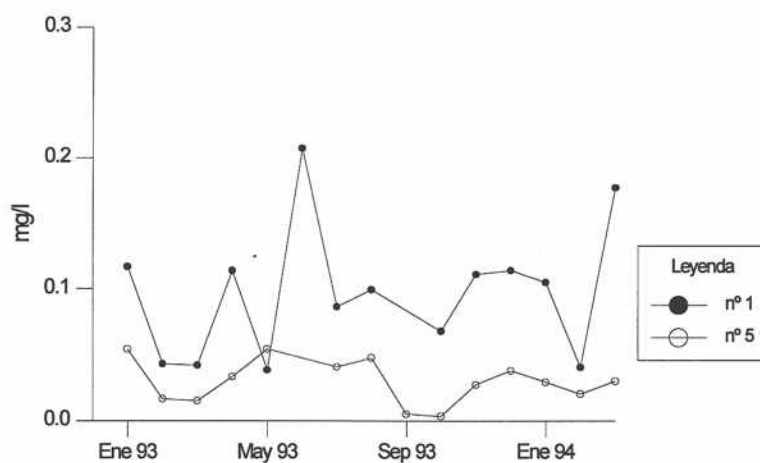


Figura 155. Evolución del contenido en hierro en los puntos nº 1 y 5 durante el periodo enero de 1993- marzo de 1994.

Las concentraciones de hierro disuelto varían entre los dos sectores de explotación. Así, mientras que en el nº 1 se encuentran habitualmente valores entre 50 y 200  $\mu\text{g/l}$ , en el nº 5 oscilan desde menos de 20 a 60  $\mu\text{g/l}$ . Ocasionalmente se han determinado contenidos superiores a 1 mg/l; probablemente su explicación se debe al efecto comentado con anterioridad.

En cuanto a la distribución temporal que ha sufrido este ión, se puede decir que ha permanecido prácticamente estabilizado (figura 155).

### Zinc

En este acuífero únicamente en el sondeo nº 1 se ha detectado la presencia de zinc. Los valores encontrados están en torno a 35  $\mu\text{g/l}$ . La figura 156 recoge el comportamiento de este elemento entre enero de 1993 y marzo de 1994; se puede apreciar cómo su presencia en el agua es prácticamente constante.

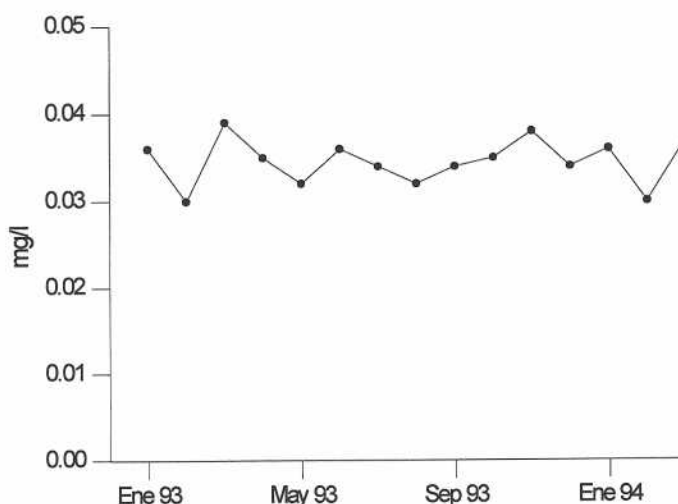


Figura 156. Evolución del contenido en zinc en el punto nº 1 durante el periodo enero de 1993-marzo de 1994.

Si bien la presencia de zinc no es muy frecuente en las aguas procedentes de acuíferos kársticos, se ha comprobado que este elemento puede aparecer en concentraciones bajas. Así, al N de la provincia de Alicante, Pulido-Bosch (1979) puso de manifiesto la presencia de zinc en acuíferos de naturaleza semejante a los estudiados.

### Otros metales pesados

Al igual que en los anteriores acuíferos estudiados, el resto de los metales pesados analizados se encontraron en concentraciones inferiores a 20  $\mu\text{g/l}$ .

### CO<sub>2</sub> disuelto y presión parcial de CO<sub>2</sub>

Los valores de CO<sub>2</sub> obtenidos se encuentran comprendidos entre 5 y 32 mg/l. Mientras que los puntos del Barranco de Salmitre presentan habitualmente concentraciones entre 10 y 15 mg/l, en Aigües superan 20 mg/l, permaneciendo prácticamente constante a lo largo del periodo de seguimiento (figura 157).

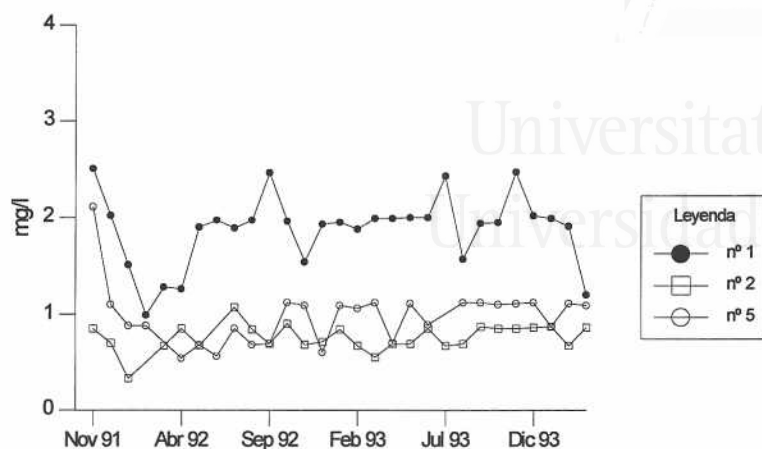


Figura 157. Evolución del contenido en CO<sub>2</sub> durante el periodo noviembre de 1991- marzo de 1994 en los puntos nº 1, 2 y 5.

Respecto a la PCO<sub>2</sub> en el sector del antiguo Balneario los valores medios se estiman en 1.94% con desviaciones típicas de 0.66, mientras que en el Barranco de Salmitre es de 0.94% con una desviación típica de 0.66. De los tres acuíferos estudiados es el que presenta mayores contenidos de CO<sub>2</sub>. El hecho de que las mayores concentraciones se asocien a los puntos con mayor anomalía térmica, podría estar relacionado con un origen endógeno.

#### 5.4. RELACIONES IÓNICAS DE INTERÉS

##### $rMg^{2+}/rCa^{2+}$

Las relaciones calculadas para este acuífero están comprendidas entre 0.4 y 0.5. Aunque con muy pocas diferencias, las encontradas en el sondeo nº 1 son inferiores a las del Barranco de Salmitre. En todos los casos esta relación ha permanecido bastante estable a lo largo del periodo de muestreo.

##### $rCl/rHCO_3^-$ y $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$

A diferencia de los anteriores acuíferos, la relación  $rCl/rHCO_3^-$  es mucho más baja que la  $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$ , encontrándose entre 0.5 y 1. Como el quimismo ha permanecido prácticamente invariable, no ha existido movilidad temporal de esta relación.

En cuanto a la relación  $rSO_4^{2-}/rHCO_3^-$ , los valores están comprendidos entre 4 en el Barranco de Salmitre y 7.4 que se han llegado a alcanzar en el nº 1.

##### $rCl/rSO_4^{2-}$

Los valores obtenidos para las aguas de este acuífero son los más pequeños de los

estudiados. La relación se sitúa en todos los puntos entre 0.1 y 0.2, lo que supone una notable diferencia con los anteriores acuíferos. En este caso, suponiendo que la salinidad es responsabilidad directa de los materiales evaporíticos, habrá que recurrir exclusivamente a la presencia de sales de carácter sulfatado para explicar el origen de tal salinidad.

### **Kr**

Los valores calculados entre 2.7 y 3, unido a las elevadas concentraciones de sulfatos en todos los puntos muestreados de este acuífero, descartan totalmente cualquier proceso de reducción de sulfatos.

### **$rSr^{2+}/rCa^{2+}$**

La relación  $rSr^{2+}/rCa^{2+}$  está comprendida entre valores medios de 0.020 y 0.026, que constituyen los más elevados de los tres acuíferos estudiados. También en este acuífero los procesos de precipitación-recristalización podrían haber puesto en disolución ciertas cantidades de estroncio, lo que indica un notable grado de madurez de las aguas extraídas de este acuífero.

### **$rCl/rNa^+$**

La relación  $rCl/rNa^+$  se sitúa en torno a 0.7, habiendo permanecido muy constante a lo largo de todo el periodo de muestreo.

### **$rSO_4^{2-}/rCa^{2+}$**

Las relaciones elevadas, entre 1.7 y 2.7, muestran como el calcio se encuentra en déficit respecto a los sulfatos, probablemente debido a que se encuentra afectado por procesos de precipitación que lo eliminan del medio.

## **5.5. ANÁLISIS MULTIVARIANTES ENTRE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

La tabla 44 recoge los coeficientes de correlación de las variables consideradas. Se puede observar la elevada correlación existente entre la conductividad y los parámetros temperatura, calcio, magnesio, sodio, potasio, sulfatos, cloruros, y en menor medida con el boro, sílice y pH, aunque este último con signo negativo; los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio también están estrechamente correlacionados entre sí, al igual que los aniones sulfatos y cloruros. A su vez, todos estos iones presentan coeficientes de correlación superiores a 0.9, lo que evidencia un origen conjunto para todos ellos.

Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

	C	pH	t	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Sr <sup>2+</sup>	SiO <sub>2</sub>	B <sup>-</sup>	Ba <sup>2+</sup>
C	1.00														
pH	-0.80	1.00													
t	0.97	-0.87	1.00												
Ca <sup>2+</sup>	0.98	-0.81	0.97	1.00											
Mg <sup>2+</sup>	0.94	-0.73	0.91	0.95	1.00										
Na <sup>+</sup>	0.96	-0.83	0.97	0.97	0.94	1.00									
K <sup>+</sup>	0.98	-0.80	0.96	0.97	0.93	0.96	1.00								
HCO <sub>3</sub>	0.15	-0.21	0.18	0.15	0.13	0.15	0.09	1.00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.98	-0.80	0.97	0.99	0.97	0.98	0.97	0.14	1.00						
Cl <sup>-</sup>	0.95	-0.83	0.96	0.95	0.91	0.94	0.94	0.16	0.95	1.00					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.58	0.35	-0.57	-0.60	-0.64	-0.57	-0.55	0.02	-0.60	-0.58	1.00				
Sr <sup>2+</sup>	0.32	-0.36	0.31	0.32	0.25	0.30	0.31	0.08	0.30	0.27	0.06	1.00			
SiO <sub>2</sub>	0.86	-0.79	0.87	0.87	0.84	0.88	0.7	0.10	0.88	0.83	-0.45	0.45	1.00		
B <sup>-</sup>	0.88	-0.69	0.87	0.88	0.86	0.87	0.87	0.15	0.89	0.84	-0.62	0.10	0.81	1.00	
Ba <sup>2+</sup>	-0.72	0.77	-0.74	-0.72	-0.68	-0.73	-0.73	-0.15	-0.72	-0.73	0.26	-0.50	-0.75	-0.55	1.00

Tabla 44. Coeficientes de correlación entre las distintas variables.

Los resultados del análisis de componentes principales respecto a las variables se recogen en la figura 158. Las tres primeras componentes llegan a explicar el 89.3% de la varianza total (73.8% componente I; 9% componente II; 6.5% componente III).

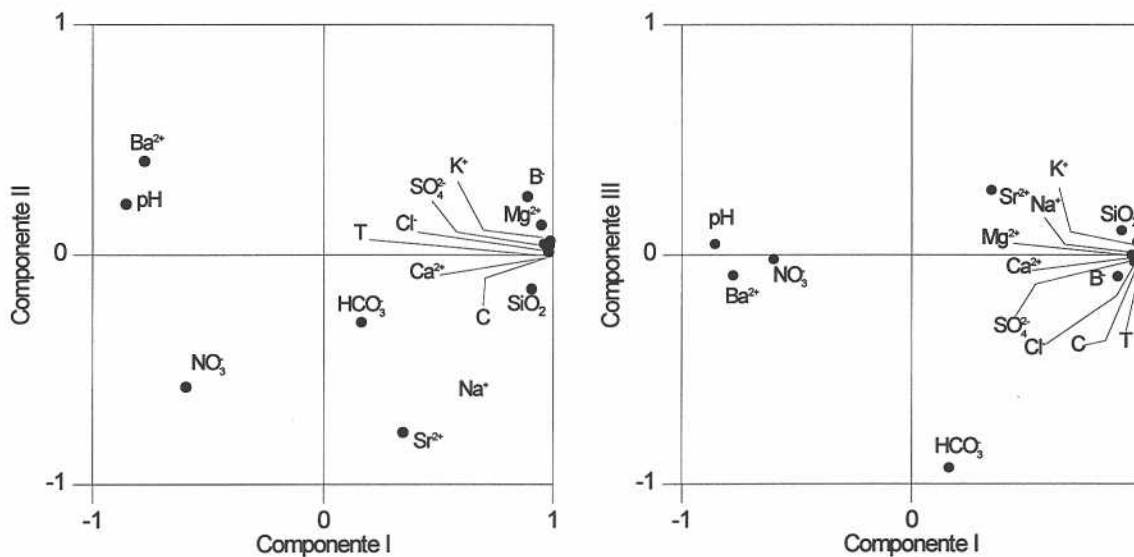


Figura 158. ACP de las variables consideradas.

En el plano definido por las componente I-II, la componente I explicaría las variables conductividad, temperatura, calcio, magnesio, sodio, sulfatos, cloruros, boro y sílice y en

sentido opuesto el pH y bario, mientras que el estroncio quedaría explicado por la componente II. Los bicarbonatos son los que mejor definen la componente III, tal y como refleja la representación del plano definido por la componente I y III.

En definitiva, la componente I pone de manifiesto la salinidad del agua, mientras que la II y la III deben estar relacionadas con otros procesos.

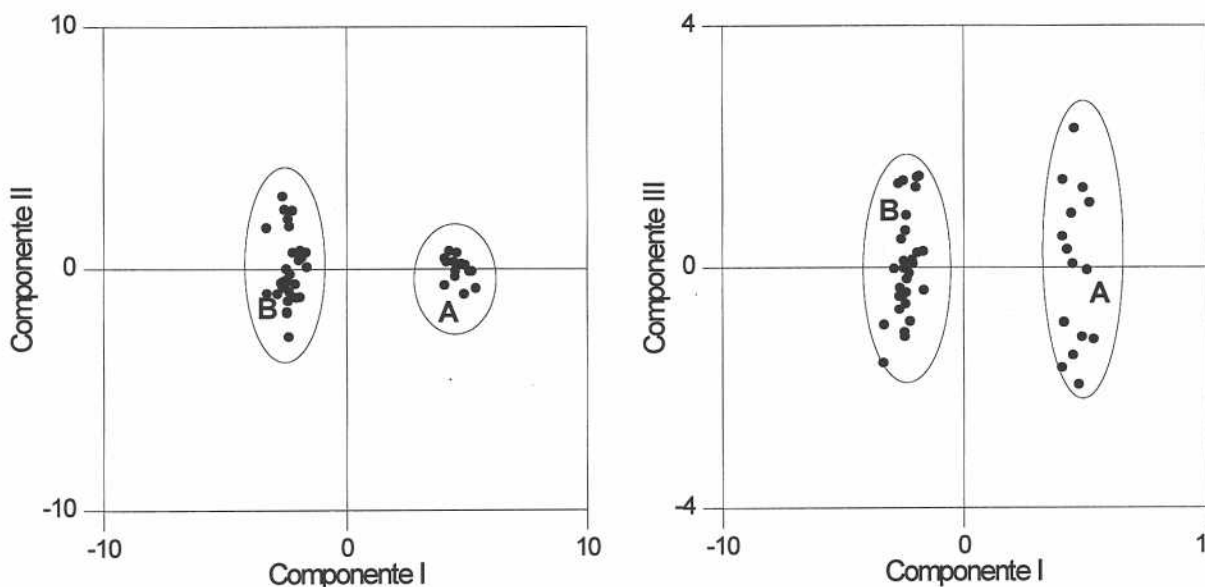


Figura 159. ACP de las muestras consideradas.

La proyección de las unidades estadísticas sobre el plano ACP formado por las componentes I y II diferencia de forma muy clara dos grupos (figura 159). El grupo A con mayores contenidos salinos y mayor grado de termalismo, del grupo B con menores salinidades y menor temperatura. Por su parte, el plano I-III también ofrece una distinción entre los grupos más salinos situados a la derecha y los menos salinos a la izquierda.

## 5.6. RELACIONES ISOTÓPICAS

### 5.6.1. Isótopos estables de la molécula del agua

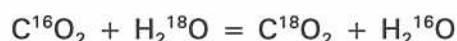
#### ***Oxígeno-18***

El oxígeno-18 se ha determinado en el nº 1, que ha proporcionado valores comprendidos entre  $-7.11\text{‰}$  y  $-7.65\text{‰}$ , con una media de  $-7.39\text{‰}$  y en el nº 5, muestreado en enero de 1993, presentando contenidos de  $-7.1\text{‰}$ . El hecho de que presenten similar composición isotópica apoya la conexión entre los bloques de Aigües y de Salmitre.



De los tres sistemas acuíferos estudiados es el que presenta una composición isotópica más ligera respecto del  $^{18}\text{O}$ , lo que podría interpretarse como que la recarga se produce a mayor altitud; sin embargo las determinaciones efectuadas sobre la precipitación no aportan mucha información que constate este hecho.

Fontes (1976) indicó que los contenidos isotópicos pueden modificarse debido a reacciones en las que intervienen una fase gaseosa y una líquida; así, la reacción



supone un enriquecimiento del  $\text{CO}_2$  en  $^{18}\text{O}$  (alrededor de un 40% en el equilibrio, a  $25^\circ\text{C}$ ); por tanto, las aguas termales que se encuentran en contacto con  $\text{CO}_2$  tienden a empobrecerse el  $^{18}\text{O}$ . En este sentido, es posible que esta pueda ser la causa de la mayor ligereza de las aguas de este sistema.

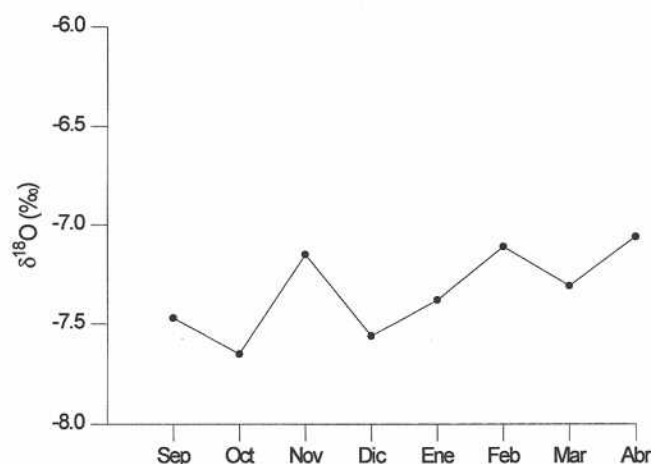


Figura 160. Evolución del  $\delta^{18}\text{O}$  en el punto nº 1 durante septiembre de 1993-abril de 1994.

En cuanto a la evolución que ha presentado el  $\delta^{18}\text{O}$  durante el intervalo muestreado (figura 160), se puede apreciar una ligera tendencia ascendente, si bien, sería necesario un mayor periodo de muestreo para corroborar este comportamiento. La ausencia clara de variaciones estacionales se interpreta como que el sistema es bastante dispersivo y las precipitaciones de entrada son pequeñas respecto al volumen de reservas del sistema.

### Deuterio

Los contenidos en deuterio para este acuífero fueron de  $-43.1\text{‰}$  en el punto nº 1 y  $-43.3\text{‰}$  en el nº5, lo que quiere decir que ambos sectores presentan valores muy homogéneos. Los excesos de deuterio fueron de  $16.1\text{‰}$  y  $13.6\text{‰}$  respectivamente,

cantidades justificadas por una recarga mayoritaria de precipitaciones provenientes del Mediterráneo.

### 5.6.2. Tritio

El valor resultante de la determinación analítica de las aguas del punto nº 1 está por debajo del límite de detección. La significación del valor del tritio junto con las determinaciones de otros isótopos apuntan claramente a que la mayor parte del agua bombeada de este acuífero es anterior a 1952.

### 5.6.3. Radiocarbono y Carbono-13

El marcado carácter positivo de la relación isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  de los bicarbonatos de las muestras analizadas (tabla 45) puede ser interpretado como consecuencia de un aporte de  $\text{CO}_2$  de origen profundo, probablemente relacionado con fracturas de gran envergadura que se desarrollan hasta profundidades elevadas.

En cuanto a la evolución que ha presentado este isótopo, al igual que en sistemas anteriores, tampoco se observa ninguna variación estacional (figura 161), aunque el intervalo de oscilación es mayor que en otros casos.

$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{14}\text{C}$ pmc (%)	$\text{D}^{14}\text{C}$ (‰)	T (UT)	CMT moles/l	ISC (%)
-2.53	2.90	-971	<1	3.82	21

Tabla 45. Contenido de carbono-13, radiocarbono, carbono muerto, tritio, carbono mineral total e índice de saturación de la calcita del punto nº 1 en junio de 1993

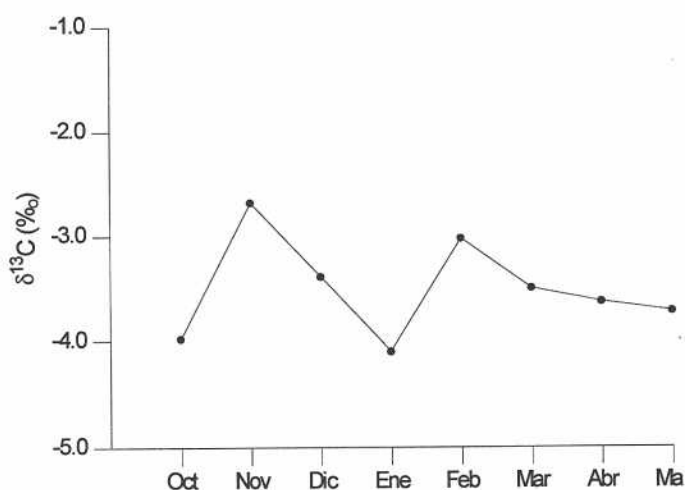


Figura 161. Evolución del  $\delta^{13}\text{C}$  en el punto nº 1 durante octubre de 1993-mayo de 1994.

Las edades estimadas a partir de los datos de radiocarbono mediante las metodologías anteriormente expuestas demuestran que se están bombeando aguas muy antiguas (tabla 46). Estas edades parecen concordar con las determinaciones de tritio. Ahora bien, al tratarse de un acuífero kárstico y, además, con presencia de aguas termales con posible aporte endógeno de  $\text{CO}_2$  carente de  $^{14}\text{C}$ , estas técnicas suelen proporcionar resultados mayores a los reales, por lo que su validez queda muy cuestionada.

A	B	C
	$C_0/C_t = 0.85$	
10400	28050	25150

Tabla 46. Edad en años de las aguas del Acuífero del Cabeço d'Or.

#### 5.6.4. Azufre-34

Los contenidos de  $\delta^{34}\text{S}$  encontrados en las aguas del punto n° 1 varían entre 10.63‰ y 16‰ (figura 162). Estos valores son típicos de sulfatos procedentes de la disolución de yesos del Keuper. Por ello, a pesar de que no se conocen afloramientos de yesos triásicos en la Sierra del Cabeço d'Or ni en sus alrededores, se puede suponer que el agua se pone en contacto con ellos a cierta profundidad enriqueciéndose en sulfatos.

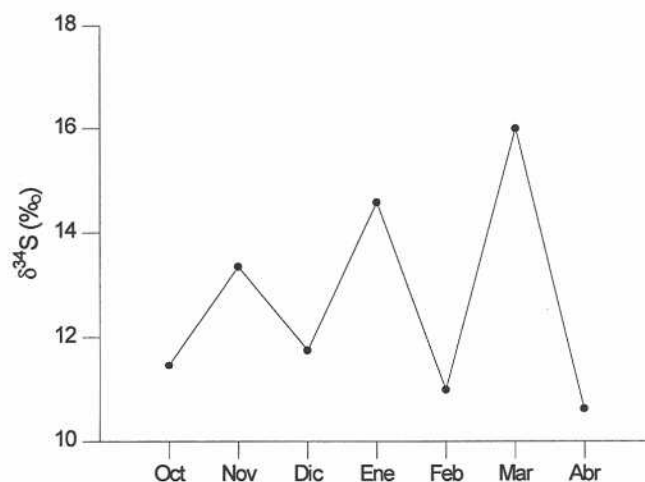


Figura 162. Evolución del  $\delta^{34}\text{S}$  en el punto n° 1 durante octubre de 1993-abril de 1994.

#### 5.6.5. Radón

Los niveles de radón existentes en este acuífero ascienden a  $96 \pm 15\%$  Bq/l. También las concentraciones de  $^{226}\text{Ra}$  con  $0.0399 \pm 20\%$  Bq/l, son mucho más elevadas que las encontradas en los otros sistemas. Estos valores, inicialmente demasiado altos para este tipo de acuífero, no lo son tanto si se tiene en cuenta el carácter termal que presentan

sus aguas, habida cuenta de las altas emanaciones de radón que son frecuentes en manantiales calientes y balnearios (Polhl-Rüling, 1982; Wilkening, 1990).

Debido a que las condiciones superficiales son similares a los anteriores sistemas el origen del radón no debe estar asociado a una fuente superficial. El factor litológico puede originar valores altos de radón, ya que la presencia de niveles ricos en  $^{226}\text{Ra}$  influye notablemente en elevar las concentraciones. Algunas evaporitas yesífero-anhidríticas contienen elevadas cantidades de  $^{226}\text{Ra}$  precipitado simultáneamente con el  $\text{CaSO}_4$  (Smith, 1988). También el factor tectónico puede explicar el aumento de los niveles de radón en el agua subterránea (Lorenz *et al.*, 1961, Smith, *op. cit.*). Así, las fallas y fracturas pueden actuar como vías y conductos por donde ascienden aguas profundas ricas en radón, por corrientes convectivas. Además, se tiene conocimiento de que los acuíferos sometidos a esfuerzos compresivos pueden provocar emanaciones de radón (Harvey, 1981; Smith, 1988). El Acuífero del Cabeçó d'Or presenta una estructura compleja, donde entran en juego fracturas que alcanzan grandes profundidades, lo que parece apoyar que sea el factor tectónico el máximo responsable de sus altas concentraciones.

## 5.7. CALIDAD QUÍMICA

- *Consumo humano*: las características tan particulares que muestran las aguas de este acuífero, hacen que algunos parámetros estén muy distantes de los límites establecidos en la legislación. Así, en todos los sondeos se superan ampliamente las concentraciones permitidas de sulfatos y magnesio. De igual forma, la normativa vigente indica que no se deben superar temperaturas de surgencia de  $25^\circ\text{C}$ , valor inferior al de todos los puntos del acuífero. El nº 1 también presenta residuos secos por encima de los límites establecidos.

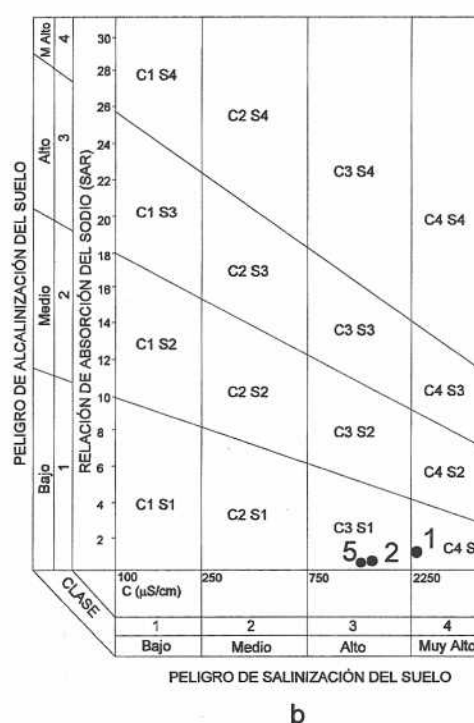
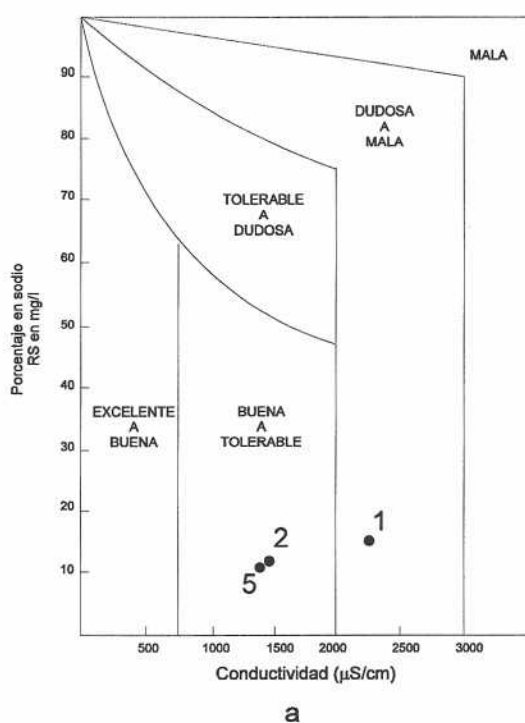
Como ocurría en algunos sectores del Acuífero de Crevillente, actualmente existen dos plantas desaladoras de ósmosis inversa ubicadas en las localidades de Aigües y Busot que potabilizan el agua de este acuífero dedicada al consumo humano.

- *Uso agrícola*. Los valores obtenidos de los parámetros alcalimétricos (tabla 47) son de calidad buena para este uso del agua; tan sólo el SARa del sondeo nº 1 supera ligeramente el valor de 8 y se sitúa dentro del grupo de aguas de calidad media. En cuanto a la dureza, en los dos sectores se obtienen valores por encima de  $54^\circ$  franceses, por lo que se trata de aguas muy duras. Tampoco presentan ningún problema respecto a posibles precipitaciones de carbonatos y bicarbonatos en el suelo, tal y como atestiguan los bajos valores del CRS.

La clasificación de las aguas según las normas de Riverside y Wilcox (figura 163) diferencia las de este acuífero, teniendo un mayor peligro de salinización del suelo el uso de las aguas del sector de Aigües. En ambos sectores el peligro de alcalinización es bajo.

Punto	SAR	SARa	CSR	Dureza	k
Bal	1.2	8.7	-20.2	117	19
Salm	0.8	5.4	-13.2	82	34
S Cant	0.8	5.3	-14.4	88	34

**Tabla 47.** Valores de SAR: relación de adsorción de sodio; SARa: relación de adsorción de sodio ajustado; CSR: carbonato sódico residual; Dureza en grados franceses; k: índice de Scott de algunas de las muestras.



**Figura 163.** Caracterización de la calidad del agua para riego del muestreo de marzo de 1994 según los diagramas de las normas de Wilcox (a) y de Riverside (b).

## 6. GEOTERMOMETRÍA

La utilización de diferentes técnicas geotermométricas ha sido una sólida herramienta para establecer el potencial geotérmico de un área. En los fluidos termales existen una serie de constituyentes disueltos cuya concentración está controlada por la temperatura (White, 1965; Ellis, 1970; Truesdell, 1976). Mediante una serie de relaciones de estos constituyentes se puede obtener una aproximación de la temperatura del fluido termal en profundidad. A estas relaciones se las conoce con el nombre de geotermómetros

y pueden ser de varios tipos: hidroquímicos, gaseosos e isotópicos (Albert, 1979). Todos ellos pueden ser utilizados en estudios hidrogeológicos, si bien, son los primeros, obtenidos a partir de iones fáciles de determinar, los que más frecuentemente se aplican en hidrogeología.

Los geotermómetros hidroquímicos están basados en las reacciones que se producen entre el agua y la fase mineral, y cuya termodinámica es perfectamente conocida, de tal forma que las concentraciones de dichos iones reflejan el último estado de equilibrio termodinámico producido dentro del reservorio (Albert, *op. cit.*).

La adecuada aplicación de estos métodos requiere de una serie de condiciones que deben cumplirse. Éstas son: el suficiente aporte de reactantes; que se alcance el equilibrio entre el agua y la fase mineral; que se produzcan las mínimas alteraciones de las características químicas del agua en su ascenso hasta la superficie; y la ausencia de interacciones adicionales tales como flujos de agua meteórica reciente o gases. (White, 1970; Fournier *et al.*, 1974; Albert, 1979; Auqué *et al.*, 1986; Kharaka y Mariner, 1989; Cerón, 1995). El incumplimiento de alguno de estos requisitos puede inducir a conclusiones erróneas y bastante distantes de la realidad (Cerón, *op. cit.*), por lo que se hace imprescindible conocer lo mejor posible el funcionamiento de los geotermómetros; aún así, su uso debe ser razonablemente crítico (Michard, 1979).

Uno de los problemas comunes en la aplicación de la metodología es la elección del geotermómetro adecuado, dado que, habitualmente, se desconoce con exactitud la composición litológica que presenta el acuífero en profundidad. Para minimizar este problema se suelen utilizar especies minerales que aparecen frecuentemente en la naturaleza (cuarzo, calcedonia, feldespatos, etc...). A partir de ellos se han obtenido y efectuado distintos calibrados, entre los que se encuentran los geotermómetros de sílice-cuarzo (Siever, 1962; Fournier y Truesdell, 1970; Fournier, 1977; Arnorsson *et al.*, 1983), sílice-calcedonia (Fournier, 1973; Michard, 1979; Arnorsson *et al.*, 1983), sílice-cristobalita, sílice-sílice amorfa (Fournier, 1977), Na-K (White, 1964; Ellis, 1970; Fournier *et al.*, 1974; Fournier, 1977; Fournier y Potter, 1979; Arnorsson *et al.*, 1983).

También hay un grupo de geotermómetros que, sin responder a ningún tipo de interacción mineral-fluido definida, se ha visto que presentan una alta correlación con respecto a la temperatura del fluido; éstos son los denominados geotermómetros empíricos entre los que se encuentran los de Na-K-Ca (Fournier *et al.*, 1974) y Na-K-Ca-Mg (Fournier y Potter, 1979), Li y Na-Li (Fouillac y Michard, 1981), Mg-Li (Kharaka *et al.*, 1985; Kharaka y Mariner, 1989) y K-Mg (Giggenbach *et al.*, 1983). Estos poseen un valor comparativo, no siendo recomendada su utilización de forma aislada (Fouillac y Michard, 1981; D'Amore *et al.*, 1987).



Finalmente, existen geotermómetros específicos para sistemas geotermales en reservorios carbonáticos-evaporíticos basados en los sistemas calcita-dolomita-agua y fluorita-anhidrita-agua (Marini *et al.*, 1986).

En el presente trabajo se han aplicado algunos de estos geotermómetros hidroquímicos a las aguas del Acuífero del Cabeço d'Or, ya que son las únicas que presentan una clara anomalía térmica positiva. Se ha seleccionado para su aplicación el muestreo efectuado en marzo de 1994 en tres puntos acuíferos, cuyas aguas presentaban 38, 27 y 27°C de temperatura en campo. Los resultados de los mismos quedan recogidos en la tabla 48.

Geotermómetro	Método	nº 1	nº 5	nº 2
Sílice-Cuarzo	Kharaka (1989)	76	69	69
	Siever (1962)	54	46	46
	Fournier (1977)	69	62	62
	Anorsson (1983)	56	48	48
Sílice-Calcedonia	Kharaka (1989)	45	37	37
	Fournier (1973)	37	29	30
	Arnorsson <i>et al.</i> (1983)	41	33	33
Sílice-Cristobalita	Kharaka (1989)	27	18	20
Na-K	Kharaka (1989)	105	113	111
	Fournier (1979)	142	167	163
	Ellis (1981)	150	185	179
	White (1969)	139	174	168
	Fournier y Truesdell (1973)	89	119	114
	Arnorsson <i>et al.</i> (1983)	109	137	132
Na-K-Ca	Fournier y Truesdell (1973)	104	113	111
	para $\beta = 1/3$ y $\beta = 4/3$	16	11	10
Mg-Li	Kharaka (1989)	5	4	-
Na-Li	Kharaka (1989)	100	118	-
	Fouillac y Michard (1981)	26	45	-
Calcita-Dolomita	Marini <i>et al.</i> (1986)	72	42	34

Tabla 48. Valores de temperatura de base en ° C calculados para las aguas termales del Cabeço d'Or.

La dispersión de valores que ofrecen tanto los diferentes geotermómetros, como las distintas calibraciones de cada uno de ellos, también ha ocurrido en otras manifestaciones termales de baja entalpía relacionados con la presencia de materiales carbonáticos

(Fernández, *et al.*, 1988; Pulido Bosch, *et al.*, 1992; Cerón *et al.*, 1993; Cerón, 1995). Su explicación se ha relacionado con el incumplimiento de algunas de las condiciones básicas, como son el desconocimiento del pH en profundidad, la indeterminación de las condiciones de equilibrio, la existencia de procesos de mezcla de agua y la validación de ciertas calibraciones.

La geotermometría de la sílice presenta temperaturas de base comprendidas entre los 46 y 76 °C para el geotermómetro sílice-cuarzo; entre 29 y 45 °C para el sílice-calcedonia; y valores entre 18 y 27°C para el sílice-cristobalita. La diferencia entre los resultados obtenidos puede estar relacionada con la especie mineral de la sílice que controle el estado de equilibrio. Los índices de saturación de las diferentes especies (tabla 49) ponen de manifiesto que las tres muestras se encuentran saturadas respecto al cuarzo y calcedonia y subsaturadas respecto a cristobalita. Este hecho, junto con los contenidos de sílice relativamente altos y constantes y con el elevado tiempo de residencia, que a tenor de las determinaciones isotópicas presentan estas aguas, apuntan a un posible equilibrio en profundidad de la sílice controlado principalmente por el cuarzo. En este sentido se podrían explicar las temperaturas subestimadas que proporciona el geotermómetro sílice-cristobalita, y en algún caso el geotermómetro sílice-calcedonia.

En cuanto a las diferencias encontradas en los valores de los distintos calibrados del geotermómetro sílice-cuarzo, también han sido puestas de manifiesto en investigaciones anteriores (Cruz-Sanjulián y Granda, 1979; Cruz-Sanjulián y Morales, 1985; Fernández *et al.*, *op. cit.*), aceptando como más válidos los resultados obtenidos a partir de Fournier (1977) y Kharaka y Mariner (1989), ya que son los más contrastados en diferentes ambientes.

	nº 1	nº 2	nº 5
Anhidrita	-0.46	-0.79	-0.75
Aragonito	-0.23	-0.01	0.11
Barita	0.03	0.11	-0.19
Calcita	0.35	0.13	0.25
Celestina	-0.12	-0.27	-0.18
Calcedonia	0.20	0.28	0.28
Cristobalita	-0.49	-0.49	-0.49
Dolomita	1.5	1.01	1.26
Yeso	-0.26	-0.52	-0.48
Halita	-6.76	-7.24	-7.23
Magnesita	-0.35	-0.64	-0.50
Cuarzo	0.44	0.49	0.49

Tabla 49. Índices de saturación de algunos minerales

Aunque el geotermómetro Na-K tiene como base teórica el equilibrio entre feldespato sódico-feldespato potásico-solución, minerales que habitualmente están ausentes en ambientes carbonáticos, los diferentes calibrados empíricos hacen que pueda tener validez con independencia de que se cumpla el supuesto fundamental del mismo (Saxena y Gupta, 1985; Duchi *et al.*, 1987). Como es bien conocido, su aplicación ofrece temperaturas más elevadas que los geotermómetros basados en el contenido de sílice (Michard, 1979; Saxena, *op. cit.*); las temperaturas estimadas a partir de éste se encuentran entre 89 y

185°C, siendo la característica más importante la de que se alcanzan las temperaturas de base más altas para el sector de Salmitre que presentan un menor termalismo. La presencia de concentraciones elevadas de sulfato pueden originar aumentos de la temperatura de este geotermómetro (Auqué *et al.*, 1986), por lo que su utilización parece poco fiable.

La utilización del geotermómetro Na-K-Ca para  $\beta = 4/3$  estima temperaturas de base por debajo de las del punto de surgencia; por el contrario, para  $\beta = 1/3$  las temperaturas calculadas se encuentran entre 104 y 113°C, valores similares a los obtenidos mediante alguna de las calibraciones del geotermómetro Na-K.

El comportamiento del geotermómetro Na-Li también depende de la calibración, obteniéndose temperaturas que pueden llegar a ser inferiores a las de surgencia y temperaturas que sobrepasan los 100°C.

Los geotermómetros Na-K-Ca con corrección de Mg y Mg-Li no son aplicables para estimar la temperatura de base en este acuífero; el primero porque no cumple las condiciones de aplicabilidad, y el segundo porque obtiene temperaturas inferiores a las de surgencia.

Por último, la aplicación del geotermómetro específico calcita-dolomita para sistemas geotermales en reservorios evaporíticos-carbonáticos propuesto por Marini *et al.*, (1986) estima las temperaturas de base entre los 34 y 72°C, valores que presentan cierta semejanza a los obtenidos con el geotermómetro sílice-cuarzo. En principio, este geotermómetro debería dar las temperaturas más exactas en las condiciones de surgencia, máxime viendo que las tres muestras se encuentran saturadas respecto a calcita y dolomita implicando que se producen condiciones de equilibrio en profundidad. Sin embargo, puede estar afectado por posibles precipitaciones de minerales de calcio (Marini *et al.*, *op. cit.*). En general, aunque no son muy frecuentes los problemas por precipitados en las tuberías de los sondeos instalados, sí se tiene constancia de la presencia de depósitos de travertinos relacionados con los antiguos manantiales de este acuífero.

En definitiva, los geotermómetros sílice-cristobalita y Mg-Li dieron resultados anómalos, con temperaturas de base por debajo de las de surgencia. También los de sílice-calcedonia, Na-K, Na-K-Ca, Na-Li muestran resultados diversos que apuntan al incumplimiento de las condiciones fundamentales. Todo parece señalar que la temperatura de base más probable es la suministrada por el geotermómetro sílice-cuarzo, la cual estaría entre 50-75°C, valores asimismo próximos a los de la calcita-dolomita.

## 6.1. MODELIZACIÓN DE LOS ESTADOS DE EQUILIBRIO EN PROFUNDIDAD

Mediante el análisis de los estados de equilibrio-desequilibrio de la solución, en relación con los diferentes minerales y temperaturas, se pueden llegar a caracterizar las condiciones termodinámicas de la interacción roca-fluido y establecer la temperatura más probable a la que se alcanzan estos equilibrios.

Para realizar este análisis he utilizado el programa *Solmineq.88* (Kharaka *et al.*, 1988), el cual establece las diferentes especies químicas del fluido y el grado de saturación en el que se encuentran, en función de la temperatura y el pH de surgencia. Con ello, se puede elaborar un modelo teórico que indique cómo evolucionan los estados de saturación de las diferentes especies con respecto a las variaciones de temperatura y que aporte información sobre la posible temperatura a la que se alcanzan los equilibrios en profundidad (Reed y Spycher, 1984; D'Amore *et al.*, 1987, Auqué *et al.*, 1989; Cerón *et al.*, 1993; Cerón, 1995).

Para efectuar la modelización se deben tener en cuenta especies minerales que sufran variaciones notables de la solubilidad con respecto a la temperatura. En este caso, dado que se trata de un acuífero carbonático en cuya serie existen litologías relacionadas con cuarzo y, posiblemente, con materiales evaporíticos, he seleccionado los minerales cuarzo, calcedonia, calcita, aragonito, dolomita, anhidrita, yeso, magnesita celestina, barita y estroncianita. He realizado la modelización entre la temperatura de surgencia y los 200°C, estableciendo este último valor como límite máximo, puesto que ninguno de los geotermómetros utilizados anteriormente la rebasa.

La temperatura a la que se produce el equilibrio de cada una de las especies seleccionadas queda definida por el intervalo  $IS = 0 \pm 0.25$  (D'Amore *et al.*, 1987). De los minerales seleccionados, la calcita, la dolomita y el aragonito no muestran resultados satisfactorios, ya que cualquier incremento de la temperatura provoca una evolución hacia la sobresaturación de los mismos. Tampoco el yeso aporta temperaturas satisfactorias. En relación con el resto, la figura 164 permite ver cómo en la muestra nº 1 el equilibrio de las especies se alcanza entre 40 y 80°C. Por su parte en las muestras nº 2 y 5, la situación de equilibrio se produce en el intervalo de 35 y 100 °C.

El intervalo de temperaturas de base, indicado por los diferentes geotermómetros a las que se encuentran en equilibrio las distintas especies, es muy grande. No obstante, la mayor parte de los minerales alcanzan su equilibrio en el intervalo entre 40 y 90°C, valores semejantes a los obtenidos mediante la utilización de otros geotermómetros como la sílice-cuarzo. Las dispersiones de valores de temperatura han sido interpretadas como consecuencia del efecto de dilución con aguas superficiales, generalmente de tipo

meteórico, a las diferentes tasas de reequilibrio que se producen entre los minerales y el agua cuando se efectúa el ascenso de esta última, y al desconocimiento de los gases perdidos (Reed y Spycher, 1984).

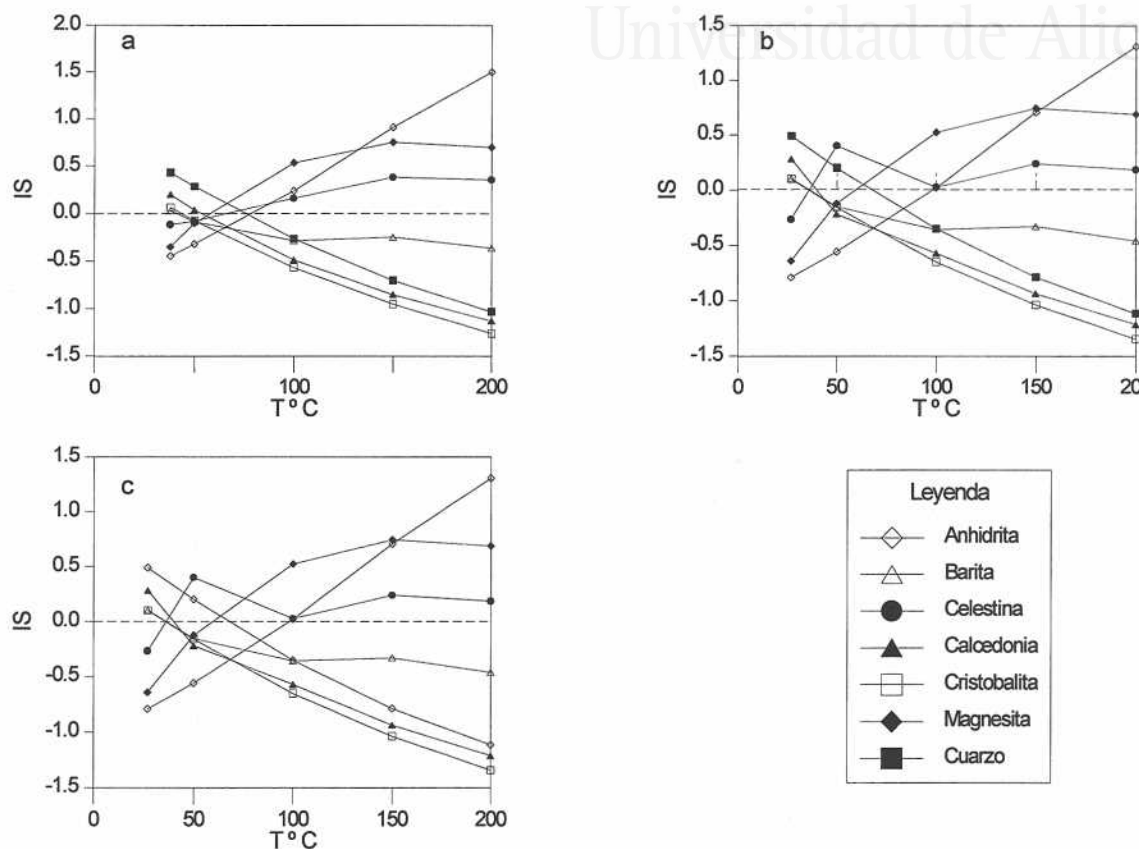


Figura 164. Modelización de los puntos termales. a: n° 1; b: n° 2 y c: n° 5.

## 7. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

### 7.1. FUNCIONAMIENTO EN RÉGIMEN NATURAL

La práctica totalidad de la descarga natural de este sistema acuífero se producía por su sector meridional. La mayor concentración de manantiales se encontraba en las inmediaciones de Aigües, aunque también existieron surgencias relacionadas con este acuífero algo más al S, concretamente en las proximidades del Alto de Salmitre y en la localidad de Busot. Se desconoce el número exacto de surgencias que drenaban el acuífero, pero debieron ser muy numerosas ya que Madoz (1842-50) relata "*Los manantiales son tantos, tan abundantes y siguen tan diversas direcciones, que es imposible hacer de ellos una enumeración exacta, porque brotan en mas de una leg. de circunferencia, pero siempre presentan en su nacimiento el carácter minero termal, que van perdiendo segun la dist. que*



corren."

Dadas las características de las aguas y debido al aprovechamiento que se ha realizado de las mismas, existe un gran número de alusiones bibliográficas que hacen referencia a los manantiales y aguas de este acuífero. Recientemente, Vinuesa (1994) ha realizado un estudio sobre los Baños de Busot en el que, a partir de diferentes testimonios documentales, establece que las principales surgencias en las inmediaciones del balneario fueron las de La Cogolla o del estómago (nº 24), Balsa de los Romanos o Balsa nueva (nº 22), Colladed posteriormente llamada de San Ignacio (nº35), Los Baños (nº 39), La Mina o la Cava (nº 40), y La Torreta (nº 41).

Además del sector de Aigües, este acuífero estaba relacionado con otras surgencias entre las que podemos destacar como más importantes:

- Manantial del Runal (nº 28): situado en la extremidad SW del Alto de Salmitre. No se tienen datos foronómicos ni fisicoquímicos de las aguas de este manantial; no obstante, todavía se puede observar una balsa y una galería en el lugar donde surgía.
- Manantial de Busot (nº 36): situado justo en la entrada meridional de Busot. Tampoco dispongo de datos de caudal ni de sus propiedades fisicoquímicas, aunque sí se conoce su carácter termal y que debió ser una surgencia de cierta entidad, a tenor de la descripción de Madoz (1842-50) "... y la otra sit. á la entrada del pueblo es de una temperatura bastante caliente y en su abundancia forma un arroyo para regar la huerta, desaguando luego en el mar, á 2 leg. de su nacimiento.". Actualmente al S del pueblo de Busot aparecen depósitos de travertinos, los cuales son fiel reflejo de la existencia de este nacimiento.

El trabajo de Vinuesa (*op. cit.*) incluye datos de aforos de los principales manantiales de los alrededores de Aigües. Corresponden éstos a aforos del siglo anterior y parte del presente. La tabla 50 muestra un resumen de los mismos. La coincidencia de datos en diferentes fechas atestigua que algunos, tan sólo son una mera transcripción de mediciones previas. Además, los valores correspondientes a 1849 y 1868 están obtenidos a partir de expresiones en desuso como la "real de agua" (rs), cuyo cambio de unidades ofrece ciertas dudas al existir varias equivalencias. La transformación de unidades para estos caudales se ha realizado atendiendo a la equivalencia de 1 m<sup>3</sup>/minuto igual a 26.626 rs (Vinuesa, *op. cit.*).

En función de los caudales indicados en la tabla 50 he realizado una estimación de la posible recarga natural de sistema, encontrando que ésta se cuantificaría entre 4.4 y 5.7 hm<sup>3</sup>/año, cantidades que, en principio, parecen demasiado elevadas para este acuífero. El



## Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos...

desconocimiento de la época en la que se realizaron los aforos, así como las diferencias que existen entre algunos años en la misma surgencia, hacen pensar que estas mediciones estén afectadas por variaciones estacionales.

	1849	1868	1876/77	1892	1896	1915	1920
Colladet	12.5	12.5	45	45	45	42	
Baños	12.5	12.5	45	13.5	45	45.1	45
Cava	37.6	37.6	-	45	-	40.5	45
Cogolla	3.8	3.8	13.5	0.58	13.5	13.9	45
Romanos	75.1	75.1	45	-	45	-	45
Torreta	-	-	-	45	-	-	-

Tabla 50. Caudales en l/s de los manantiales más importantes del entorno del Balneario de Busot. Los datos obtenidos pertenecen a los distintos informes y estudios recopilados por Vinuesa (1994).

Además de las surgencias anteriormente enumeradas, existen otras que ofrecen algunas dudas sobre su relación con el sistema acuífero; de cualquier forma, he preferido exponerlas a continuación:

- Otros manantiales de Busot: Madoz (*op. cit.*) cita dos manantiales más en la localidad de Busot, si bien no menciona sus nombres ni el lugar en donde se ubicaban. Por el contrario, sí especifica que se trataba de aguas frescas. El hecho de que no presentaran un carácter termal hace pensar que no estuviesen relacionadas con el acuífero; sin embargo, en la actualidad en Busot no existe ningún manantial natural, ya que al parecer todos se secaron con la instalación de los sondeos del Alto de Salmitre (IGME, 1987).

- Manantial de Gasparet (nº 17): se encuentra en de la localidad de Aigües y, por tanto, separada del contacto con los materiales jurásicos y de la zona en la que se situaban el resto de manantiales. Actualmente sigue surgiendo agua con un caudal inferior a 1 l/s y con una temperatura media de 19°C, lo que supone un claro comportamiento ajeno al fenómeno de la sobreexplotación, y en definitiva, a cualquier relación con el Acuífero del Cabeço d'Or. Sin embargo, parece ser que previamente a producirse la explotación por bombeos este manantial aportaba un caudal superior (5 l/s) y presentaba una anomalía geotérmica, aunque menor que la de los otros puntos. Cuando comenzaron las extracciones y descendió el nivel piezométrico perdió el carácter termal y disminuyó su caudal, aunque sin llegar a secarse. Este hecho se interpretó como consecuencia de una conexión lateral entre las calizas jurásicas del Cabeço d'Or y los materiales detríticos cuaternarios de los alrededores de Aigües a los cuales drenaba esta surgencia; es decir, mientras permaneció el régimen natural, las calizas jurásicas descargaban de forma oculta sobre el cuaternario y, por tanto,

el agua alumbrada por el manantial de Gasparet (nº 17) era una mezcla de ambos acuíferos. Una vez deprimido el nivel del acuífero jurásico, ya no había transferencia de uno a otro y la respuesta del manantial fue reducir caudal y perder el carácter termal, puesto que su agua procedía única y exclusivamente de los materiales detríticos (IGME-Dip. Alicante, 1982; IGME, 1987).

## 7.2. FUNCIONAMIENTO EN RÉGIMEN INFLUENCIADO

A partir de 1963, en los alrededores del Balneario comenzaron a perforar captaciones para extraer el agua de este acuífero. Rápidamente proliferaron extendiéndose hacia el S hasta llegar al Barranco de Salmitre, por lo que en poco tiempo los bombeos superaron las entradas y los manantiales dejaron de brotar.

Con la desaparición de las surgencias naturales las salidas del sistema se debieron, única y exclusivamente a las efectuadas por los bombeos. Existe una laguna de información referente a la cantidad de agua extraída entre los años 1963 y 1978, intervalo en el que se presentan los máximos descensos relativos cuyos valores se sitúan en torno a 19 m/año, lo que indica que fue durante este periodo cuando se extrajeron los mayores volúmenes. La explotación del sistema se llevó a cabo por entidades privadas (actualmente desaparecidas). La imposibilidad de obtención de los datos de extracción queda reflejada en los trabajos previos (IGME-IRYDA, 1978a; IGME-Dip. Alicante, 1982; IGME, 1987). No obstante, se han estimado unos valores mínimos cuyo significado tan sólo reflejan un orden de magnitud:

- Entre 1963 y 1978 la explotación media sería de 10 hm<sup>3</sup>/año. Su cálculo se efectuó en función de un caudal instantáneo de bombeo de 756 l/s y un periodo de extracción ininterrumpida de 5 meses (IGME-IRYDA, 1978a)

- Entre 1978 y 1982 se atribuye una explotación media de 2.6 hm<sup>3</sup>/año, volumen estimado a partir de un caudal instantáneo de 165 l/s y un periodo medio de extracción de 6 meses (IGME-Dip. Alicante, 1982).

A partir de 1983 se empieza a tener constancia de los bombeos que se producen en el sistema. Las extracciones anuales para el periodo comprendido entre 1983-1994 han sido inferiores a 1.6 hm<sup>3</sup>/año, reduciéndose considerablemente a partir de 1987 en que se mantienen entre 0.5 y 0.7 hm<sup>3</sup>/año. Esta situación de estabilidad se alcanza debido a que en estos últimos años el destino del agua ha cambiado, ya que el uso original como agua para regadío ha sido reducido de forma significativa, pasando a ser el abastecimiento a poblaciones y urbanizaciones la principal utilización de las aguas de este acuífero.

## 8. COMPONENTES DEL BALANCE

### 8.1. SALIDAS

Al igual que ocurría en los anteriores sistemas acuíferos, las únicas salidas que se producen en el Cabeçó d'Or se deben a las extracciones antrópicas. Éstas han permanecido prácticamente estabilizadas en los últimos años (tabla 51), presentando como valor medio  $0.6 \text{ hm}^3/\text{año}$  para el periodo 1989-94.

La distribución de los bombeos a lo largo del año presenta un máximo estival en los meses de julio y agosto (figura 165), superando cantidades de  $100000 \text{ m}^3/\text{mes}$ . El resto del año presenta bombeos medios inferiores a  $60000 \text{ m}^3/\text{mes}$ . Esto supone que el 35% de las salidas anuales se realiza en esos dos meses. Esta distribución se debe a que durante los meses estivales se necesitan mayores cantidades de agua, como consecuencia del aumento de población en

Año	$\text{hm}^3$
1989	0.6
1990	0.5
1991	0.6
1992	0.5
1993	0.5
1994	0.7
Media	0.6

Tabla 51. Extracciones del Acuífero del Cabeçó d'Or durante el periodo 1989-94.

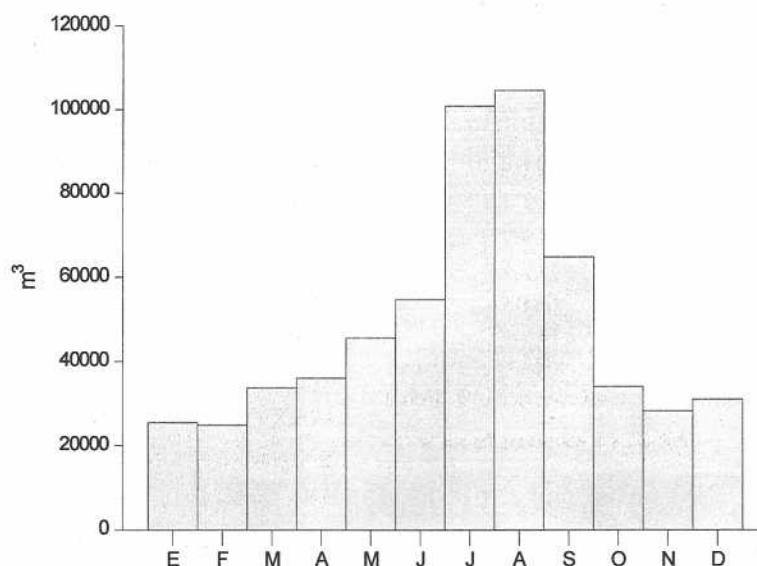


Figura 165. Distribución mensual de los bombeos efectuados en el Cabeçó d'Or.

las urbanizaciones turísticas. A ello se le une un aumento de la demanda agrícola, ya que la plantación del tomate de verano, típico de la comarca, se realiza a partir de la segunda

quincena de junio.

## 8.2. ENTRADAS

Las entradas que se producen en el Acuífero del Cabeçó d'Or se deben a la infiltración procedente de la precipitación, puesto que dentro de su perímetro permeable no existen cursos de agua, ni actividades agrícolas capaces de alimentar el sistema. Según se desprende de la estructura que presenta, tampoco parece que sea posible una recarga oculta procedente de otros acuíferos laterales, si bien no hay que descartar la posibilidad de una alimentación profunda asociada al termalismo. De cualquier forma esta no debe ser muy elevada, por lo que, para efectos prácticos, se puede asumir que las entradas procedentes de la infiltración directa del agua de lluvia coinciden con la recarga del acuífero.

Para efectuar los cálculos de la posible infiltración del agua de lluvia he utilizado los datos de precipitación de la estación Masía Velón, la cual presenta un periodo de 17 años de registro. Como en los acuíferos anteriores, he efectuado los cálculos mediante los métodos de Kessler y Thornthwaite.

### - Método de Kessler

Los valores de infiltración anual obtenidos mediante esta metodología, quedan recogidos en la tabla 52. Se trata de valores de coeficientes de infiltración comprendidos entre 17% del año 1983 y 71% de 1988. La infiltración media se sitúa en el 45% de la precipitación media. Este valor es similar a las obtenidas para los acuíferos de Crevillente y Cid mediante este mismo método.

AÑO	INFILTRACIÓN %	AÑO	INFILTRACIÓN %
1979	40	1987	42
1980	69	1988	71
1981	48	1989	37
1982	45	1990	70
1983	17	1991	65
1984	30	1992	36
1985	33	1993	35
1986	37	<b>media</b>	<b>45</b>

**Tabla 52.** Infiltración en % respecto a la pluviometría total, calculada por el método de Kessler (1965). Las series han sido reestructuradas en años naturales.

*-Método de Thornthwaite*

Para establecer el valor de reserva útil necesario para la realización de los balances diarios he utilizado el intervalo 1986-1993, periodo del que se dispone de datos de precipitación, extracciones y niveles piezométricos. Como en los anteriores ejemplos, he tenido en cuenta la posible escorrentía superficial, utilizando la metodología del *U.S. Soil Conservation Service* (Temez, 1978). También en este caso he seleccionado los umbrales de escorrentía de 20 y 40 mm.

Las mejores respuestas del comportamiento piezométrico parecen obtenerse para valores de reserva útil de 45 mm y escorrentía de 20 mm (figura 166). Hay que destacar el elevado valor de reserva útil encontrado, teniendo en cuenta el escaso desarrollo de suelos en el área de recarga.

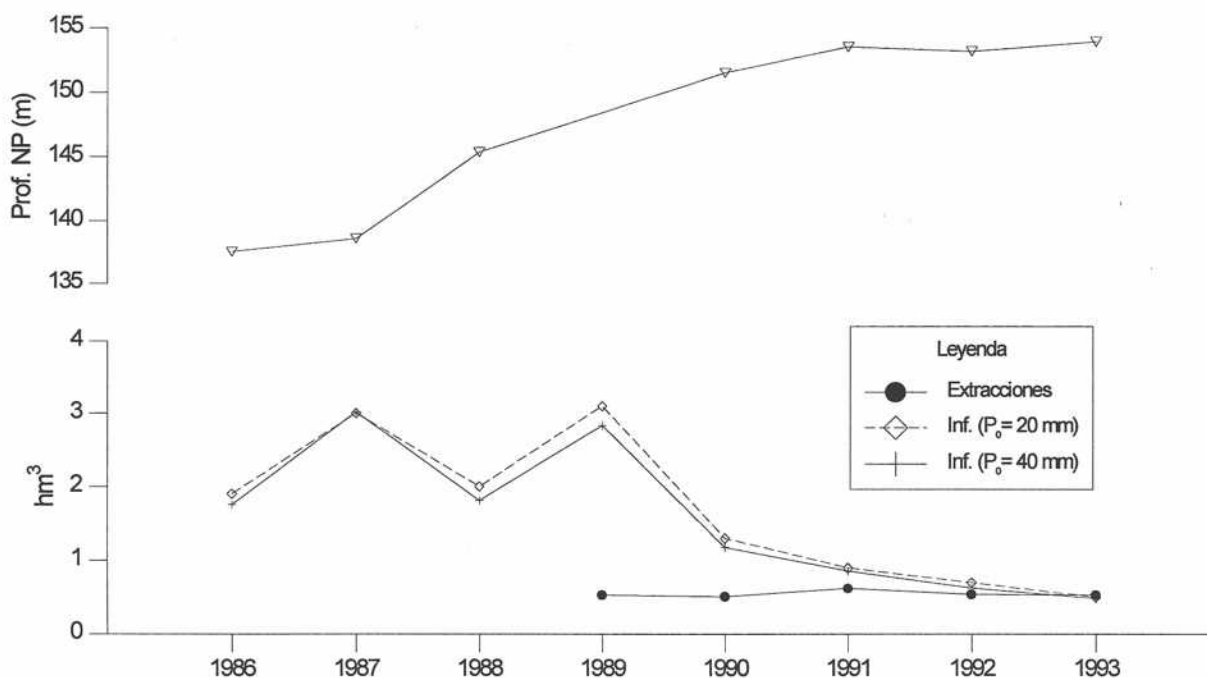


Figura 166. Estimación de la infiltración mediante el método de Thornthwaite.

Con el valor de reserva útil obtenido y los umbrales de escorrentía seleccionados he realizado los balances para el periodo 1977/78-1992/93 (tabla 53). Con ello se pretende tener un intervalo de tiempo más amplio y, por tanto, más representativo. Los valores de infiltración medios oscilan entre 104 y 127 mm/año. Éstos son capaces de producir unas entradas medias comprendidas entre 1.1 y 1.4 hm³/año en los 11 km² de superficie carbonática aflorante. La estimación de la recarga es semejante a los 1.4 hm³/año encontrados por Pulido-Bosch *et al.* (1995) y 1 hm³/año, obtenido a partir de un modelo

matemático por el ITGE (1996). En cuanto a los coeficientes de infiltración oscilan entre 26 y 31% de la precipitación que recibe el área. Coeficientes inferiores a los calculados mediante el método de Kessler, aunque superiores al 6% establecido por el IGME (*op. cit.*) a partir de datos de aforos de surgencias y al 17% estimado mediante el modelo matemático (ITGE, *op. cit.*).

	LI útil (mm)	I (mm) a	I (mm) b	V (hm <sup>3</sup> ) a	V (hm <sup>3</sup> ) b
1977-78	18.3	18.3	18.3	0.2	0.2
1978-79	68.8	52.8	68.7	0.6	0.8
1979-80	298.2	203.7	268.4	2.2	3
1980-81	73.1	56.2	71.8	0.6	0.8
1981-82	133.4	105.2	128.3	1.2	1.4
1982-83	51.2	45.6	51.1	0.5	0.6
1983-84	69.1	39.2	63.1	0.4	0.6
1984-85	77.6	68.9	77.5	0.8	0.9
1985-86	170.2	124.1	158.4	1.4	1.7
1986-87	186.6	144.1	175.1	1.6	1.9
1987-88	358.8	223.1	301.7	2.5	3.3
1988-89	196.1	146.7	180.7	1.6	2
1989-90	284.8	270.8	283.4	3	3.1
1990-91	117.7	111.4	117.7	1.2	1.3
1991-92	88.8	68	85.6	0.7	0.9
1992-93	63	56.7	62.7	0.6	0.7
1993-94	50.4	33.3	48	0.4	0.5
<b>Media</b>	<b>136</b>	<b>104</b>	<b>127</b>	<b>1.1</b>	<b>1.4</b>
<b>%</b>	<b>33</b>	<b>25</b>	<b>31</b>		

Tabla 53. Estimaciones de las entradas del acuífero; I: infiltración; V: volumen infiltrado; columna a:  $P_o = 20$ ; columna b:  $P_o = 40$  mm.

Una vez más para el caso de este acuífero, se demuestra que en este tipo de sistemas kársticos, las entradas están fuertemente condicionadas por la pluviometría del año. Durante el periodo seleccionado se observan variaciones que oscilan entre 0.2 y 3.3 hm<sup>3</sup>. Esta irregularidad explica que los aforos históricos de las antiguas surgencias de los alrededores del Balneario aportasen caudales propios de recargas más elevadas de lo que inicialmente podría pensarse.



## 9. AJUSTE DEL BALANCE Y ESTADO DEL ACUÍFERO

El balance que presenta este sistema muestra un superávit de 0.5-0.8 hm<sup>3</sup>/año, ya que las entradas al sistema se han estimado en 1.1-1.4 hm<sup>3</sup>/año, mientras que las salidas medias están en 0.6 hm<sup>3</sup>/año. Como ocurre en el Acuífero del Cid, debido a la sequía que ha padecido toda la parte meridional de la provincia a partir de 1991, la recarga de este sistema no ha alcanzado este nivel, por lo que la respuesta del nivel piezométrico ha sido de estabilidad e incluso ha llegado a descender un poco. En definitiva, el estado de sobreexplotación que presentó este sistema en épocas anteriores ha desaparecido, siendo en estos momentos un acuífero ligeramente excedentario, donde la sobreexplotación que queda es residual, entendiéndola ésta como la que permanece por no haberse recuperado hasta su nivel inicial.

## 10. RESERVAS

Tampoco resulta fácil la obtención del valor de reservas que dispone este acuífero. El desconocimiento de la profundidad a la que se encuentra el impermeable de base, así como la geometría que puede presentar el sistema en profundidad impiden realizar estimaciones precisas. Por ello, las reservas que se dan en este caso se trata de las "reservas mínimas" que presenta el acuífero, ya que he utilizado como espesor saturado, el que presentan los sondeos y ninguno de ellos parece haber alcanzado el impermeable basal.

Para la estimación de las reservas he procedido de manera similar a los anteriores casos. El periodo seleccionado ha sido el comprendido entre junio-octubre de 1993, en el cual no se produjeron precipitaciones, por lo que no existió alimentación. Durante este periodo el descenso producido fue de 59 cm y las extracciones fueron de 280500 m<sup>3</sup>. Estimando una columna saturada aproximada de 130 m se obtiene un valor de reservas mínimo de 62 hm<sup>3</sup>. Nuevamente, hay que destacar que este valor tan sólo tiene validez en cuanto a orden de magnitud, siempre y cuando el medio ofrezca condiciones semejantes a las existentes para el intervalo de tiempo seleccionado.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **VII. LA SOBREEXPLOTACIÓN EN ACUÍFEROS KÁRSTICOS**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## 1. CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA KARSTIFICACIÓN: VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS CON EL VACIADO

El fenómeno de la sobreexplotación provoca descensos de los niveles que no se producirían en condiciones naturales. Estos descensos suponen una reducción de la zona saturada, que en acuíferos potentes como los de este trabajo pueden ser superiores al centenar de metros. Desde el punto de vista científico, los acuíferos en los que se produce la sobreexplotación, ofrecen gran interés a la hora de estudiar algunos aspectos relacionados con la variación de los parámetros hidráulicos en profundidad.

La variación de los parámetros hidráulicos está relacionada con la karstificación, la cual se origina por la acción mecánica y la acción química del agua sobre la roca (Mangin, 1975; Bakalowicz, 1982). En este sentido, parece existir un tramo de máxima karstificación (figura 167) que correspondería a la franja de fluctuaciones estacionales y/o seculares (Legrang y Stringfield, 1966 y 1971; Bedinger, 1967; Milanovic, 1981), a partir de la cual perdería intensidad con el aumento de la profundidad.

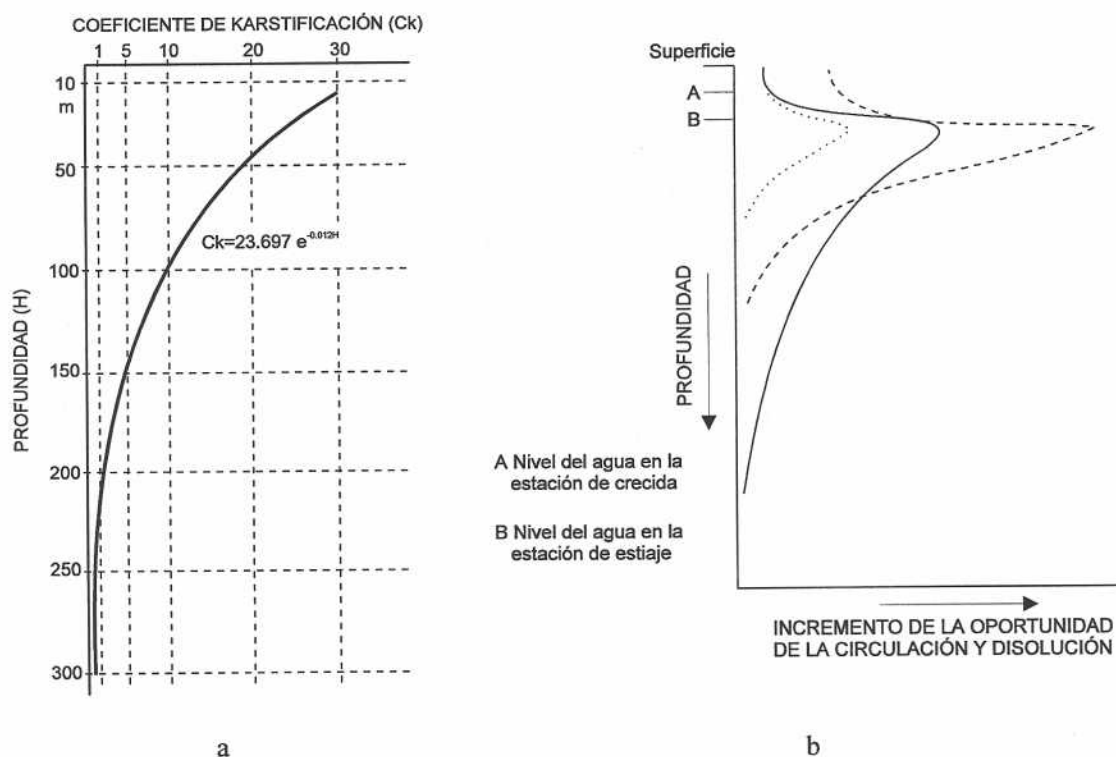


Figura 167. Variación de la karstificación en profundidad según Milanovic (1981) (a) y Legrand y Stringfield (1971)(b).

Estudios estadísticos han puesto de manifiesto que la conductividad hidráulica de las formaciones fisuradas decrece exponencialmente con la presión efectiva de la roca, la cual a su vez es función de la profundidad (Louis, 1974). La aceptación de un modelo conceptual para acuíferos kársticos semejante a los de rocas fisuradas (Drogue, 1980, 1982; Kiraly, 1975, Kiraly y Morell, 1976), propugna la disminución de la karstificación con la profundidad. En este sentido, la utilización de ensayos de inyección mediante la técnica de Lugeon para la estimación de la permeabilidad en el Jura evidenció un descenso de la conductividad hidráulica (Mathey y Simeoni, 1971), si bien esa pérdida no es continua, sino que a partir de cierta profundidad se mantiene constante (Simeoni, 1978). También los tramos inferiores resistivos deducidos mediante SEV se han interpretado como rocas poco karstificadas (Arandjelovic *et al.*, 1966; Arandjelovic, 1984)

Sin embargo, puede existir karstificación en profundidad muy por debajo del nivel de base (Schoeller, 1965; Mangin, 1975). La existencia de una actividad kárstica profunda ha sido reconocida en el Jura (Fourneau *et al.*, 1990). Descensos lineales y escasas variaciones en los volúmenes específicos con la profundidad han puesto de manifiesto cierta homogeneidad de la karstificación en toda la franja saturada de algunos acuíferos kársticos de Argelia (Collignon, 1986 y 1987). También se pueden originar procesos de karstificación en profundidad relacionados con termalismo y emanaciones de CO<sub>2</sub> y SH<sub>2</sub> (Bögli, 1980; Bakalowicz *et al.*, 1987; Ford y Williams, 1989; Dublyansky, 1980). Los estudios iniciales sobre algunos acuíferos objeto del presente trabajo comprobaron que a pesar de las elevadas extracciones y la disminución del espesor saturado, los rendimientos de las captaciones se mantenían, por lo que el modelo conceptual de acuífero kárstico sería de "karstificado en su conjunto" (Pulido-Bosch, 1985 y 1991; Bayó *et al.*, 1986; Pulido-Bosch *et al.*, 1995).

En el presente trabajo he aprovechado el fenómeno de la sobreexplotación para conocer los posibles cambios de las propiedades hidráulicas de estos acuíferos en sus diferentes estadios de explotación. Se pretende comparar los valores de caudales, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y porosidad obtenidos durante los últimos años, y por tanto, correspondientes a elevadas profundidades, con aquellos otros estimados anteriormente representativos de franjas acuíferas más superficiales.

### 1.1. VARIACIÓN DE LOS CAUDALES

A pesar del número de captaciones que presentan estos acuíferos, los datos referentes a caudales no son demasiado abundantes. Habitualmente, los aforos que se realizan son estimativos para comprobar si la captación es capaz de cubrir sus necesidades, y no suele quedar constancia escrita de los mismos. De cualquier forma, es interesante conocer el orden de magnitud de estos valores, ya que pueden proporcionar una idea más o menos fiable de las condiciones del medio.

### 1.1.1. Acuífero de Crevillente

Durante la década de los cincuenta el nº 53 extraía un caudal de 90 l/s con un descenso de 0.5 m y tras un periodo de funcionamiento de 25 días (EVREN, 1989-90), lo que supone un caudal específico de 180 l/s.m.

Las primeras noticias sobre caudales previos a la explotación de la Galería hacen referencia a que el emplazamiento de una bomba en una fractura aportó caudales de 150 l/s provocando depresiones de 40 cm. No obstante, a partir de los primeros datos correspondientes a un bombeo de ensayo escalonado efectuado en el interior del túnel, se estimó que para un caudal de 90 l/s se producían descensos de 2 m (Navarro y Trigueros, 1966). La curva característica que presentaba el aprovechamiento conjunto de las captaciones de la Galería (figura 168) muestra descensos piezométricos de 20 m para caudales de 500 l/s. Aforos más recientes del mes de marzo de 1987 marcan descensos de aproximadamente 6 m para caudales de explotación global de 450 l/s (EVREN, *op. cit.*), por lo que, en principio, se puede interpretar como debido a un aumento de la productividad de la Galería. Sin embargo, en el transcurso de este estudio se ha podido observar que algunas captaciones como las nº 45 y 44 han tenido que ser abandonadas puesto que perdieron sus rendimientos, pasando de caudales de 105 l/s y 55 l/s a menos de 25 l/s.

En la parte oriental del acuífero el aforo más antiguo corresponde al nº 29, que en agosto de 1958 proporcionaba caudales de 11.5 l/s con depresiones de 32.4 m, equivalente a un caudal específico de 0.34 l/s.m. Sin embargo, al principio de la explotación, la mayoría de las captaciones realizadas en el Barranco del Tolomó mostraban caudales entre 70 y 100 l/s, con descensos inferiores al metro, lo que significa caudales específicos superiores a 100 l/s.m (Pulido-Bosch y Fernández Rubio, 1980 y 1981).

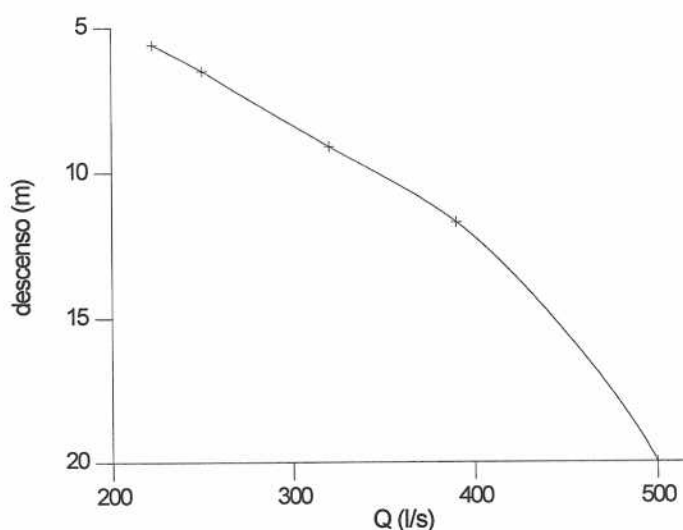


Figura 168. Bombeo de ensayo efectuado en la Galería en 1966.

En la década de los ochenta comenzaron a realizarse sondeos al S de Hondón de las Nieves. Aunque también presentaron elevados rendimientos, no todos aportaron caudales tan altos como en el Tolomó. Así, el nº 36 tenía un caudal de 45 l/s con una depresión de



15 m, y el nº 30, 35 l/s con descensos de 126 m, es decir, caudales específicos de 3 l/s.m y 0.3 l/s.m respectivamente. A mediados de la década algunas de las captaciones que inicialmente habían presentado buenas características perdieron sus rendimientos y quedaron prácticamente improductivas. Este fenómeno fue especialmente drástico en el sector S de Hondón de las Nieves, donde hubieron de abandonarse todas las captaciones hasta quedar tan sólo dos, las cuales siguen funcionando en la actualidad.

Más escasa es la información del sector de Rollo-Algayat, aunque se sabe que había mostrado variaciones espaciales muy importantes espacialmente, ya que mientras que el nº 55 bombeaba con caudales específicos de 120 l/s.m, el nº 25 lo hacía con 1.1 l/s.m. Los valores obtenidos en la Sierra del Rollo muestran que los descensos específicos ya eran los más importantes del conjunto del sistema. Recientemente, los nº 27 y 28 han sufrido una pérdida fuerte de caudal, no pudiendo bombear simultáneamente debido a su afección mutua.

nº	1988-75	1977	1979	1983	1984	1985	1988	1994
1	100	-	-	-	-	35	-	-
2	100	-	-	-	-	40	30	-
3	100	-	-	-	-	30	20	-
5	100	-	-	-	-	35/25	30	-
6	100	-	-	-	-	75	50	-
7	100	-	-	-	7	-	-	-
8	100	-	-	-	-	18	-	-
9	100	-	-	-	-	40	50	-
10	100	-	-	-	-	40	45	40
11	100	-	-	-	-	10	-	-
13	100	-	-	-	-	50	45	-
14	100	-	-	-	-	35	40	-
15	-	-	100	-	-	52	45	-
20	-	-	-	-	-	20	-	-
22	-	-	-	-	-	30	-	-
26	-	-	80	-	-	14	-	-
27	-	-	-	-	-	35	25	20
55	-	-	-	80/60	-	60	55	55
21	-	-	-	-	-	30	28	-
25	-	-	-	-	-	-	25	20
44	100	-	-	-	-	-	60	-
45	100	-	-	-	-	-	110	-
47	100	-	-	-	-	-	110	-
48	100	-	-	-	-	-	110	-
50	100	-	-	-	-	-	110	-
38	-	-	-	-	-	70/65	60	70
39	-	-	-	-	-	80	60	80
30	100	20-30	-	-	-	-	-	-

Tabla 54. Evolución de los caudales (l/s) de algunos sondeos del Acuífero de Crevillente.

En los últimos años la *Confederación Hidrográfica del Júcar* ha pretendido reubicar las extracciones, de forma que se han perforado varios sondeos fuera de los clásicos sectores de extracción. Los resultados de sus aforos han sido variados, encontrándose caudales específicos de 258 l/s.m y 56 l/s.m en los nº 54 y 76, mientras que los nº 56 y 71 han presentado 0.43 y 0.14 l/s.m. Significativo es el nº 75, relativamente próximo al nº 54, que, a pesar de haberse desarrollado mediante dos acidificaciones de 20000 kg de CIH, finalmente ha resultado improductivo, ya que con un caudal inferior a 5 l/s se alcanzaba la aspiración, con descensos superiores a 100 m.

A título de resumen, la tabla 54 recopila caudales de extracción de algunas captaciones. Los valores anteriores a 1985 no deben ser considerados como exactos, sino más bien orientativos. En general, y a pesar de que los sondeos han sufrido procesos de reprofundización o desarrollos inducidos para aumentar su productividad, se observa una pérdida continuada de caudales. No obstante, todavía siguen existiendo algunos que han mantenido su caudal o su pérdida ha sido poco significativa.

### 1.1.2. Acuífero del Cid

La información de que dispongo sobre los caudales de este sistema es muy escasa, ya que la mayoría de las captaciones se pusieron en funcionamiento sin aforo oficial. Las encuestas de campo reflejaban que habitualmente los sondeos realizados en este acuífero aportaban caudales comprendidos entre 50 y 150 l/s, siendo muy pocos los catalogados como "malos" o improductivos. En este sentido, los caudales específicos debieron ser bastante altos como demuestran los 274 l/s.m del nº 1 y los 50 l/s.m del nº 7, ambos obtenidos en 1975.

Al comparar los valores de caudal de varios sondeos en distinta fecha se puede comprobar cómo parece haberse producido una reducción de los mismos a medida que se extraía agua a mayor profundidad, y por tanto con menor espesor saturado.

- nº 1 pasó de 137 l/s en 1974 a 86 l/s en 1989 y en la actualidad tiene 100 l/s.
- nº 6 bombeaba aproximadamente a 140-150 l/s en 1972-73 y 117 l/s en 1984.
- nº 2 en 1971 sacaba 126 l/s y en la actualidad 70-80 l/s.
- nº 5 inicialmente tuvo una bomba que extraía 130 l/s y en 1991 de 60 l/s.

Hay que tener en cuenta que estas variaciones de caudal pueden estar afectadas o tener un origen con posibles cambios de los equipos de bombeo e incluso deberse a la precariedad de los datos, ya que en ningún caso se trata de caudales específicos. En los últimos años, las captaciones que han permanecido en funcionamiento, bombean con caudales comprendidos entre 70 y 100 l/s, con descensos inferiores al metro.

En definitiva, no se puede descartar que hubiera una pérdida de rendimientos de las captaciones de este acuífero al disminuir la cota de extracción, aunque todo parece apuntar a que los rendimientos siguieron siendo elevados, por lo que de existir tal pérdida, fue mucho menor que la ocurrida en el Acuífero de Crevillente.

### 1.1.3. Acuífero del Cabeço d'Or

Del único punto del que se tienen noticias sobre caudales es del nº 4. En 1969 se le realizó un aforo que aportaba un caudal de 75 l/s y originaba un descenso de 2.25 m, lo que supone un caudal específico de 33.3 l/s.m. Los sondeos existentes en la actualidad registran los siguientes caudales: nº 1, 27 l/s; nº 5, 40 l/s; nº 2, 20 l/s; nº 4, 20 l/s y nº 3, 30 l/s, presentando caudales específicos comprendidos entre 0.8 l/s.m y 2 l/s.m.

Dado que la mayoría de estos sondeos son posteriores a 1980, no se ha observado ninguna variación temporal de sus rendimientos. Por el contrario, sí existen diferencias de caudal específico respecto al nº 4, las cuales podrían ser debidas a la fuerte heterogeneidad que presenta el medio o bien a que realmente existe una reducción de la karstificación con la profundidad.

## 1.2. VARIACIÓN DE LA TRANSMISIVIDAD

Aunque esta herramienta se puede considerar como una de las más adecuadas para observar las variaciones de comportamiento hidráulico en la vertical, la realidad es que la falta de datos ha limitado la información que de ella se podía obtener. En concreto no he considerado el caso del Acuífero del Cid.

Para solucionar esta carencia de información he estimado algunos valores de transmisividad a partir de los caudales específicos, puesto que se puede asumir que el caudal específico va a depender de las características del acuífero. El método estimativo que he utilizado ha sido el propuesto por Galofré (1966) (*in* Custodio y Llamas, 1983) donde:

$$T \text{ (m}^2 \text{ /día)} \approx 100 \frac{Q \text{ (l/s)}}{s_p \text{ (m)}}$$

T = Transmisividad ; Q = caudal;  $s_p$  = descenso en el pozo

### 1.2.1. Acuífero de Crevillente

Las transmisividades estimadas en algunos sondeos de investigación realizados en las inmediaciones de Casas de Galiana, previos a la ejecución de la Galería, alcanzaron

valores en torno a 18000 m<sup>2</sup>/día. A partir de los datos de los aforos realizados en el interior de la Galería (Navarro y Trigueros, 1966) se obtienen valores de 4500 m<sup>2</sup>/día. Las transmisividades de 7500 m<sup>2</sup>/día calculadas de los aforos efectuados en el año 1987 (EVREN, 1989-90) indican aproximadamente cómo, a pesar de estar a cota absoluta inferior a 100 m, continúan siendo elevadas. También en los años ochenta otras captaciones ubicadas en esta misma parte del acuífero mostraron transmisividades de 90 m<sup>2</sup>/día y 1600 m<sup>2</sup>/día (EVREN, *op. cit.*). Estos datos apuntan que en este sector las trasmisividades son mayoritariamente altas y parecen haber permanecido altas a profundidades elevadas, aunque también existen puntos en que se reducen considerablemente.

En el sector del Tolomó las transmisividades encontradas alcanzaron valores de hasta 50000 m<sup>2</sup>/día (Pulido-Bosch y Fernández Rubio, 1980). Si se comparan estos valores con los estimados en este trabajo se observa que se ha producido una disminución considerable de transmisividad con la profundidad.

La mayor parte de los rendimientos del sector de Rollo-Algayat es inferior a los anteriores sectores. Los resultados de las pruebas efectuadas entre 1979 y 1980 en uno de los sondeos dieron valores de transmisividad comprendidos entre 200 y 3600 m<sup>2</sup>/día, valores algo superiores a los encontrados en 1996 para sondeos del mismo paraje.

La escasez de datos no permite obtener una ley general de variación de la transmisividad con la profundidad que se cumpla para todo el acuífero, si bien al comparar la información histórica con las determinaciones efectuadas en el presente trabajo, se observa que se combinan sondeos y áreas en los que se ha habido una fuerte reducción de la transmisividad con otros en los que ha permanecido idéntica e incluso se han obtenido aumentos; tal sería el caso de algunos puntos de la Galería.

### 1.2.2. Acuífero del Cabeçó d'Or

Apenas existen datos sobre la evolución de este parámetro. La estimación del valor de transmisividad en el nº 4 en un aforo realizado en 1969 fue de 3300 m<sup>2</sup>/día, por lo que no se observan grandes diferencias con los valores obtenidos en los últimos años.

## 1.3. VARIACIÓN DE LA POROSIDAD

Al igual que para la transmisividad la escasez de datos obliga a tratar tan sólo los acuíferos de Crevillente y Cabeçó d'Or.

### 1.3.1. Acuífero de Crevillente

La variación de la porosidad es otro de los parámetros que puede aportar

información sobre el modelo conceptual que presenta este acuífero. Solís *et al.*, 1983 confeccionaron la "curva de explotación" del sistema (figura 169) utilizando una metodología en la que se establece cierta analogía entre un acuífero y un embalse superficial. Esta curva relaciona cada cota con el volumen de agua disponible; en definitiva, estima la porosidad eficaz conociendo la sobreexplotación del sistema y los descensos piezométricos correspondientes.

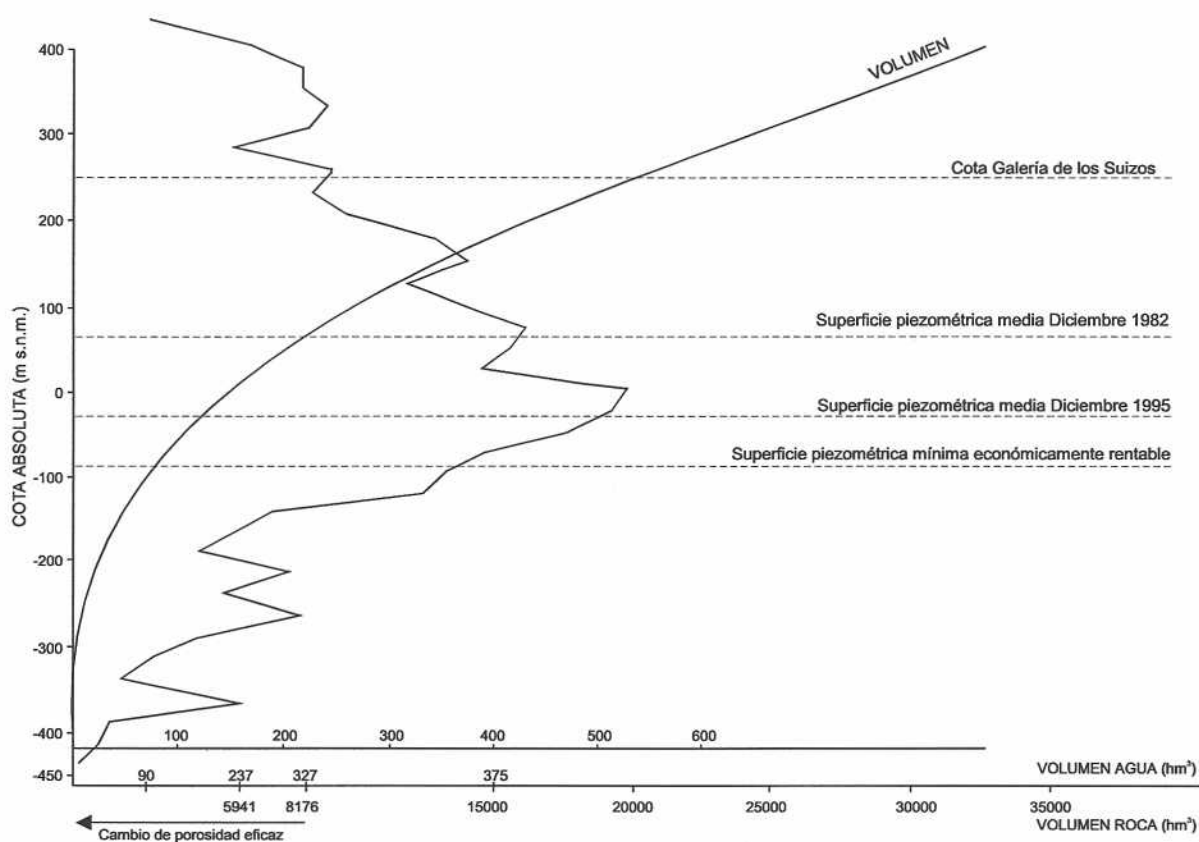


Figura 169. Curva de explotación del Acuífero de Crevillente (modificado de Solís *et al.*, 1983).

Posteriormente, se ha intentado comprobar si ha existido variación de la porosidad en la vertical (MOPU, 1989); para ello se han utilizado las siguientes ecuaciones:

$$ILL = B - DR \quad (1)$$

donde, ILL: Infiltración de la lluvia; B: Volumen de agua bombeada; DR: Disminución de las reservas. También ha sido usada la relación:

$$DR = VRAD \times PE \quad (2)$$

donde, VRAD: Volumen de roca acuífera desaturada como consecuencia de la sobreexplotación; PE: Porosidad eficaz; por tanto,

$$PE = \frac{B-ILL}{VRAD} \quad (3)$$

VRAD puede obtenerse a partir de la curva de explotación del sistema.

El modelo de ecuaciones es capaz de tener en cuenta la existencia de fosas que puedan situar a los materiales impermeables a profundidades mayores y, por tanto, influir en el valor de la porosidad.

Los valores de porosidad obtenidos mediante esta metodología para el periodo 1982-1987 quedan recogidos en la tabla 55. Hay que tener en cuenta que estos valores no se han calculado con la misma definición de Acuífero de Crevillente utilizada en el presente estudio. El valor de 1982, que en principio difiere bastante del resto de los años, ha sido interpretado como la porosidad afectada y minimizada a causa de la estructura geológica del acuífero (MOPU, 1989). En cuanto a la evolución que ha seguido este parámetro, aunque la serie es de pocos años, parece adquirir una tendencia descendente en los últimos tres años.

La abundancia de fracturas y fallas que presenta la estructura de este acuífero impide conocer con exactitud su geometría en profundidad, por lo que he intentado buscar herramientas indirectas que

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Pe(%)	1.9	4.40	3.67	4.57	4.14	3.07

Tabla 55. Valores de porosidad eficaz para el periodo 1982-87 (tomado de MOPU, 1989).

proporcionen parámetros relacionados con la porosidad y en las que no haya que establecer una geometría determinada. Una forma de observar los cambios que pueda presentar este parámetro es mediante la utilización del "volumen de extracción específico" o cantidad de agua extraída por unidad de descenso. Para ello he utilizado los volúmenes de extracción y pérdida de niveles en la Galería de los Suizos hasta 1987 y para el sector occidental a partir de 1990 (figura 170). Para evitar las interferencias con posibles recargas a causa de las precipitaciones he utilizado tan sólo los meses de julio y agosto, ya que en este periodo es cuando más agua se extrae y se originan mayores depresiones, apenas hay precipitaciones y las que se producen son de escasa entidad y raramente llegan a producir infiltración.

En principio, una disminución de este parámetro se puede interpretar como una variación del almacenamiento en profundidad debido a una pérdida de porosidad en la vertical o con una modificación geométrica del acuífero. Sin embargo, su comportamiento



a lo largo del tiempo se muestra bastante aleatorio. Esta evolución apunta a la existencia de una karstificación relativamente irregular en la que sucesivamente existen tramos porosos, que aportan mayor cantidad de agua, que transicionan a tramos menos productivos, y originan mayores pérdidas de nivel. En este caso no se puede constatar la existencia de una disminución del almacenamiento continua respecto a la profundidad.

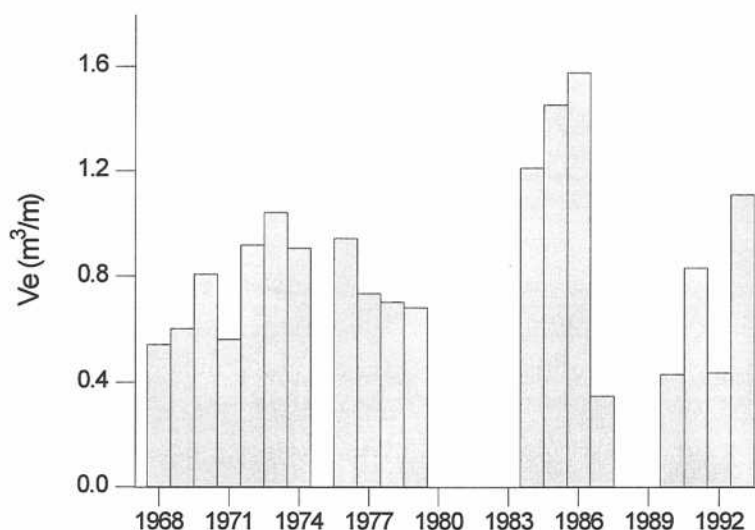


Figura 170. Variación del volumen de extracción específico en el tiempo, y por tanto, con la profundidad.

### 1.3.2. Acuífero del Cabeço d'Or

También para este acuífero se han realizado los cálculos de porosidad en diferentes años (IGME, 1987), con un procedimiento semejante al utilizado en el acuífero de Crevillente. Para ello se ha utilizado la ecuación (3) en un periodo en que la infiltración se pueda considerar nula, como es el comprendido entre los meses de julio a septiembre, asumiendo que el acuífero mantiene un área en profundidad constante de 15 km<sup>2</sup>.

Los valores de porosidad estimados hasta 1984 (tabla 56) muestran una reducción de la porosidad con la profundidad, aunque este comportamiento no parece haberse cumplido siempre, ya que he obtenido porosidades en torno al 3% siguiendo el mismo procedimiento para el año 1993.

Año	1980	1981	1984	1993
Pe(%)	2.8	2.1	1.7	3

Tabla 56. Valores de porosidad obtenidos por el IGME (1987) para el Cabeço d'Or. El valor de 1993 ha sido calculado siguiendo la misma metodología.

#### 1.4. PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

Únicamente se dispone de esta información en el Acuífero de Crevillente. En los sondeos de investigación efectuados por la entidad Riegos de la Salud de San Antonio se

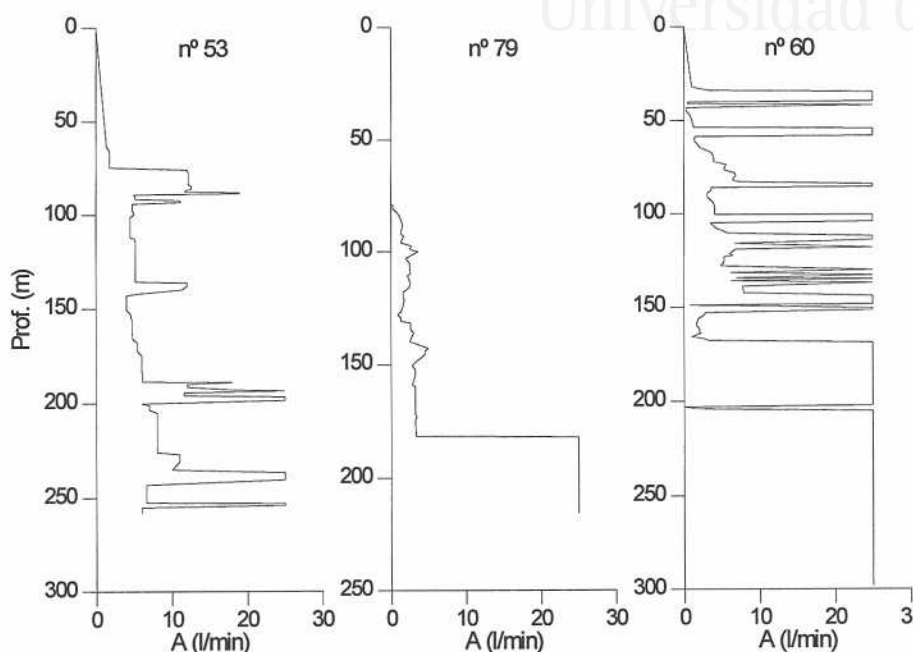


Figura. 171. Variación de la absorción de la roca con la profundidad.

realizaron una serie de ensayos previos a la perforación de la Galería con el objeto de conocer las características hidráulicas que presentaba el acuífero. Entre ellos cabe destacar las pruebas de permeabilidad, consistentes en calcular la capacidad de absorción que ofrecía la formación rocosa. En los diferentes tramos perforados se introducía agua y se determinaba la velocidad de absorción del fluido a presión atmosférica (figura 171).

A partir de los resultados de estos ensayos de permeabilidad se puede establecer que la unidad litoestratigráfica J-1, constituida por calizas y dolomías, es la que ofrece mejores características hidráulicas. Los tramos permeables aparecen distribuidos de forma irregular y aleatoria sin mostrar pérdidas de permeabilidad hacia las partes más profundas de los sondeos.

#### 1.5. INFORMACIÓN CUALITATIVA

La utilización de las columnas litológicas de las perforaciones puede ser de gran utilidad para la valoración de la karstificación en profundidad. Esta información sólo puede considerarse cualitativa ya que se trata de datos procedentes de diferentes personas, lógicamente con criterios de apreciación distintos.

He representado gráficamente la distribución en la vertical de lo que podrían ser "zonas de elevada transmisividad" dentro de cada sondeo. Estos tramos se han establecido a partir de la uniformización de las diferentes observaciones efectuadas por los sondistas en el momento de la perforación; en ellas he incluido conjuntamente las denominadas "acuífero, buen acuífero, cavernosa, muy fracturada, vacío, hueco y ausencia de detritus".

### **1.5.1. Acuífero de Crevillente**

La distribución de las "zonas transmisivas" en las perforaciones realizadas en este acuífero no sigue ningún patrón establecido, apareciendo tanto en las partes más superficiales como en las más profundas. En algunos de los sondeos, como los nº 15 y 54, llegan a aparecer a profundidades superiores a 500 m (figura 172).

Se ha podido disponer de dos películas de video filmadas en sondeos del Barranco del Tolomó en los que se puede observar el interior de las captaciones. Su utilización ha servido para efectuar un recuento de las fracturas abiertas visualizadas con esta técnica. El valor de esta información es tan sólo cualitativo, ya que las películas no indicaban los metros descendidos y la velocidad de descenso era variable.

En el nº 4, con una columna aproximada de 400 m, he podido contabilizar 24 fracturas, 5 de las cuales presentaban entidad de cavidad. En el nº 9, con semejante profundidad filmada, he contado 40 fracturas, de las cuales 13 eran de gran envergadura, pudiendo catalogarse como cavidades. El número tan elevado de fracturas apunta a que la roca de este sector presenta un alto grado de fracturación, aunque una parte de ellas podrían estar inducidas por el desarrollo de estas captaciones mediante explosivos.

### **1.5.2. Acuífero del Cid**

El reparto de las "zonas transmisivas" en este acuífero (figura 173) viene condicionado por la litología. El escaso desarrollo de zonas transmisivas en la parte superficial se debe únicamente a la naturaleza menos carbonática y más margosa del tramo superior. Gran parte de estas columnas corresponde a captaciones ubicadas en el paraje de los Llanos del Cid donde se cortan inicialmente las margocalizas pertenecientes a la unidad C-4 de menor facilidad de karstificación.

En cuanto a la parte inferior, se observa un importante desarrollo de estas zonas en la mayoría de los sondeos, por lo que parece estar en concordancia con los elevados caudales existentes, así como con las elevadas transmisividades encontradas en los bombeos de ensayo.

La introducción del video en el sondeo nº 1 ha hecho posible la visualización de la

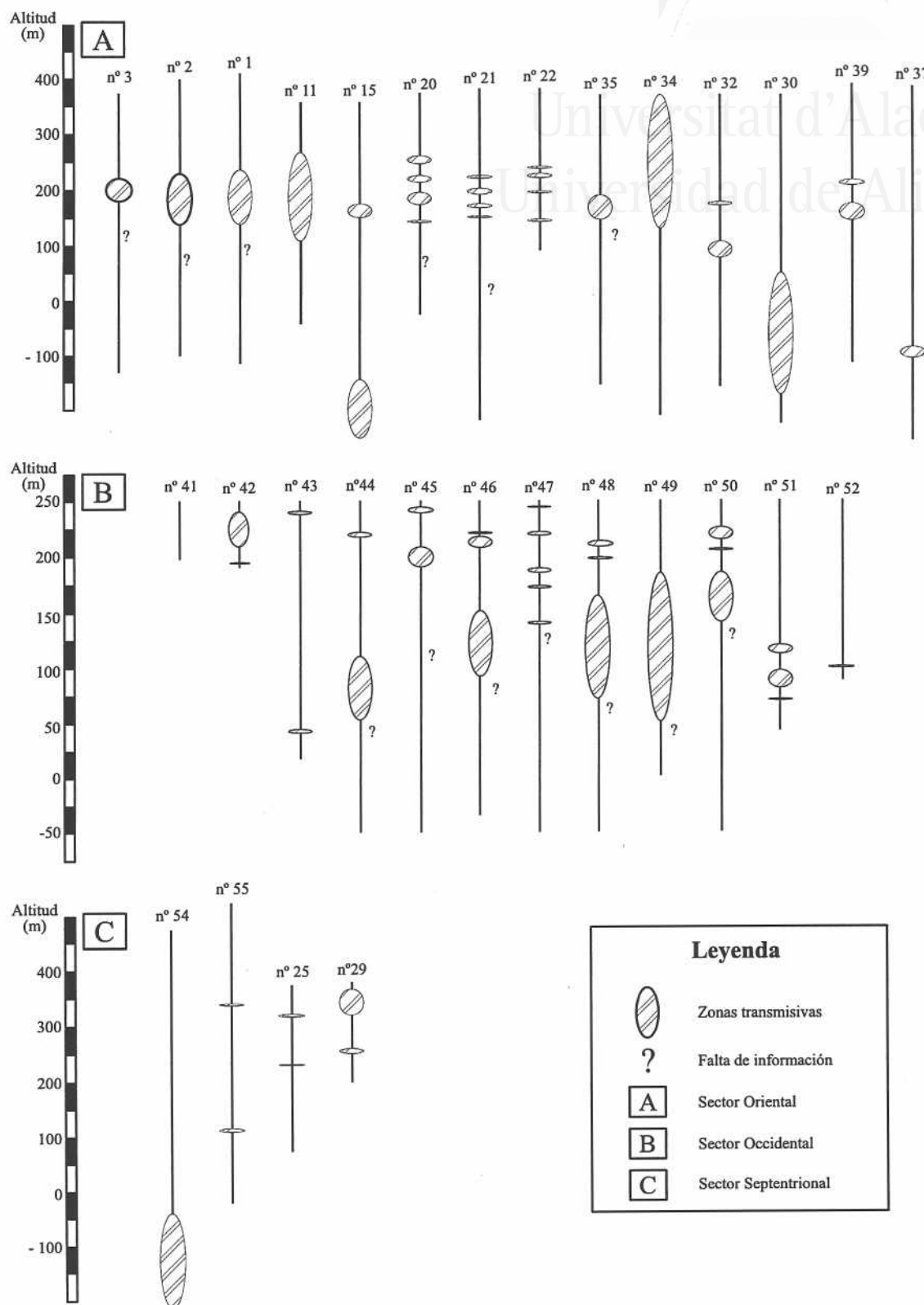


Figura 172. Distribución de los tramos transmisivos en el Acuífero de Crevillente.

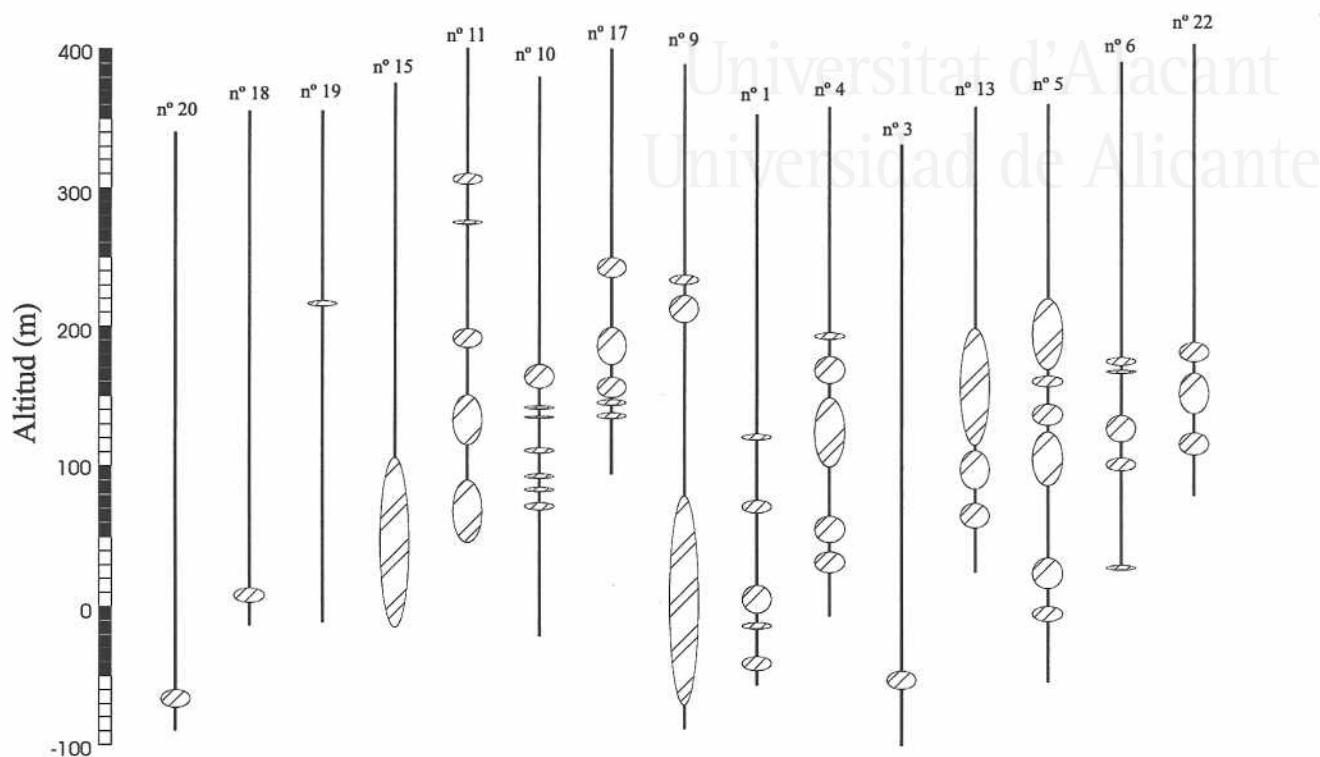


Figura 173. Distribución de las zonas transmisivas con la profundidad en el Acuífero del Cid.

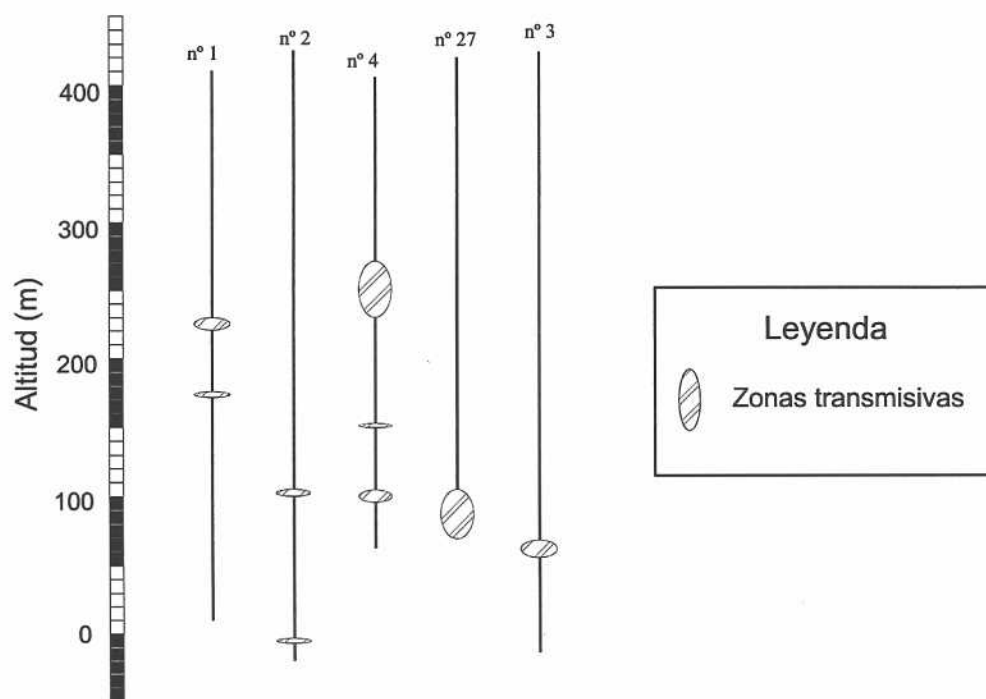


Figura 174. Distribución de las zonas transmisivas con la profundidad en el Acuífero del Cabeço d'Or.

columna desde el metro 180, donde deja de estar entubado, hasta el 278, nivel que se alcanzaba el agua. A pesar de que la cámara de video se introdujo hasta los 384 m, la visualización en el interior del agua es muy deficiente y su interpretación es dudosa. En general, se observa fracturación a lo largo de toda la columna, si bien, existen tramos como el situado entre los metros 190 y 231, donde hay un notable desarrollo de la fracturación. En este sondeo he preferido no distinguir cavidades ya que fue desarrollado con CIH.

### 1.5.3. Acuífero del Cabeço d'Or

La información que dispongo de este acuífero es menor, si bien queda constatada la existencia de tramos que aportan agua a grandes profundidades (figura 174).

También en este acuífero se ha introducido una cámara de video en el nº 3. Debido al entubado y a la escasa visión de gran parte de la columna, tan sólo se tiene información de los 38 m comprendidos entre los metros 357 y 395. La presencia de fracturas y huecos es bastante evidente entre el metro 357 y el 370, mientras que en el resto apenas existe fracturación.

## 2. CONSECUENCIAS DE LA SOBREEXPLOTACIÓN EN LA CALIDAD QUÍMICA

La sobreexplotación de acuíferos puede originar una serie de efectos nada deseables desde el punto de vista ambiental, social, económico, etc. Uno de los más problemáticos es el continuo deterioro de la calidad del agua subterránea a medida que se agrava el fenómeno. Tal es así, que dicha pérdida de calidad es uno de los síntomas que se valoran a la hora de diagnosticar el estado de sobreexplotación de un acuífero.

Los efectos de deterioro de calidad y de transformaciones químicas son bien conocidos en acuíferos costeros, donde unas extracciones superiores a los recursos del sistema originan la ruptura del equilibrio existente en la zona de mezcla agua dulce-agua salada, induciendo el movimiento de la interfase hacia el interior del acuífero y produciendo el fenómeno de intrusión marina. (Plummer *et al.*, 1976; Thauvin, 1981; Appelo y Geirnaert, 1983; IARA, 1989; Giménez, 1994; Whitaker *et al.*, 1994; Wicks *et al.*, 1995. Pero también los acuíferos interiores, alejados y sin posible contacto con el mar, pueden sufrir un aumento de la mineralización original de sus aguas, a medida que los descensos piezométricos se agudizan (Pulido-Bosch, 1985; Rodríguez Estrella y Gómez de las Heras 1986; Aragón *et al.*, 1989; Pulido-Bosch *et al.*, 1995 y 1996). Generalmente, en este tipo de acuíferos los motivos responsables de las transformaciones de calidad del agua suelen tener un origen litológico, en su mayor parte debido al contacto del agua con rocas evaporíticas.



Con el objeto de conocer cómo han repercutido las fuertes extracciones que han tenido lugar en los tres acuíferos estudiados, se han analizado los datos históricos referentes al quimismo del agua.

## 2.1. ACUÍFERO DE CREVILLENTE

### 2.1.1. Características físico químicas originales

Es muy escasa la información sobre el quimismo y las características fisicoquímicas originales que presentaban las aguas de este acuífero; ello se debe en buena parte a la carencia de surgencias naturales. Las aguas procedentes de la Mina de la la Font Antiga (nº 87) son catalogadas como de "*gusto grato*" por Cavanilles (1795-97) y prueba de ello es que se destinaban al abastecimiento de la localidad de Crevillente (Jiménez de Cisneros, 1910).

De forma cualitativa, aunque más específica, es la valoración de Investisol (empresa relacionada con la construcción de la Galería de los Suizos), cuando en un documento interno del año 1961 recoge "*Como el agua tomada en muestra en los sondeos del Hondón es relativamente dulce, sobre todo en la parte más alejada de la Sierra de Albatera*", lo que parece poner de manifiesto cierta mineralización original unida a la existencia de una diferenciación química espacial, situándose las aguas más mineralizadas en las cercanías de la "Sierra de Albatera", donde afloran los materiales triásicos.

Residuo fijo por evaporación, seco a 180°C, hasta peso constante	1315
Residuo por calcinación al rojo sombra	1004
Cloro, expresado en cloruro de sodio	419
Ácido sulfúrico	255
Cal	152
Magnesia	88
Materia orgánica total, valorada en líquido ácido y expresada en oxígeno	1.4
Amoniaco, por reacción directa	No contiene
Ácido nitroso	Indicios
Ácido nítrico	Indicios
Dureza total (Boudrón y Boudet)	49°

**Tabla 57.** Análisis efectuado por el laboratorio Municipal de Higiene del Excmo. Ayto. de Madrid del pozo punto 1800 de la Galería de la Alameda-Hondón de los Frailes (Alicante) el 26 de agosto de 1965. Los valores están expresados en mg/l.

La primera referencia fisicoquímica cuantitativa relacionada claramente con este acuífero, pertenece al agua que surgió de las rocas carbonáticas tras atravesar la franja

triásica de la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente durante la construcción de la Galería en 1962; los contenidos de sal se situaban en 337 mg/l. Un año después de su finalización se muestreó el pozo punto 1800 del interior del túnel cuya determinación analítica se recoge en la tabla 57 y cuya catalogación, a tenor de los resultados obtenidos, era de "impotable".

Los contenidos salinos de esas primeras determinaciones analíticas no parecen presentar grandes diferencias con los obtenidos en la actualidad para las aguas de algunas captaciones (nº 27, 38 y 55). Esto apunta que el factor litológico -presencia de materiales salinos fundamentalmente- ha tenido una fuerte repercusión en el quimismo de las aguas apareciendo originalmente facies mixtas en distintos sectores del acuífero.

### 2.1.2. Repercusión de la sobreexplotación en la calidad química

Desafortunadamente, la carencia de datos anterior al inicio de la explotación del sistema se extiende también a la primera etapa de la misma. Ello hace que hasta finales de los años setenta no se disponga regularmente de análisis. A partir de entonces se puede empezar a caracterizar, de forma más o menos aproximada, cómo ha afectado la sobreexplotación a la calidad química.

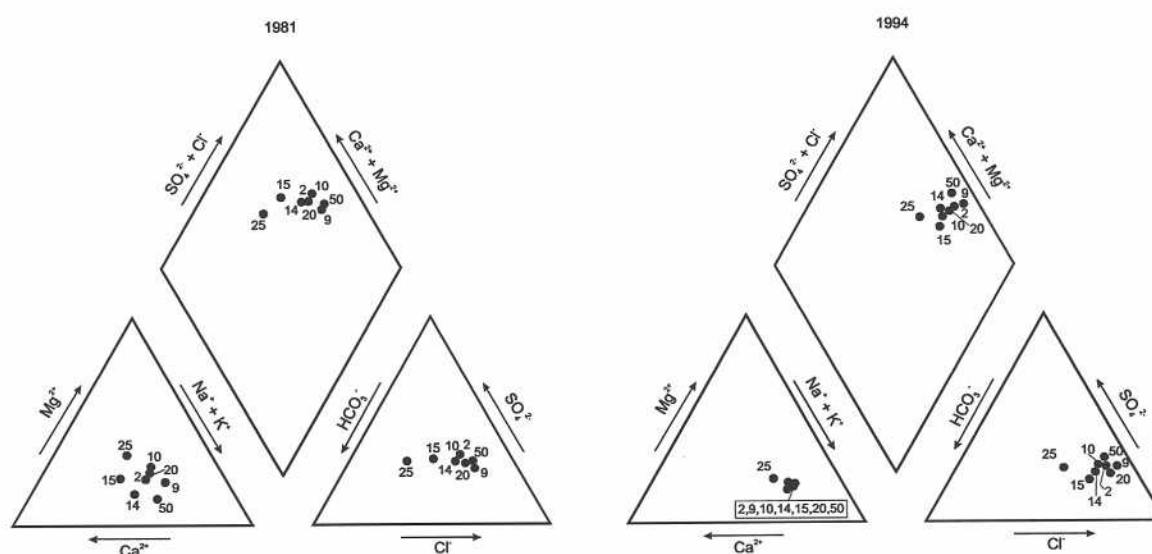


Figura 175. Variación temporal de la facies hidroquímica de las aguas de algunos puntos acuíferos.

Al comparar las variaciones generales que ha experimentado el quimismo de las aguas del acuífero, se observa cómo ha habido un enriquecimiento salino considerable, capaz de transformar la facies hidroquímica de más bicarbonatada cálcica a más clorurada sódica (figura 175). Esta transformación no se ha producido por igual en todo el acuífero,

sino que en unos sectores ha afectado más que en otros. La evolución hidroquímica se corresponde al modelo propuesto por Hansaw y Back (1979) para acuíferos kársticos en los que se desarrollan procesos de disolución de sales evaporíticas ricas en halita.

Los incrementos de mineralización en el sector del Tolomó han sido muy elevados, hasta tal punto que se han tenido que abandonar captaciones por problemas de salinidad. La evolución de la conductividad de algunos de sus puntos queda contemplada en la figura 176. Resulta característico que, a pesar de la proximidad entre captaciones, no todas han experimentado los mismos incrementos salinos. Así, las ubicadas en partes más orientales han experimentado mayores aumentos de conductividad, llegándose a sobrepasar 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en algunos puntos. Por el contrario, en las captaciones más occidentales han sido de menor magnitud. Esta zonación espacial de deterioro de la calidad se debe a la presencia de materiales evaporíticos en la parte oriental del Barranco del Tolomó. En este sentido algunas captaciones llegaron a alcanzar materiales triásicos en profundidad.

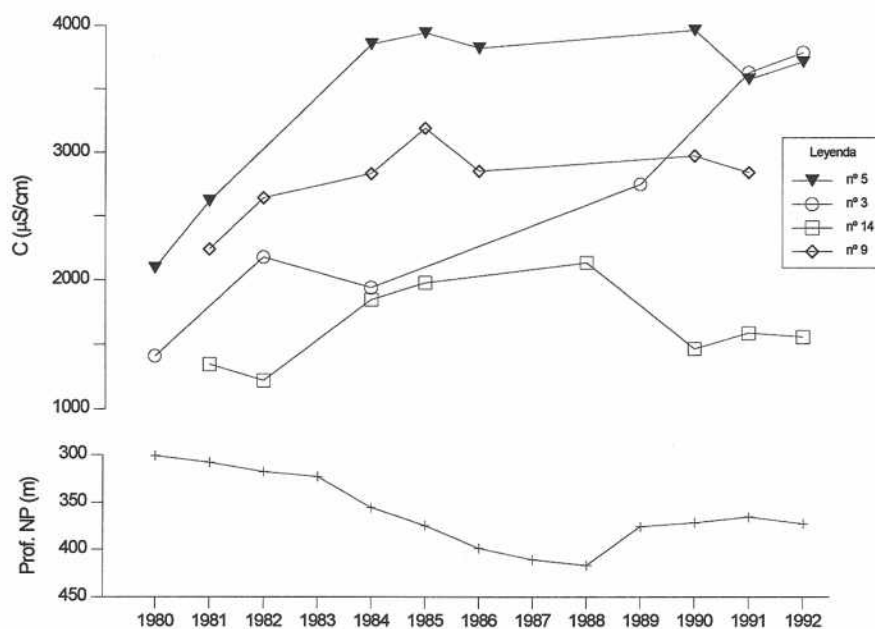


Figura 176. Evolución de la conductividad en algunos puntos del sector oriental.

He seleccionado el punto n° 2 puesto que es uno de los que disponen de mayor registro analítico. Se han representado los principales parámetros fisicoquímicos, algunas relaciones iónicas, así como los índices de saturación de algunas especies minerales (figura 177). En general, se observa cómo el deterioro de la calidad ha sido significativo entre 1980 y 1988 pasando de conductividades de 1400 a 3100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No obstante, la recuperación piezométrica de este sector entre 1988 y 1990 provoca una dilución bastante evidente en los cloruros y sodio, lo que corrobora la importancia que presenta el factor climático en la hidroquímica. Las nuevas entradas de agua, no tienen tiempo suficiente para provocar la disolución de los distintos minerales mezclándose con aguas más antiguas y

disminuyendo las concentraciones salinas.

Las relaciones  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$ ,  $rSO_4^{2-}/rCa^{2+}$  y  $rCl/rNa^+$  han mantenido valores relativamente estables durante todo el tiempo, no experimentando tendencias. Por el contrario, la relación  $rHCO_3^-/rCl^- + rSO_4^{2-}$  ha pasado de valores en torno a 0.25 a principio de los años ochenta a valores de 0.12 -0.13 en los años 1993-94, lo que pone de manifiesto un enriquecimiento salino a medida que los niveles piezométricos se encontraban más profundos.

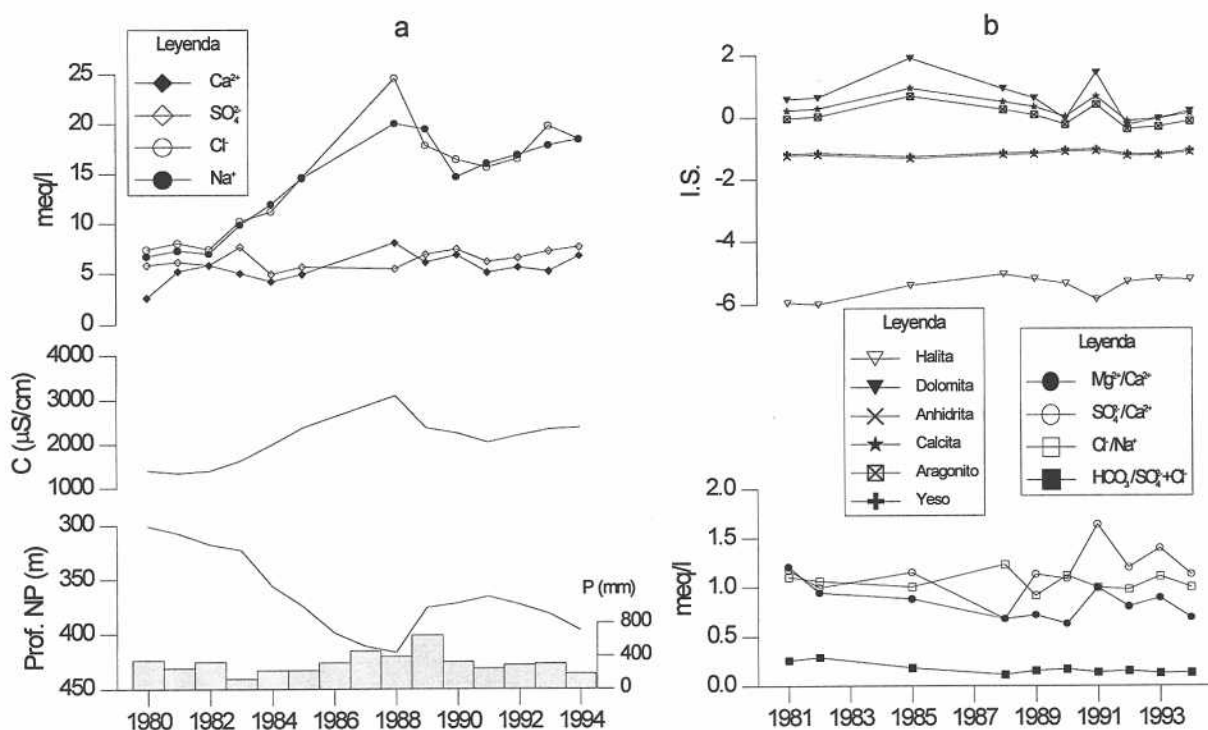


Figura 177. Evolución de los principales parámetros fisicoquímicos (a) índices de saturación y relaciones iónicas (b) en el sondeo nº 2 .

En cuanto a las condiciones de equilibrio entre las especies minerales, a pesar del aumento de la mineralización, los índices de saturación se han mantenido relativamente constantes (figura 177). Las aguas de este punto han permanecido subsaturadas en halita, yeso y anhidrita, mientras que han estado saturadas en dolomita, en calcita y aragonito; aunque las condiciones de equilibrio en los carbonatos pueden variar puntualmente, lo que viene a confirmar que a lo largo de este periodo se hayan podido originar diferentes procesos de disolución-precipitación de carbonatos.

En el sector de la Galería, la pérdida de nivel en los primeros diez años de funcionamiento fue superior a 90 m. Al comparar los análisis de las aguas procedentes de la Galería en 1973 y 1975 con los efectuados con anterioridad a su realización se reconoce un considerable aumento de la salinidad del agua. Al igual que en el sector del Tolomó, los

incrementos salinos se han producido en cloruros y sodio, pero en este caso han ido acompañados de aumentos en sulfatos y calcio, siendo ésta la característica diferenciadora de este sector (figura 178). Así como la caída piezométrica ha sido de menor envergadura, la recuperación piezométrica fue poco acusada por lo que el quimismo no manifiesta una clara mejoría tras la época húmeda 1988-90. Sin embargo, se observa una relativa estabilización de la mayoría de los parámetros tras dicho periodo.

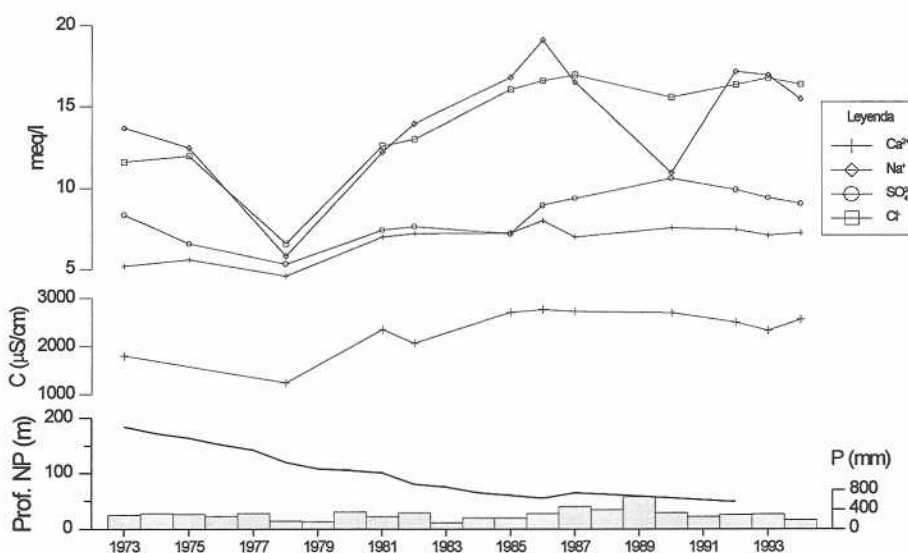


Figura 178. Evolución de los principales parámetros del n° 47.

Finalmente, en el sector Rollo-Algayat los primeros datos sobre la composición química del agua corresponden a 1979, ya que la mayoría de las captaciones se efectuaron con posterioridad a esta fecha. En esta parte del acuífero la calidad del agua no ha experimentado un empeoramiento. La explicación podría deberse a que los descensos han sido menos acusados, pero todo parece apuntar a que sea su ubicación más alejada de los materiales evaporíticos y, sobre todo, la captación de flujos más localizados con menores tiempos de residencia y menores distancias recorridas, los verdaderos responsables de este mantenimiento de calidad. De ahí que las conductividades encontradas entre 1979-1981 sean semejantes a las que se han obtenido durante el presente trabajo.

La figura 179 recoge la evolución entre 1985 y 1991 del n° 27, la cual muestra cómo los parámetros de conductividad, cloruros y sulfatos han permanecido relativamente estabilizados.

En definitiva se puede establecer que el comportamiento hidrogeoquímico no ha sido uniforme en todo el acuífero. Se demuestra que las variaciones hidrogeoquímicas laterales y verticales presentan implicaciones hidrodinámicas y geológicas. Las aguas más deterioradas se han producido en aquellas partes del sistema que han presentando mayores tasas de sobreexplotación; aunque, hay que tener en cuenta que, este deterioro va ligado

a la existencia de materiales salinos (Keuper), bien porque se encuentren en profundidad, bien porque aparezcan cerca de alguno de los límites laterales. Esto implica que los datos hidrogeoquímicos puedan ser utilizados como posibles indicadores de presencia de formaciones susceptibles de provocar anomalías hidroquímicas. La ubicación de estas formaciones va a ser la responsable del desarrollo de zonaciones hidroquímicas espaciales, tanto horizontales como verticales.

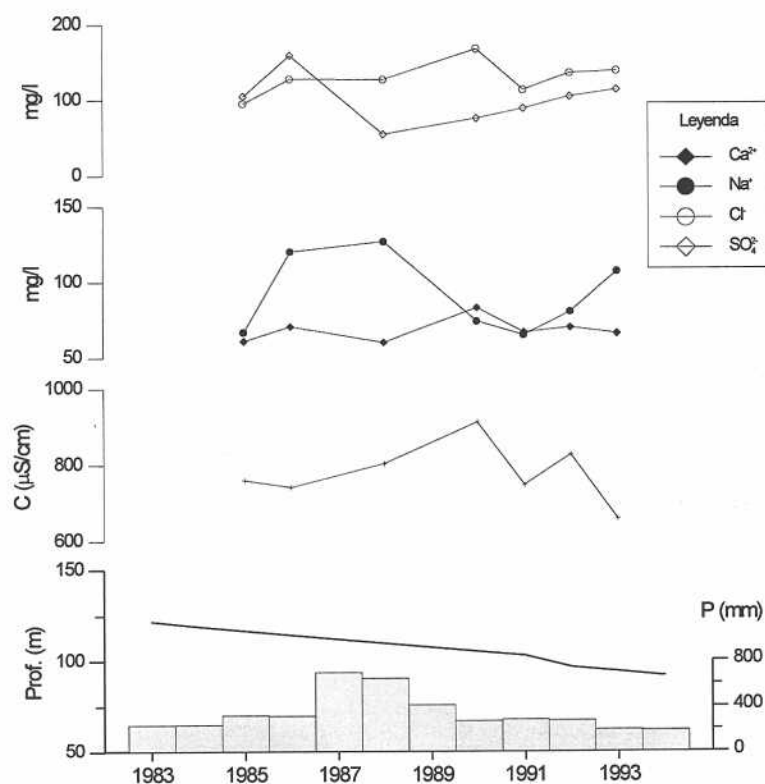


Figura 179. Evolución de los principales parámetros en la Sierra del Rollo.

El factor climático también tiene una repercusión importante en la calidad química de las aguas. El efecto de este factor se va a observar con mayor intensidad en los sectores en los que el deterioro es más importante.

## 2.2. ACUÍFERO DEL CID

### 2.2.1. Características fisicoquímicas originales

El desconocimiento de surgencias relacionadas con este sistema impide tener referencias históricas del quimismo de sus aguas previas a la actuación antrópica. Además, desconozco la existencia de análisis químicos anteriores a 1975, por lo que, en un principio, es imposible caracterizar con ciertas garantías el tipo de facies que presentaban las aguas de este acuífero antes de estar sometido a sobreexplotación.



### 2.2.2. Repercusión de la sobreexplotación en la calidad química

Los primeros datos que dispongo del quimismo de las aguas de este acuífero son posteriores a 1975, época en la que el sistema estaba sometido a una fuerte explotación; por consiguiente, tampoco se puede caracterizar las posibles transformaciones de la calidad hasta esa fecha. En la tabla 58 se muestran las variaciones de la conductividad que pueden reflejar cómo ha ido evolucionando la salinidad. Los resultados de los años setenta indican que, frente a aguas de salinidad media (nº 13), existían sondeos bastante salinizados (nº 25). También se observa cómo en algunos puntos acuíferos de los que se tienen varios análisis, se ha ido generando un proceso de salinización progresivo. El aumento de mineralización ha sido fundamentalmente debido al enriquecimiento en cloruros y sodio, y en menor medida en otros iones.

El deterioro de la calidad química en este acuífero es un hecho evidente, si bien, la forma en que se ha producido presenta ciertas singularidades. Según las encuestas de campo, las aguas de este acuífero se podían catalogar de "buenas", al menos para el riego. Los descensos de niveles obligaron a reprofundizar las captaciones varias veces, y parece que, cuando éstas superaban los 400 m en el sector de los Llanos del Cid, era atravesado un nivel muy productivo de salinidades elevadas que deterioraban la calidad del agua de ese sondeo hasta tal punto que quedaba inservible. Para solucionar el problema se utilizó la

técnica de introducir un tapón en la captación a una cota superior de forma que impidiese, o al menos redujese, el aporte de agua de esta zona y así poder seguir extrayendo agua de calidad aceptable. Este procedimiento se utilizó en el nº 1 con buenos resultados hasta 1995. Sin embargo, no todas las perforaciones se taponaron, por lo que las más profundas han quedado como puntos de enlace entre la parte superior de buena calidad y la parte inferior de calidad mala. La existencia de esta zona profunda de salinidades elevadas ha sido constatada en el presente trabajo.

En definitiva, la ruptura del equilibrio hidrodinámico que presentaba este sistema consecuencia de la explotación intensiva, provocó la mezcla de aguas de flujos profundos salinos con flujos superficiales de menor mineralización. Esta mezcla ha originado un deterioro de calidad general que ha afectado a gran parte de acuífero.

Punto	Año	C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
nº 8	1979	1850
nº 8	1992	3915
nº 25	1977	3625
nº 18	1980	2100
nº 18	1983	5900
nº 19	1975	1400
nº 19	1979	2800
nº 19	1980	2200
nº 19	1981	2000
nº 19	1982	2650
nº 19	1982	2300
nº 19	1983	3000
nº 9	1990	1750
nº 9	1991	2850
nº 13	1977	1300

Tabla 58. Registro histórico de la conductividad de algunos puntos de agua.

Por otro lado, la recuperación que ha experimentado este acuífero entre los años 1985 y 1990 puede que haya contribuido a una mejora de la calidad del agua, sin embargo, la falta de información al respecto impide realizar precisiones y cuantificaciones de la misma.

### 2.3. ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

#### 2.3.1. Características fisicoquímicas originales

La presencia de surgencias y, sobre todo, el carácter termal que sus aguas presentaban han sido objeto de numerosas citas bibliográficas desde 1611 (Vinuesa, 1994). Los primeros análisis con ciertas garantías de estos manantiales datan del año 1815 (tabla 59), cuyos resultados, así como algunas comprobaciones realizadas en 1839, son recogidos por Madoz (1842-50). Hasta esa fecha se las suponía de naturaleza sulfurosa, si bien, estas atribuciones "*equivocadas*" se debieron a problemas en el muestreo.

Ya en el presente siglo, se realizaron los análisis de algunos de los manantiales que brotaban en las cercanías de Aigües (tabla 60). Todos presentaban aguas de semejantes características organolépticas, siendo mayoritariamente claras, transparentes, inodoras y algo saladas.

Sulfato de Cal	6.38 g
Sulfato de Magnesia	9.20 g
Muriato de Magnesia	4.42 g

Tabla 59. Resultados analíticos efectuados por D. Agustín Alcón en 1815 de las aguas de los manantiales de Aigües. Los valores están referidos a 16 onzas de agua mineral y vienen expresados en granos. Tomado de Madoz (1842-50).

	Colladet	Mina	Baños
Aire atmosférico	64.8 cc	64.8 cc	43.2 cc
Sulfato cálcico	0.593 g/l	1.26 g/l	1.33 g/l
Sulfato magnésico	0.898 g/l	0.82 g/l	0.95 g/l
Cloruro de calcio	0.369 g/l	0.3 g/l	0.22 g/l
Cloruro de magnesio	0.369 g/l	0.51 g/l	0.52 g/l
Pérdida	0.011 g/l	0.11 g/l	0.10 g/l

Tabla 60. Resultados analíticos de los manantiales del Colladet, la Mina y Los Baños de Aigües realizados en 1845.

Gascón (1992) ha realizado la transformación de las especies y unidades de estos análisis a los iones y unidades utilizadas actualmente. Los resultados de los principales iones se recogen en la tabla 61.

Los sulfatos son los iones que aparecen en mayores proporciones; de ahí que en el Anuario Oficial de las Aguas Minerales de España de 1876-77 y en la monografía de las Aguas minerales y termales de España, publicada por el Ministerio de Fomento en 1892, se clasifiquen "sulfatadas-cálcicas" a las aguas de los manantiales de los Baños y de la Mina o Cava y "sulfatadas-magnésicas" a las del manantial del Colladet (Vinuesa, 1994).

	Calcio	Magnesio	Cloruros	Sulfatos
**	204	325	358	1289
Colladet	308	277	511	1135
Mina	479	296	571	1543
Baños	471	331	528	1697

**Tabla 61.** Contenidos de los principales iones (mg/l) de algunas surgencias de los alrededores de Aigües, según las determinaciones realizadas en 1815 (\*\*) y 1945 (datos tomados de Gascón, 1992).

Estos resultados analíticos ponen de manifiesto la elevada salinidad original de las aguas de este sistema. Sin embargo, los contenidos de algunos iones, especialmente cloruros y magnesio, parecen demasiado elevados si los comparamos con las determinaciones recientes.

### 2.3.2. Repercusión de la sobreexplotación en la calidad química

Las primeras determinaciones con las que he podido contar después del inicio de la explotación del acuífero corresponden al año 1974 (tabla 62). En esta fecha el sistema estaba sometido a sobreexplotación, la cual permaneció hasta pasada la mitad de los ochenta.

Durante el periodo 1974-91 el sistema se ha caracterizado por dos etapas totalmente distintas.

- los primeros diez años: los niveles piezométricos descendieron hacia cotas más profundas, sin embargo, la extracción de aguas no se relaciona con ningún aumento de la mineralización, ya que los parámetros cloruros, sodio y sulfatos, principales responsables de la salinización en anteriores acuíferos, continúan en un orden de magnitud semejante y sin tendencia creciente.

- a partir de 1987: los bombeos se reducen y comienza una recuperación y, por consiguiente, un aumento del nivel piezométrico. Esta situación tampoco influye en el quimismo de las aguas, ya que mantienen su mineralización invariable.

Al comparar los datos hidroquímicos obtenidos en el presente trabajo con el

quimismo original que presentaban las aguas de este acuífero se aprecia que, a pesar de la sobreexplotación, las variaciones han sido prácticamente inexistentes. Por tanto, a diferencia de lo ocurrido en los acuíferos de Crevillente y Cid, en este pequeño sistema el fenómeno de la sobreexplotación no ha ocasionado ninguna alteración de la calidad química.

Año	nº 9	nº 14	nº 11	nº 12	nº 1	nº 2	nº 3
1974	-	1850	1811	-	-	-	-
1976	-	-	2250	-	-	-	-
1977	-	-	2260	-	-	-	-
1978	-	-	2610	-	-	-	-
1979	2000	-	2710	-	-	-	-
1980	1900	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	2050	-	-	-
1983	-	-	-	-	2400	-	-
1985	-	-	-	2075	-	-	-
1987	-	-	-	-	2070	-	-
1988	-	-	-	-	2090	-	-
1989	-	-	-	-	2190	1635	-
1990	-	-	-	-	1985	1480	-
1991	-	-	-	-	1996	1870	1960

Tabla 62. Valores de la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de algunos puntos acuíferos.

### 3. POSIBILIDAD DE ZONACIÓN HIDROQUÍMICA EN LA VERTICAL DE LOS ACUÍFEROS KÁRSTICOS

En condiciones de sobreexplotación en la que cada vez se extrae agua a mayores profundidades, la metodología de estudio más usual para establecer una posible zonación hidroquímica en la vertical es la determinación analítica de muestreos seriados a lo largo del tiempo. Pero también existen otras técnicas que contribuyen a aportar información entre las que se encuentra la testificación geofísica. La testificación de conductividad eléctrica y temperatura del agua en pozos y sondeos permite determinar las características salinas en cada punto de la columna. Con ello se puede llegar a constatar la presencia de tramos con diferentes mineralizaciones del agua. Además, permite localizar los tramos que muestran circulación del agua, y por tanto, contribuye al conocimiento de la hidrodinámica del sistema.

Salvo en casos muy concretos, fuera de los acuíferos costeros, el estudio de la

diferenciación en la vertical de la salinidad del agua es un tema poco desarrollado. Tan sólo algunos acuíferos detríticos extensos como los del Duero y Tajo han aportado información al respecto y se ha llegado a establecer una clara zonalidad (Navarro, 1991). En general, se trata de acuíferos detríticos multicapas donde los distintos lechos permeables contienen agua de calidades diferentes. Mediante la testificación geofísica se ha llegado a establecer cuál es la distribución espacial de esos tramos. Esta zonación vertical hidroquímica, puesta de manifiesto en acuíferos detríticos, no es tan evidente en acuíferos carbonáticos. Éstos últimos generalmente presentan un carácter litológico más continuo y homogéneo, por lo que, en un principio, se podría pensar que el agua contenida en ellos tiene menores variaciones. Sin embargo, en los acuíferos de Crevillente y Cid los descensos piezométricos han ido precedidos de pérdidas de calidad del agua y abandono de captaciones por el incremento de salinidad (Pulido-Bosch, 1985; Pulido-Bosch *et al.*, 1995).

Con objeto de conocer la existencia de esa posible estratificación o distribución hidroquímica en la vertical del acuífero, en octubre de 1991 se realizó una campaña de testificación geofísica en colaboración con el *Departamento de Ingeniería Geológica de la Universidad Politécnica de Madrid*. En ella, se determinaron los parámetros de conductividad eléctrica y temperatura del agua comentados con anterioridad en el epígrafe de termometría. Las testificaciones se realizaron con un equipo *Geolog Robertson Research* montado sobre un vehículo todo terreno. Se efectuaron nueve testificaciones repartidas de la siguiente manera: dos en el Cabecó d'Or, tres en el Acuífero del Cid y cuatro en el Acuífero de Crevillente. En todos los casos se utilizaron sondeos abandonados, averiados o en reserva, libres de cualquier instalación eléctrica.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos a partir de las diagráffas de conductividad y temperatura, estas últimas comentadas con anterioridad.

### 3.1. ACUÍFERO DE CREVILLENTE

En este sistema se testificaron cuatro sondeos, dos en el sector oriental de la Sierra de Crevillente y dos en el conjunto Sierra de Algayat-Rollo (figura 180). También se intentó realizar una testificación en el sector occidental, concretamente en una de las captaciones del interior de la Galería de los Suizos, pero los esfuerzos para su consecución fueron infructuosos, dada la imposibilidad de maniobra que ofrece el túnel para el todo terreno que lleva el equipo de registro.

Sondeo nº 1. La conductividad se comporta con tendencias muy suaves. Inicialmente se observa un gradiente negativo respecto a la profundidad, pasando de 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  al atravesarse el agua a 383 m, a 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el metro 410; luego permanece invariable hasta los 424 m. A partir de aquí adquiere un débil gradiente positivo que se muestra más claro desde el m 470, de modo que al finalizar la testificación en 500 m la

mineralización es del mismo orden que al iniciar testificación.

La interpretación de este registro muestra una relativa homogeneidad de la conductividad en toda la columna testificada. La escasa pero menor conductividad y temperatura del tramo intermedio de las diagraffas permiten establecer la mayor influencia de flujos menos mineralizados, probablemente de procedencia más local que los flujos encontrados en la parte superficial y profunda de la columna.

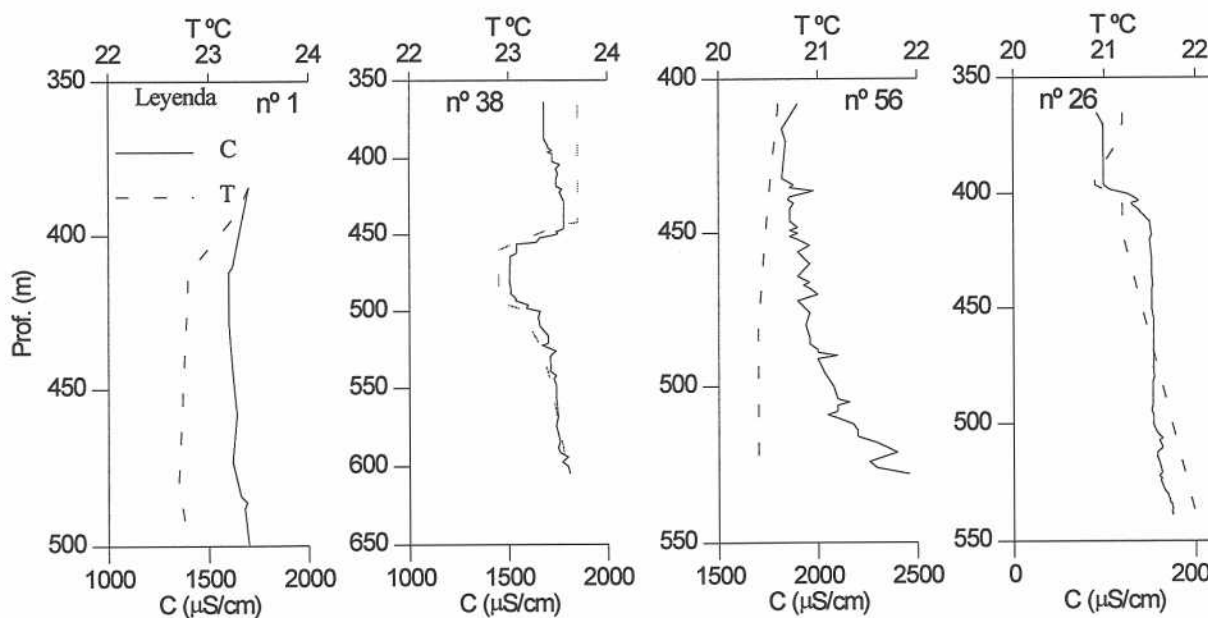


Figura 180. Variación de la conductividad con la profundidad.

**Sondeo n° 38.** La testificación se pudo realizar cuando se encontraba averiado y se había desmontado su instalación eléctrica. Debido a la gran profundidad que tiene esta captación, se pudieron testificar 240 m bajo en nivel piezométrico, por lo que se convierte en el mayor registro de este acuífero.

Del estudio pormenorizado del registro de la conductividad se obtienen las siguientes diferenciaciones en metros:

Del 364 al 387 tramo inicial con conductividad de  $1650 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Del 387 al 420 aumento progresivo hasta alcanzar los  $1790 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Del 420 al 446 no existen cambios de la mineralización permaneciendo constante el valor de la conductividad en  $1790 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Del 446 al 456 se invierte el gradiente y se produce un descenso de la conductividad bajando hasta  $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Del 456 al 492 conductividad constante.

Del 492 al 500 se vuelve a experimentar una tendencia ascendente rápida



alcanzando 1650  $\mu\text{S}/\text{cm}$

Del m 500 al 604 también existe un ligero gradiente positivo de la conductividad con un aumento algo superior a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  cada 100 m descendidos.

La diagráfia refleja una parte superficial de mineralización más débil y constante, que a partir del metro 387 comienza a aumentar ligeramente. Esta situación está cortada por una franja de menor conductividad y temperatura, atribuible a una zona de circulación de agua menos mineralizada y más fría entre los metros 458 y 494. Dicha zona desarrolla unas franjas externas, tanto por arriba como por debajo, que no son más que las franjas de mezcla con el resto del agua del acuífero. Los parámetros de conductividad y temperatura inferiores hacen pensar en flujos locales con un origen más superficial. Posteriormente, se reanudan las condiciones iniciales en donde se sigue produciendo un aumento de la mineralización.

Sondeo nº 56. La columna testificada fue de 128 m.

Se puede establecer un primer tramo desde el metro 406 al 432 cuya conductividad permanece prácticamente constante alrededor de 1850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y un segundo tramo comprendido entre los metros 433 y 530, donde se aprecia una tendencia ascendente. Inicialmente, dicho ascenso es más débil y después de los 500 m empieza a crecer de forma más intensa. El valor registrado al final de la testificación es de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

El primer tramo de 25 m puede corresponder a un agua bastante influenciada por la infiltración de agua de lluvia. Una vez superado éste, la salinidad va aumentando con la profundidad. El aumento de la mineralización se produce con un menor gradiente como consecuencia de la mezcla con la zona superior y es mayor al final del sondeo, de tal forma que cabría la posibilidad de la existencia de otra zona con agua más salina por debajo de la profundidad máxima del sondeo.

Sondeo nº 26. Se trata de un sondeo no explotado ya que existe otra captación a escasamente 25 m que le produce una fuerte afección. En el momento en el que se realizó la testificación el otro sondeo se encontraba en funcionamiento.

El comportamiento de la curva de conductividad se puede dividir en los siguientes tramos:

- Del metro 364 al 397 aparece con conductividad de 970  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque en los primeros metros de la testificación existe una lámina superficial con valores ligeramente inferiores.
- Del metro 397 al 414 zona de alto gradiente positivo, en donde se pasa de 970 a 1540  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Del metro 414 al 500 se pasa por una zona de estabilidad donde no se aprecia

variación de la conductividad.

- Del metro 500 al 540 se entra en un tramo que vuelve a mostrar un ligero gradiente positivo que implica un nuevo aumento de la conductividad; al final de la diagráfa se alcanza  $1750 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

La interpretación del registro permite poder diferenciar tres zonas:

- Zona superficial: con aproximadamente 34 m, caracterizada por una leve disminución de la temperatura en profundidad y una conductividad estable. A su vez, dentro de ella se incluye una subzona capilar de aproximadamente 7 m que ofrece una conductividad ligeramente inferior.

- Zona intermedia: comprende la mayor parte del registro y ofrece una mayor conductividad que la superficial, además la temperatura toma un gradiente positivo. El paso entre esta zona y la superficial se produce de forma relativamente rápida dando origen a una franja de mezcla.

- Zona profunda: se caracteriza por un nuevo ascenso en los valores de la conductividad, que podría corresponder a circulación de flujos más profundos y, por tanto, más mineralizados.

### *Conclusiones*

En este sistema se puede realizar una diferenciación entre los puntos acuíferos testificados en la Sierra de Crevillente, y los de la Sierra de Algayat-Rollo. Los primeros se caracterizan porque el agua de la zona superficial es de mineralización semejante a la del final del sondeo. Las diagráfas reflejan franjas o tramos con variaciones en los parámetros medidos que indican la existencia de áreas preferenciales de flujo de distinta procedencia y, por tanto de mineralizaciones y temperaturas diferentes. Por el contrario, los situados en la Sierra de Algayat-Rollo presentan mayores variaciones en la salinidad entre las partes superficiales y profundas. En ellos también aparecen áreas de circulación que corresponden a flujos locales, aunque se constata un aumento de la mineralización con la profundidad. En definitiva, este acuífero presenta una zonación hidrogeoquímica en la vertical, la cual se encuentra afectada y, por tanto, distorsionada por la existencia de áreas de circulación preferencial con sistemas de flujos semejantes a los propuestos por Toth (1963). Los flujos que presentan conductividades y temperaturas más bajas podrían corresponder a flujos locales con aguas más superficiales, mientras los que presentan mayores conductividades y temperatura serían flujos más distantes. Generalmente, estos últimos se disponen en las partes más profundas del acuífero.

### 3.2. ACUÍFERO DEL CID

#### Testificaciones geofísicas

En la campaña de 1990 se testificaron tres sondeos ubicados en el paraje de los Llanos del Cid, (figura 181). En agosto de 1995 se realizó una nueva testificación, esta vez en el nº 1, efectuada en colaboración con el *Instituto del Agua de la Universidad de Murcia*. En este caso se utilizó un equipo marca *Century Geophysical Corporation*. Paralelamente a esta testificación geofísica se procedió a una campaña de toma de muestras de agua a distintas profundidades en algunos de los sondeos anteriormente testificados así como en otros que alcanzaban los 400 m de profundidad.

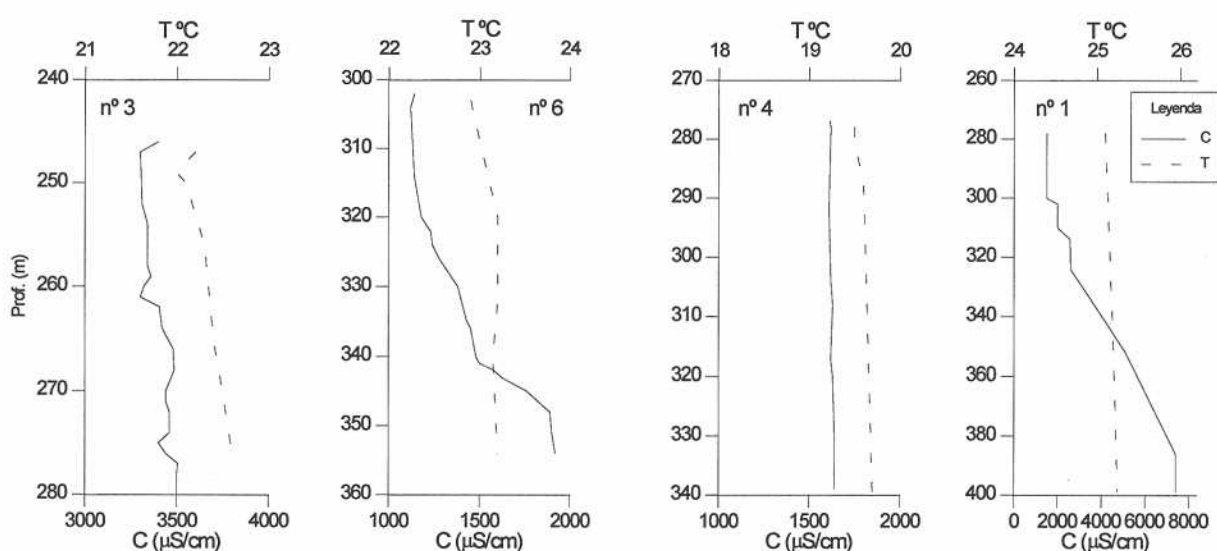


Figura 181. Variación de la conductividad con la profundidad.

**Sondeo nº 3.** En este sondeo se pudieron testificar 48 m. Existe un primer tramo desde los metros 244 al 261 que presenta una conductividad en torno a  $3300 \mu\text{S/cm}$ . A continuación, en los siguientes 5 m aparece un gradiente positivo de la mineralización del agua, el cual provoca un ascenso hasta  $3480 \mu\text{S/cm}$ . A partir del metro 266 se estabiliza permaneciendo así hasta el final de la testificación.

A pesar de la poca columna de agua testificada se observa una zona superficial algo menos mineralizada y una zona más interna con conductividad mayor, las diferencias no son muy significativas.

**Sondeo nº 6.** A pesar de que el sondeo presenta una profundidad en torno a 400 m, tan sólo se testificaron los 53 m iniciales.

El estudio del registro de conductividad muestra un gradiente ascendente de la

salinidad del agua con la profundidad. De forma detallada se pueden establecer varios tramos:

- situado entre los metros 301-320 se registra una conductividad prácticamente constante en torno a  $1120 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
- entre los metros 320-342 la conductividad aumenta ininterrumpidamente hasta alcanzar  $1480 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
- tramo caracterizado por un fuerte aumento donde en 4 metros se alcanzan los  $1900 \mu\text{S}/\text{cm}$ .
- entre los metros 348-353 la conductividad permanece constante alrededor de  $1900 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

En este sondeo se puede apreciar una zona superficial poco salina y una zona profunda donde se emplaza el agua más mineralizada y por tanto más densa. Entre ambas aparece una zona de transición o mezcla que presenta un gradiente positivo muy elevado. El valor medio de éste es de un incremento de  $25 \mu\text{S}/\text{cm}$  por cada m descendido.

Sondeo nº 4. La conductividad se muestra constante a lo largo de más de 60 m testificados, su valor oscila entre  $1600$  y  $1630 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

La interpretación de esta testificación, donde prácticamente se muestran invariables la conductividad y la temperatura, hace pensar que existe una mala comunicación del sondeo con el acuífero.

Sondeo nº 1. Existe una franja superficial desde el nivel piezométrico hasta los 300 m cuyas conductividades están en torno a  $1500$ - $1600 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Entre los metros 301 y 302 se produce un importante salto de la conductividad, ya que asciende a valores ligeramente por encima de  $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , permaneciendo uniforme hasta los 310 m. Otro importante gradiente se produce entre los metros 310 y 314, en que nuevamente se produce un incremento hasta alcanzar  $2600 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

A partir del metro 314 y hasta llegar al 325 los incrementos de salinidad son muy pequeños, si bien a partir de este punto la conductividad comienza a ascender de manera continua hasta el metro 385 con un gradiente aproximado de  $80 \mu\text{S}/\text{cm}$  por cada metro descendido. Al alcanzar esta profundidad la conductividad se encuentra en torno a  $7400 \mu\text{S}/\text{cm}$ , permaneciendo así hasta el metro 400 en que se concluyó la testificación.

Una clara zonación hidroquímica en la vertical ha puesto de manifiesto la testificación de este sondeo. Las menores mineralizaciones se sitúan en las partes someras del acuífero, mientras que las aguas más salinas aparecen en la parte profunda del mismo.

*- Toma de muestras en la vertical*

En agosto de 1995 se pudo realizar una campaña de muestreo para confirmar la zonación hidroquímica en el vertical, y conocer qué parámetros eran los máximos responsables del incremento de la salinidad. Para ello se utilizó una botella tomamuestras marca *Rutter* de 500 cc de capacidad, unida a un cable de 500 metros movido por un motor eléctrico. La forma en que se procedió para obtener el agua fue bajar el tomamuestras hasta situarlo a la profundidad deseada, y una vez allí, se enviaba un emisario metálico que al golpear el cierre del tomamuestras lo cerraba impidiendo la pérdida o entrada de agua durante el ascenso.

Los resultados de algunos parámetros analíticos (tabla 63) reflejan cómo en los sondeos que superan los 350 m se comprueba un claro aumento de la mineralización del agua, mientras que ésta varía muy poco en aquellos otros que no sobrepasan esta profundidad. Esto apunta a una zona superior de agua menos mineralizada situada sobre otra con salinidad elevada. Los resultados de este muestreo coinciden plenamente con la información obtenida a partir de las testificaciones geofísicas.

	Prof. m	C $\mu\text{S}/\text{cm}$	$\text{Ca}^{2+}$ mg/l	$\text{Mg}^{2+}$ mg/l	$\text{Na}^+$ mg/l	$\text{K}^+$ mg/l	$\text{HCO}_3^-$ mg/l	$\text{Cl}^-$ mg/l	$\text{SO}_4^{2-}$ mg/l	$\text{Sr}^{2+}$ mg/l
nº 1	380	6070	224	105	861	15	149	1635	374	
	385	6020	319	147	902	10.2	222	1834	261	10.8
	390	6810	313	153	1010	14.1	197	2165	458	
	410	7530	368	185	1231	11.8	223	2343	457	11.9
nº 6	320	1325	91	49	169	4.8	162	349	122	2.4
	360	1661	131	61	197	5	169	475	135	3.4
	405	4600	244	120	636	8.7	232	1457	348	8.7
nº 3	260	2590	119	80	476	925	320	633	389	5.2
	350	2560	147	80	382	13	313	618	400	5.9
nº 4	300	1632	146	55	192	9.7	154	393	325	3.2
	330	1625	152	55	185	7.7	155	342	301	3.1
nº 5	300	1768	69	47	302	8	198	407	297	1.9
	350	4340	333	147	661	7.7	241	1562	383	8.2
	400	5980	401	190	950	10.5	174	2254	393	9.5

**Tabla 63.** Determinaciones analíticas del muestreo en la vertical efectuado en julio de 1995.

La relación  $r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{2-}/r\text{HCO}_3^-$  (tabla 64) es cada vez más elevada lo que pone de manifiesto el mayor predominio de los procesos de disolución de sales evaporíticas. El % de cloruros respecto al total de sales disueltas de cada una de las muestras aumenta considerablemente, mientras que, por el contrario, el sulfato disminuye. Este hecho queda

caracterizado también por la disminución de la relación  $rSO_4^{2-}/Cl^-$ , lo que apunta a un aumento de la influencia clorurada respecto a la sulfatada a mayor profundidad.

	Prof. (m)	$Mg^{2+}/Ca^{2+}$	$Cl^- + SO_4^{2-}/CO_3H^-$	$SO_4^{2-}/Cl^-$	$Na^+ + K^+/Cl^-$	$Na^+/Ca^{2+}$
nº 1	380	0.78	22.04	0.17	4.86	3.3
	385	0.77	15.69	0.11	7.26	2.5
	390	0.81	21.84	0.16	4.64	2.8
	410	0.84	20.66	0.14	5.65	2.9
nº 6	320	0.9	4.66	0.26	2.95	1.6
	360	0.78	5.85	0.21	3.10	1.3
	405	0.82	12.70	0.18	3.84	2.3
nº 3	260	1.12	4.94	0.45	2.58	3.5
	350	0.91	5.02	0.48	2.03	2.3
nº 4	300	0.63	7.07	0.61	1.27	1.1
	330	0.60	6.25	0.65	1.31	1.1
nº 5	300	1.1	5.44	0.54	2.16	3.8
	350	0.74	13.16	0.18	3.63	1.7
	400	0.79	25.13	0.13	5.08	2.1

Tabla 64. Relaciones iónicas de interés del muestreo en la vertical efectuado en julio de 1995.

### Conclusiones

El estudio conjunto de las testificaciones, del muestreo en la vertical, así como de la evolución de los parámetros químicos del agua de este acuífero confirman la existencia de una clara zonación hidroquímica en la vertical. Las aguas de menor mineralización se encuentran en la parte más superficial, mientras que las más salinas están en las partes más profundas. La zonación parece estar producida como consecuencia de dos grandes sistemas de flujos:

- Flujos locales, los cuales se desarrollan en la parte superficial del acuífero y que contienen aguas con conductividades en torno a  $1500 \mu S/cm$ . La mayor parte de los puntos de poca profundidad captan estos sistemas de flujos.

- Flujo profundo, probablemente regional que aporta aguas con mineralizaciones de  $7000 \mu S/cm$ . El elevado contenido salino de este flujo es adquirido por la circulación del agua por materiales del Keuper, bien por que se sitúe en la parte basal del acuífero, o bien por la disolución de tales sales de los materiales que rodean al acuífero.



### 3.3. ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

**Sondeo nº 3.** El tramo testificado fue de 166 m comprendidos entre los metros 266 al 432 (figura 182).

En la diagráfia de conductividad se observa un tramo superior de 8 m donde se registran los valores más bajos de conductividad presentando un mínimo de  $2300 \mu\text{S}/\text{cm}$ . A partir del metro 275 se sitúa entre  $2570$  y  $2600 \mu\text{S}/\text{cm}$ , oscilando entre dichos valores a lo largo del resto de la testificación.

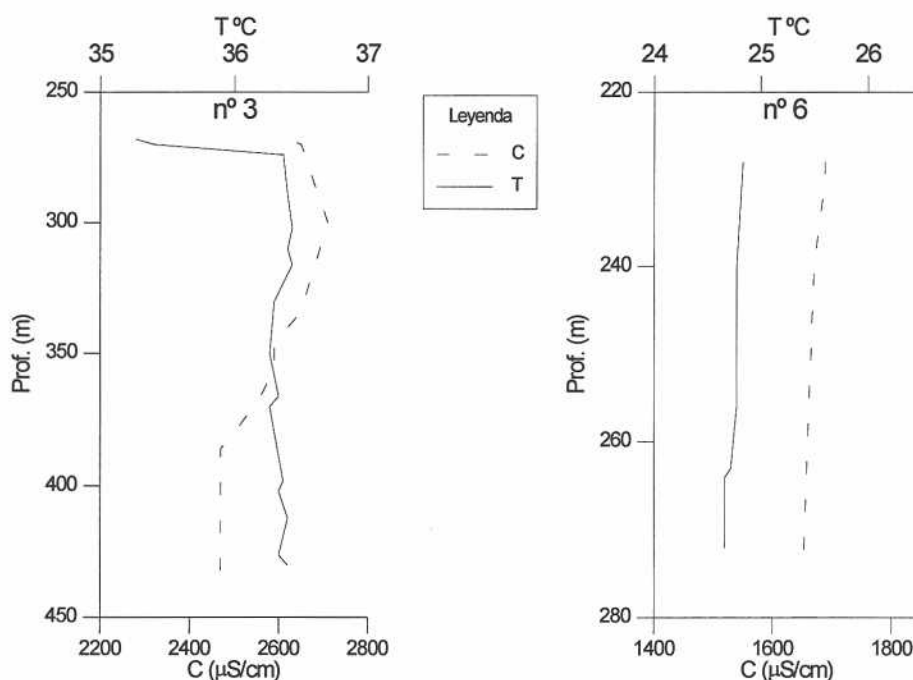


Figura 182. Variación de la conductividad con la profundidad.

La interpretación conjunta de los registros de conductividad y temperatura muestra la división entre una zona epidérmica o superficial y una zona profunda. La zona superficial es inferior a 8 m y presenta una salinidad del agua algo menor al resto de la columna; además su temperatura es ligeramente más templada. Se trata por tanto de una zona de mezcla entre el agua procedente de la infiltración de lluvia y el agua residente en el acuífero. La zona profunda está compuesta por el resto del acuífero testificado y en ella se observa una importante homogeneidad de la mineralización del agua. La existencia de un gradiente negativo de temperatura induce a pensar en la posibilidad de un tipo de circulación convectivo, este movimiento a su vez facilitarfa la mezcla del agua y, por tanto, explicaría la poca variación del quimismo.

**Sondeo nº 6.** La profundidad que se le suponía era de 400 m, sin embargo la testificación no pudo sobrepasar los 270 m. La diagráfia de conductividad muestra un

registro prácticamente inalterable situándose entre 1550 y 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Dado que la franja testificada es escasamente de 25 m aporta muy poca información. Sin embargo, el hecho de que el agua no muestre un claro carácter termal como evidencian el resto de las captaciones del entorno junto a una evolución piezométrica que no se corresponde con la de otros piezómetros del acuífero, inducen a pensar que esta captación no alcanza las calizas jurásicas del Acuífero del Cabeço d'Or y, por tanto, se encuentra emplazada en otra formación acuífera.

### *Conclusiones*

Las conclusiones sobre este acuífero tan sólo se pueden establecer a partir de la información de la testificación del sondeo nº 3 debido a las dudas argumentadas con anterioridad respecto a la ubicación del nº 6.

Los datos aportados por la testificación geofísica reflejan que, tras una lámina epidérmica de varios metros de la zona saturada, en la que aparece agua con unas características ligeramente diluidas, existe una homogeneidad en la mineralización del agua en el resto del sondeo. La lámina superficial corresponde a la mezcla entre el agua residente en el seno del acuífero y la procedente de la infiltración del agua de lluvia.

Las escasas diferencias entre la mineralización en la columna testificada junto con las escasas variaciones del quimismo de las aguas con respecto al tiempo; muestran que, a diferencia de lo que ocurría en los anteriores sistemas, en el Acuífero del Cabeço d'Or no existe una zonación hidroquímica en la vertical, sino que la mineralización del agua es relativamente constante en toda la zona saturada. La explicación a esta homogenización se interpreta como debido a la existencia de flujos de carácter convectivo originados en el área que presenta termalismo. Estos flujos provocan un movimiento constante del agua que impiden la estratificación de las aguas y, por tanto, su zonación en la vertical.

## **4. EFECTOS DE LA SOBREEXPLORACIÓN SOBRE LA ECONOMÍA DEL AGUA**

El fenómeno de la sobreexplotación de un acuífero origina una serie de efectos que tienen una repercusión económica. Estos efectos podrían ser agrupados en dos grupos: efectos económicos no sostenibles o alarmantes y efectos económicos mantenibles o silenciosos.

- Efectos económicos no sostenibles o alarmantes. En general se trata de efectos drásticos que pueden tener una repercusión a corto plazo. Las situaciones van a estar

relacionadas con acuíferos pequeños, acuíferos costeros o ser la parte terminal de los efectos económicos silenciosos. Entre los más importantes se encuentran la pérdida de recursos de agua como consecuencia de la disminución de rendimientos de las captaciones y, por tanto, la imposibilidad de seguir cubriendo las demandas que hasta entonces se habían satisfecho. El caso más extremo sería que las captaciones quedan secas al alcanzar el impermeable de base y no poder seguir reprofundizándose. Otro efecto económico alarmante sería la pérdida de calidad del agua hasta dejar de ser válida para el uso destinado. La salinización por intrusión marina constituye el ejemplo más extremo.

En ambos casos las situaciones económicas traen una serie de repercusiones graves, cuya solución puede ser compleja. Esta situación se produjo en el Acuífero del Cid, donde las captaciones se salinizaron y dejaron de ser útiles para el riego. La solución en este caso fue la importación de recursos externos al sistema para poder cubrir las demandas anteriormente satisfechas con las aguas de este acuífero. En el Acuífero de Crevillente también se ha producido en algunas captaciones de las partes bajas del Barranco del Tolomó. En este caso, dado que el deterioro ha tenido un carácter más local, la solución ha sido el traslado de las captaciones hacia otras partes del sistema.

- Efectos económicos mantenibles o silenciosos. Existen una serie de efectos que son sostenibles durante más tiempo y tienen una implicación económica menos drástica, aunque no menos significativa. Estos efectos se traducen en aumentos del coste del agua extraída de los acuíferos. Se producen en lugares donde no aparecen problemas de pérdida de calidad o son poco acusados y la potencia de las formaciones acuíferas es elevada, de modo que se pueden seguir reprofundizando las captaciones. En este caso la situación de sobreexplotación se mantendrá durante más tiempo, si bien, de persistir la sobreexplotación, se llegarían a alcanzar los efectos no mantenibles. El Acuífero de Crevillente es un claro ejemplo en el que la sobreexplotación se ha mantenido durante un periodo próximo a los 30 años.

Entre los gastos más importantes del coste económico de la sobreexplotación de acuíferos están los gastos de fluido eléctrico. La figura 183 representa cómo ha ido evolucionando la cantidad de energía necesaria para extraer un metro cúbico en el Acuífero del Cid. Durante la etapa en la que el acuífero estuvo sobreexplotado, a medida que aumentaba la profundidad del agua la cantidad de energía requerida era mayor, lo que significa un incremento del costo de extracción. Con el abandono de las captaciones y la recuperación del sistema, los consumos energéticos se han ido reduciendo desde 1984, situación que ha permanecido hasta la actualidad.

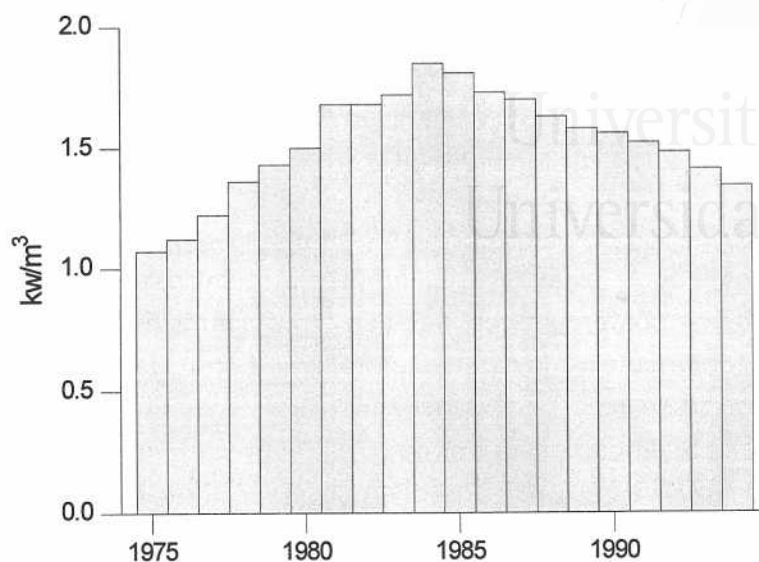


Figura 183. Evolución de la energía necesaria para extraer 1 m<sup>3</sup> de agua en el Acuífero del Cid.

Otro aspecto a tener en cuenta es que además de los incrementos debidos a energía, el precio del agua se ve afectado por problemas de mantenimiento de instalaciones. El constante descenso de los niveles provoca que los equipos de bombeo no siempre funcionen en condiciones óptimas, por lo que las averías son mucho más frecuentes en este tipo de acuíferos. La reprofundización de los sondeos también supone gastos extraordinarios. Esta serie de gastos indirectos van a afectar a los costes del agua. Este

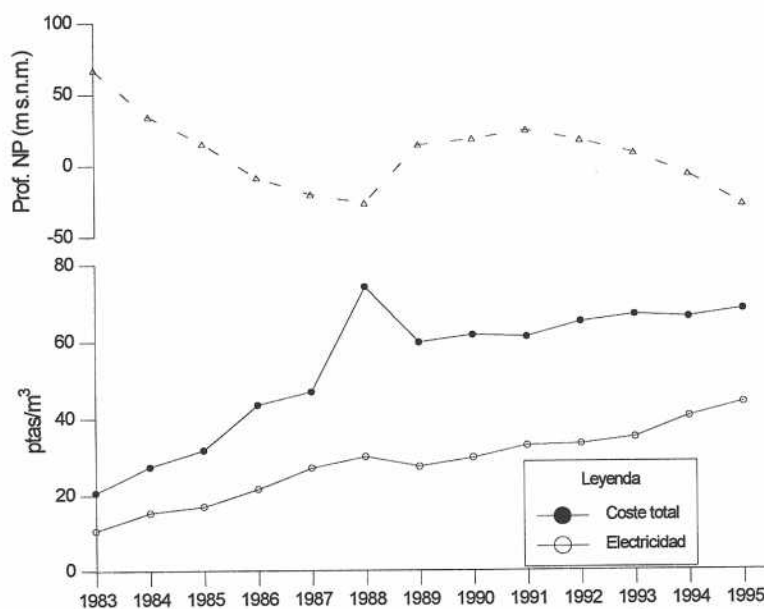


Figura 184. Evolución de los costes de extracción del m<sup>3</sup> de agua en el Acuífero de Crevillente.

factor es especialmente importante en el Acuífero de Crevillente, donde las bombas de extracción en algunos casos se encuentran a profundidades en torno a los 600 m. Baste decir que un desmantelamiento de una captación de estas profundidades puede superar las 600000 ptas sin tener en cuenta la reparación de la electrobomba.

En la figura 184 se representa la evolución del nivel del agua frente al precio de la energía eléctrica y del coste total del agua en ptas/m<sup>3</sup> suministradas por la SAT 3819 de Aspe. Estos precios de coste del agua incluyen otros gastos indirectos, algunos de ellos no derivados del fenómeno de la sobreexplotación. Como dato significativo se puede destacar que el precio pagado por los usuarios de este acuífero en 1995 ha llegado a alcanzar 70 ptas/m<sup>3</sup>. Si se compara este dato con el precio medio del agua potable en la ciudad de Alicante (60-80 ptas./m<sup>3</sup>) se puede observar el gran esfuerzo económico que supone para la agricultura de esta región la utilización del agua del Acuífero de Crevillente.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **VIII. RESUMEN Y CONCLUSIONES**





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

- El crecimiento socio-económico que ha experimentado la provincia de Alicante a partir de la mitad de este siglo, y en concreto, las áreas en las que se ubican los acuíferos, aumentaron fuertemente la demanda de agua. Estas necesidades se vieron cubiertas en gran medida con aguas subterráneas, por lo que, la presión a la que fueron sometidos acuíferos como Crevillente, Cid y Cabeçó d'Or ocasionaron la sobreexplotación de los mismos.

- Las transformaciones agrarias en sistemas de cultivo intensivo, fundamentalmente de uva de mesa y tomate, son las actividades que mayores volúmenes de agua demandan.

## HIDROMETEOROLOGÍA

- En el área que comprende los acuíferos de Crevillente y Cid la precipitación media anual se encuentran entre 280 y 410 mm. Se caracteriza por una fuerte irregularidad entre años, siendo las diferencias de precipitación entre años secos y húmedos superiores a la media. Se trata de un clima semiárido de carácter típicamente mediterráneo.

- Las precipitaciones se producen mayoritariamente en otoño, siendo los meses más lluviosos octubre y noviembre, habitualmente en forma de aguaceros de gran intensidad. También durante la primavera, generalmente en el mes de abril, existe un máximo relativo de precipitación.

- La distribución espacial de las precipitaciones en el área seleccionada viene marcado por un incremento respecto a la distancia al mar y altitud. La precipitación media recibida por el Acuífero de Crevillente se estima en 44 hm<sup>3</sup>, mientras que es ligeramente superior a 12 hm<sup>3</sup> en el Acuífero del Cid.

- En el Acuífero del Cabeçó d'Or la precipitación media es de 412 mm/año. También presenta un carácter típicamente mediterráneo, con una gran irregularidad anual y mensual. Las precipitaciones máximas se producen en el mes de noviembre y las mínimas en julio. La cantidad de lluvia media que recibe este acuífero es de 4.5 hm<sup>3</sup>.

- La temperatura media del área que comprende a Crevillente y Cid está entre 14 y 20.1°C, mientras que en el Acuífero del Cabeçó d'Or se estima en 15.1°C. En la gran mayoría de los observatorios utilizados el máximo se alcanza en julio y el mínimo en enero.

- La evapotranspiración potencial media está entre 750 y 1080 mm/año para el área que comprende los acuíferos de Crevillente y Cid, mientras que la evapotranspiración real se sitúa entre el 62 y 92% de la precipitación recibida. En cuanto al Acuífero del Cabeço d'Or, la evapotranspiración potencial es de 790 mm/año y la evapotranspiración real se sitúa entre el 50 y 70% de la precipitación.

- Las particularidades climáticas afectan directamente la evolución que siguen los acuíferos. La mayor magnitud de los periodos secos desde el inicio de la explotación intensiva de estos sistemas ha amplificado la sobreexplotación.

## **GEOLOGÍA**

- El Acuífero de Crevillente forma parte de la serie subbética externa que se superpone a los materiales prebéticos. Se trata de un conjunto, fundamentalmente, carbonático (calizas y dolomías) que desarrolla potencias que pueden superar 400 m.

- La tectónica sufrida por el área origina complicadas relaciones estructurales que aún no se encuentran totalmente resueltas. La disposición resultante está conformada por relieves coincidentes con anticlinales y valles con sinclinorios recubiertos por materiales recientes. Los materiales detrítico-evaporíticos triásicos suelen estar relacionados con esta actividad tectónica, aflorando en lugares de fracturas.

- Los procesos de disolución de carbonatos han tenido importancia en diferentes momentos geológicos originando fenómenos de karstificación. Las formas kársticas no son muy desarrolladas, aunque existen evidencias de karstificación incluso en las dolomías.

- El Acuífero del Cid se trata de un potente conjunto de unidades litoestratigráficas carbonáticas prebéticas que puede alcanzar los 400 m. Forma parte de la unidad tectónica Cid-Ventós que se superpone a otras unidades tectónicas prebéticas más septentrionales.

- La disposición estructural corresponde a una serie monoclinal buzante hacia el E afectada por numerosas fallas subverticales que hunden la parte meridional. La presencia de rocas evaporíticas en los alrededores pone de manifiesto procesos halocinéticos que han intervenido en la estructuración del área.

- Las formas kársticas tampoco son abundantes, aunque todo apunta a que este relieve estuvo emergido desde la estructuración de la Cordillera.

- El Acuífero del Cabeço d'Or está formado principalmente por un conjunto calizo

con potencias que pueden superar los 450 m, culminado por un tramo de areniscas y calcarenitas. Sobre estos materiales se dispone la serie cretácica y terciaria mayoritariamente margosa.

- La estructuración de este relieve queda definida por un anticlinal asimétrico roto por su parte occidental y originando diversas escamas que se superponen entre ellas. El alto grado de complejidad tectónica ha dado lugar a diversas hipótesis para explicar la génesis de dicha estructura.

- Se trata del acuífero con mayores evidencias de karstificación. Además de formas exokársticas, existe el desarrollo de un endokarst que apunta a una estructuración jerarquizada y, cuyo máximo representante es la Cueva de Canelobre. La existencia de formas paleokársticas hace sospechar que los fenómenos de karstificación hayan jugado un papel importante incluso anterior a la estructuración de la Cordillera.

## **HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DE CREVILLENTE**

- Está constituido por un conjunto de calizas y dolomías jurásicas, cuya porosidad se debe a la fisuración y karstificación de la roca. El tramo de mejores características hidráulicas es el inferior, por lo que se pueden diferenciar en él dos partes: un acuífero bueno (parte inferior) y un acuífero pobre (parte superior). El acuífero se encuentra perfectamente delimitado por bordes impermeables, constituidos por arcillas y yesos triásicos o por margas cretácicas. El impermeable de base lo constituyen los materiales triásicos o la roca cataclástica resultante de la fricción de la caliza y dolomía en la base del cabalgamiento.

- El acuífero ha estado sometido a sobreexplotación desde el inicio de la Galería de los Suizos, tan sólo paliado por épocas de lluvias. El grado de sobreexplotación no es uniforme en todo él. La sectorización provocada por los lugares de emplazamiento de baterías de sondeos ha provocado diferentes comportamientos hidrodinámicos en el sistema. No obstante, aunque con pérdidas de comunicación parcial, parece existir comunicación entre las distintas partes del acuífero.

- Los valores de transmisividad calculados para este acuífero oscilan entre 40 y 10000 m<sup>2</sup>/día, valores típicos de acuíferos kársticos. Las mayores transmisividades aparecen en el sector de la Galería, mientras las menores en la Sierra del Rollo. En cuanto a los coeficientes de almacenamiento, están entre 0.13 y  $1.8 \times 10^{-4}$ , lo que hace sospechar que por procesos tectónicos puedan quedar partes confinadas aún.

- Las facies hidroquímicas son cloruradas sódicas en la Sierra de Crevillente y clorurado-bicarbonatado calcico-sódicas en la parte de la Sierra de Algayat-Rollo, lo que indica una clara sectorización hidroquímica. La conductividad oscila entre 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y valores de más de 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en algunos puntos abandonados por problemas de salinidad.

- Las distintas relaciones iónicas, los análisis multivariantes entre los parámetros fisicoquímicos y el cálculo del estado de equilibrio de las especies minerales ponen de manifiesto que los procesos de disolución de sales evaporíticas son los que mayoritariamente contribuyen a aumentar la mineralización de las aguas. Sin embargo, otros procesos como la disolución-precipitación de carbonatos también están presentes.

- La utilización conjunta de los datos hidrogeoquímicos e isotópicos ha puesto de manifiesto la existencia de flujos de diferente procedencia y edad, así como el origen de la mineralización. Se establece que las características hidrogeoquímicas de las aguas de este acuífero están determinadas por la acción conjunta de los factores: litológico, estructural, hidrodinámico y climático.

- Previamente a la explotación intensiva del sistema, este acuífero había sido captado desde hace siglos en la vertiente meridional de la Sierra de Crevillente. Para establecer su funcionamiento hidrogeológico en régimen natural hay que remontarse hasta antes de dichas captaciones. A partir de los datos que dispongo, se interpreta que el Barranco del Tolomó podría haber actuado de paso comunicante y descargar de forma oculta al Río Tarafa o a la Vega de Aspe.

- Las entradas se deben mayoritariamente a la infiltración directa del agua de lluvia sobre los materiales carbonáticos y, en menor medida, a la cesión de los materiales detríticos que se superponen al acuífero. La infiltración estimada para los materiales carbonáticos oscila entre el 30 y 44% de la precipitación, utilizando el método de Thornthwaite y, entre 40-60% por el método de Kessler. Los recursos estimados oscilan entre 9 y 11  $\text{hm}^3$  frente a unas salidas medias de 13.5  $\text{hm}^3$ , lo que supone que este acuífero continúa en estado de sobreexplotación.

## **HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL CID**

- Está constituido por un conjunto de calizas cretácicas, cuya porosidad se debe a la fisuración y karstificación. El tramo de mejores características hidráulicas corresponde a las calizas oolíticas de edad Albiense. La delimitación del sistema presenta ciertas dificultades por su parte meridional, ya que existen partes poco conocidas hidrogeológicamente y que en régimen natural podrían actuar como límites abiertos. El

impermeable de base lo constituye la propia serie cretácica que va haciéndose más margosa hacia muro.

- Con el inicio de la década de los setenta, el acuífero se vió sometido a una fuerte sobreexplotación. Los diversos problemas que conlleva este fenómeno fueron la causa del abandono de las captaciones, por lo que a mitad de los años ochenta dejó de estar sobreexplotado para convertirse en un acuífero excedentario. En la actualidad, el comportamiento piezométrico muestra que este acuífero se encuentra en estado de equilibrio o ligeramente excedentario.

- Los bombeos de ensayo efectuados en este acuífero evidencian transmisividades muy altas, por encima de los 5000 m<sup>2</sup>/día.

- Las facies hidroquímicas encontradas son clorurada sódica o clorurada sodico-cálcica dependiendo del punto. La conductividad oscila entre 1200 y más de 5000  $\mu$ S/cm. Aunque no existe una sectorización tan evidente como en el Acuífero de Crevillente, los puntos más septentrionales muestran menos mineralización que los meridionales.

- Las principales relaciones iónicas, el análisis multivariante entre los parámetros fisicoquímicos y cálculo de los estado de equilibrio de las especies minerales ponen de manifiesto que los procesos de disolución de sales evaporíticas son los que contribuyen a aumentar la mineralización de las aguas. Otros procesos como la disolución-precipitación de carbonatos e incluso el intercambio iónico podrían jugar un cierto papel.

- El uso conjunto de los datos hidrogeoquímicos e isotópicos evidencia la existencia de flujos de diferente mineralización, cuya mezcla resultante es el agua que se bombea en cada punto acuífero.

- La alimentación del acuífero corresponde a la infiltración directa del agua de lluvia sobre los materiales carbonáticos y, en menor medida, a la cesión de los materiales detríticos que se superponen al acuífero. La infiltración estimada para los materiales carbonáticos está comprendida entre el 21 y 24% de la precipitación utilizando el método de Thornthwaite y 40-43% por el método de Kessler. Se estiman unos recursos entre 2.6 y 3 hm<sup>3</sup> y unas salidas medias de 2.5 hm<sup>3</sup>, lo que evidencia un estado de equilibrio o ligeramente excedentario.

## **HIDROGEOLOGÍA DEL ACUÍFERO DEL CABEÇO D'OR**

- Está constituido por un conjunto de más de 450 m de calizas, areniscas y



calcarenitas de edad jurásico-cretácicas, cuya porosidad se debe a la fisuración y karstificación. La disposición estructural de anticlinal roto por su flanco W y continuo por su flanco E apunta a que el acuífero se extiende hacia el E de forma confinada bajo los materiales cretácicos de carácter impermeable. A partir de la información histórica se constata la extensión meridional de este acuífero hasta la localidad de Busot.

- La explotación intensiva del acuífero condujo a su fuerte sobreexplotación, con el consiguiente secado de los manantiales existentes. La traslación de las extracciones a otros sistemas acuíferos convirtió a este sistema en excedentario a partir de la mitad de la década de los ochenta. El seguimiento piezométrico durante los últimos años indica que este acuífero es ligeramente excedentario.

- Los datos referentes a bombeos de ensayo muestran valores de transmisividad comprendidos entre 160 y 2500 m<sup>2</sup>/día.

- La facies hidroquímica encontrada es sulfatada cálcica para todos los sectores del acuífero. Si bien, la conductividad oscila entre 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en el Barranco de Salmitre, y alrededor de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en el sector de Aigües.

- Las distintas relaciones iónicas, el análisis multivariante entre los parámetros fisicoquímicos y los resultados isotópicos apuntan a que la mineralización está relacionada con procesos de disolución de sales evaporíticas, junto a otros procesos como la disolución-precipitación de carbonatos.

- Las aguas de este acuífero presentan una clara anomalía termal con temperaturas comprendidas entre 27 y 38°C. La aplicación de los diferentes geotermómetros plantea serias dificultades debido a que no siempre se cumplen las condiciones originales necesarias para su correcta utilización. Las temperaturas de base obtenidas para los geotermómetros y la modelización de los estados de equilibrio en profundidad indican como valores de temperaturas más probables las situadas entre 40-90°C.

- La principal entrada en el acuífero corresponde a la infiltración directa del agua de lluvia sobre los materiales carbonáticos. La infiltración media se sitúa entre el 26 y 31% de la precipitación utilizando el método de Thornthwaite y del 45% por el método de Kessler, lo que supone una alimentación entre 1.1 y 1.4 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas medias en los últimos años son de 0.6 hm<sup>3</sup>/año, lo que constata que el acuífero se encuentra en equilibrio o es ligeramente excedentario.

## **SOBREEXPLORACIÓN DE ACUÍFEROS**

- En el Acuífero de Crevillente no se puede obtener una ley general de variación de los parámetros hidráulicos con la profundidad que se cumpla para todo el acuífero. Así se combinan sectores en los que han producido pérdidas de transmisividad, con su consiguiente reducción de caudales, con áreas en que estos parámetros se han mantenido constantes e incluso han aumentado. Los diferentes volúmenes específicos calculados para diversos años de explotación pueden dar una idea del modelo de kárstificación irregular típica de acuíferos karstificados en su conjunto.

- El Acuífero del Cid también parece responder a un modelo de acuífero karstificado en su totalidad. La existencia de aguas de elevada mineralización en profundidad puede haber facilitado los procesos de disolución de los carbonatos facilitando la karstificación en los tramos basales del acuífero.

- La información que contribuye al conocimiento de la karstificación en profundidad del Acuífero del Cabeço d'Or es escasa, si bien a tenor de los datos de que dispongo, no existen evidencias de pérdidas de los parámetros hidráulicos en profundidad. La posible paleokarstificación que presenta este relieve puede contribuir a mantener un modelo de karstificación en su totalidad.

- El quimismo de las aguas del Acuífero de Crevillente ha sufrido transformaciones conforme avanzaba la sobreexplotación. La pérdida de calidad del agua no ha sido igual en todo el sistema. Los máximos deterioros se han producido en aquellos lugares en que los descensos han sido más intensos y existen materiales salinos (Barranco del Tolomó), mientras que en la Sierra del Rollo, con menores descensos y más distantes de los materiales salinos, apenas han sufrido variaciones. Las condiciones climáticas repercuten de manera directa en las variaciones de la mineralización. Durante los años húmedos las intensas recargas en el sistema mejoraron considerablemente la calidad del agua en los lugares más deteriorados.

- El deterioro de la calidad en el Acuífero del Cid originó el abandono de la gran mayoría de las captaciones. La explotación antrópica produjo la rotura del equilibrio natural mezclando aguas superficiales con profundas muy mineralizadas y contaminando el acuífero. El grado de contaminación depende de la proximidad de sondeos profundos y de la mezcla resultante del flujo captado.

- El fenómeno de la sobreexplotación no ha producido ninguna pérdida de calidad en el Acuífero del Cabeço d'Or, cuyas aguas originalmente presentaban una elevada mineralización de forma natural.

- A partir de los datos hidrogeoquímicos y las diagráffas de conductividad y temperatura en el Acuífero de Crevillente se observa cierta zonación hidroquímica en la vertical, de modo que las aguas más mineralizadas se disponen en las partes más profundas del acuífero. Esta zonación hidroquímica aparece perturbada en muchos casos debido a la presencia de diferentes flujos de distinta procedencia.

- En el Acuífero del Cid existe una clara zonación hidrogeoquímica en la vertical, apareciendo aguas con conductividad  $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$  en la parte superficial y de  $7000 \mu\text{S}/\text{cm}$  en la parte profunda.

- El Acuífero del Cabeçó d'Or presenta una homogeneidad de la mineralización del agua. Tan sólo la lámina superficial correspondiente a la franja de mezcla con las aguas meteóricas muestra menores conductividades. La existencia de flujos de carácter convectivo podría explicar la homogeneidad de la mineralización en toda la franja saturada testificada.

- La sobreexplotación origina una serie de efectos económicos no deseables. El encarecimiento del agua se encuentra dentro de los efectos mantenibles en el tiempo, mientras el agotamiento de las reservas y la salinización del agua son efectos drásticos que implican el abandono de la explotación y causan problemas económicos más complejos.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

- AIRES-BARROS, L., MARQUES, J.M. y GRAÇA, R.C. (1995). Elemental and isotopic geochemistry in the hydrothermal area of Chaves, Vila Pouca de Aguiar (northern Portugal). *Environ. Geol.*, 25: 232-238.
- ALBERT, J.F. (1979). Métodos geoquímicos aplicados a prospección geotérmica. *II Simp. Nac. Hidrog. Rec. Hidráulicos*, IV. Pamplona, 5:495-510.
- ALFARO, P. (1995). *Neotectónica en la Cuenca del Bajo Segura (Extremo oriental de la Cordillera Bética)*. Tesis Doct. Univ. Alicante, 219 p.
- AGUILÓ, J. (1991). Sequía y erosión. *In: Jornadas sobre las sequías en España. R. Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid.*, LXXXV: 205-219.
- ANDREU, J.M. (1995). Consideraciones hidrogeológicas del Acuífero del Cabeço d'Or. *Gestión y tratamiento del Agua*. Univ. Alicante: 25-43.
- ANDREU, J.M. y ESTÉVEZ, A. (1992). Consideraciones geomorfológicas de la Sierra del Cabeço d'Or. *Actas II Reu. Nac. Geom.*, Murcia: 459-559.
- ANDREU, J.M., ESTÉVEZ, A., PULIDO BOSCH, A. y RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, L. (1992). Evolución piezométrica e hidroquímica del acuífero del Cabeço d'Or. *V Simp. Hidrog. Rec. Hidr.*, I, Alicante, XV: 77-87.
- ANTIGÜEDAD, I. (1986). *Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Nervión-Ibaizabal. Contribución a la investigación de los sistemas acuíferos kársticos*. Tesis Doct. Univ. País Vasco, 338 p.
- ANTIGÜEDAD, I. y SANCHO, V. (1988). Caracterización hidroquímica temporal en acuíferos carbonatados del País Vasco. *II Congr. Geol. Esp.*, 2: 341-354.
- APPELO, C.A.J. y GEIRNAERT, W. (1983). Processes accompanying the intrusion of salt water. *Geologia Applicata e Idrogeologia*. XVIII-II: 29-40.
- AOAC (1990). *Official methods of analysis*. Association of official analytical chemist. Signey & Willians (Ed.) 14th edition.
- ARAD, A. (1988). B, F, and Sr as tracers in carbonate aquifers and in karstic geothermal system in Israel. *IAH 21st Congr. Karst Hydrogeology and Karst Environment Protection*. Guilin (China).
- ARAGUÁS, L. (1991). *Adquisición de los contenidos isotópicos (<sup>18</sup>O y D) de las aguas subterráneas: variaciones en la atmósfera y en la zona no saturada del suelo*. Tesis Doct. Univ. Autón. Madrid, 296 p.
- ARAGÓN, R., SOLÍS, L. y RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T. (1989). La sobreexplotación de acuíferos en la Cuenca del Segura. *In: "La Sobreexplotación de Acuíferos"* A. Pulido-Bosch *et al.* (Eds.), Temas Geológico-Mineros, 10: 177-192.
- ARAGONÉS, J. M., CORCHÓN, F. y SANTAFÉ, J.M. (1989). Planes de ordenación de acuíferos sobreexplotados. La experiencia de la Sierra de Crevillente (Alicante). *In: "La Sobreexplotación de Acuíferos"* A. Pulido *et al.* (Eds.), Temas Geológico-Mineros, 10: 177-191.
- ARANDJELOVIC, D. (1966). Geophysical methods used in solving some geological problems encountered in construction of the Trebisnica water power plant (Yugoslavia) *Geophys. Prospecting*, 14 (1): 80-97.
- ARANDJELOVIC, D. (1984). Application of geophysical methods to hydrogeological problems in Dinaric karst of Yugoslavia. *In: Hydrogeology of the Dinaric karst*. B.F. Mijatovic (Ed.). Inter. Contrib. to Hydrogeol., 4:143-159.



- ARAVENA, R., EVANS, M.L. y CHERRY, J.A. (1993). Stable isotopes of oxygen and nitrogen in sources. Identification of nitrate from septic system. *Ground Water*, 31-2: 180-186.
- ARNORSSON, S., GUNNLAUGSON, E. y SAVAVARSSON, H. (1983). The Chemistry of geothermal waters in Iceland. I Calculation of aqueous speciation from 0°C to 370°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 1513-1532.
- ASENCIO, J.P. (1982). Geografía agraria de Aspe. In: *Aspe. Antología documental*. Inst. Est. Alicantinos. Excma. Dip. Prov. de Alicante: 323-345-
- ATTEIA, O. (1992). *Rôle du sol dans le transfert des éléments traces en solution-application a l'étude de quelques écosystèmes d'altitude*. Tesis Doct. École Polytechnique Fédérale Lausanne, 290 p.
- AUERNHEIMER, C. (1979). *Los medios de sedimentación del Mioceno medio de Elda-Petrel (Alicante), en sus aspectos estratigráficos y geoquímicos*. Tesis Doct. Univ. Alicante, 534 p.
- AUERNHEIMER, C. (1983). El estroncio como indicador de Paleoambientes Sedimentarios. *Mediterránea Ser. Geol.*, 1: 3-31.
- AULT, W.U. y KULP, J.L. (1959). Isotopic geochemistry of sulphur. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 16: 201-235.
- AUQUE, L.F.; SÁNCHEZ, V. y FERNÁNDEZ, J. (1986). Métodos geotermométricos en la determinación de la temperatura de base en aguas termales. *Rev. Acad. Cien. Zaragoza*. 41: 161-183.
- AUQUE, L.F.; FERNÁNDEZ, J. y TENA CALVO, J.M. (1988). Las aguas termales de Fitero (Navarra) y Arnedillo (Rioja). I Análisis geoquímico de los estados de equilibrio-desequilibrio en las surgencias. *Est. Geol.*, 44: 285-292.
- AZÉMA, J. (1975). "Le Crétacé dans la partie orientale des zones externes des Cordillères Bétiques. II. Le Prébétique et le Subbétique de Cieza à Alicante". *I Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Cretácico de España*. Bellaterra tremp, 5-9. Pub. ENADIMSA, Trabajos de Congresos y Reuniones (7): 219-231.
- AZÉMA, J. (1977). *Etude géologique des Zones Externes des Cordillères bétiques aux confins des provinces d'Alicante et de Murcie (Espagne)*. Tesis Doct. Univ. Pierre et Marie Curie Paris, 395 p.
- AZÉMA, J., CHAMPETIER, Y., FOUCAULT, A., FOUCARDE, E. y PAQUET, J. (1971). "Le Jurassique dans la partie orientale des zones externes des Cordillères bétiques: I. Essai de corrélation". *Cuad. de Geología Ibérica*. 2: 91-110.
- AZÉMA, J., CHAMPETIER, Y., FOUCAULT, A. y FOURCADE, Y. (1975). Le Crétacé dans la partie orientale des zones externes des Cordillères bétiques. In: *I essai de coordination. I coloquio de estratigrafía y paleogeografía del Cretácico en España*. Serie 7, 1 Enadimsa: 159-217.
- AZÉMA, J., LECLERC, J. y LERET, F. (1975). Nouvelles données sur le secondaire de la Sierra de Cabezón de Oro (province d'Alicante). *Bol. Geol. Min. Esp.*, 86 (2): 135-141.
- AZÉMA, J. y MONTENAT, Ch., (1973). Mapa y memoria explicativa de la Hoja 892 (Fortuna) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000. Plan MAGNA, IGME.
- AZÉMA, J. y SORNAY, J. (1966). Sur l'existence de phénomènes de ravinement, de condensation et de remaniement au sein des formations secondaires de la Sierra de Crevillente (Province d'Alicante). *Bull. Soc. Géol. France*, 8: 518-520.
- BACK, W y HANSHAW, B. B. (1965). Chemical Geohydrology. In: *Advances in Hydroscience*. Ven Té Chow (Ed.), 2: 50-109.

- BACK, W. y HANSHAW, B. B. (1971). Geochemical interpretations of groundwater flow system. *W. C. Bull.*, 7, 5: 1008-1016.
- BACK, W. y ZOETL, J. (1975). Application of geochemical principles, isotopic methodology, and artificial tracers to karst hydrology. *IAH Com- Hydro. Karst*. Ed. Burger and L. Dubertret: 105-121.
- BAKALOWICZ, M. (1979). *Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification*. Tesis Doct. Univ. Paris 6, 269 p.
- BAKALOWICZ, M. (1980). Un précieux informateur hydrogéologique: le système chimique CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-carbonate. *Coll. Cirstallisation, déformation dissolution des Carbonates*. Bordeaux: 11-23.
- BAKALOWICZ, M. (1982). La genèse de l'aquifère karstique vue par un géochimiste. *Reunión Karst Larra (2)*. Pamplona: 159-174.
- BAKALOWICZ, M. (1986). De l'Hydrogéologie en karstologie. *Jorn. Karst en Euskadi*, San Sebastián, 2: 105-130.
- BAKALOWICZ, M. (1990). Géochimie des sources carbonatées des Corbières et formations de travertins. *Les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le Midi de la France*, 17: 209-225.
- BAKALOWICZ, M. (1992). Géochimie des eaux et flux de matières dissoutes. L'approche objective du rôle du climat dans la karstogénèse. *In: Karst et évolutions climatiques*. Bordeaux.: 61-74
- BAKALOWICZ, M. y JUSSERAND (1987). Étude de l'infiltration en milieu karstique par les méthodes géochimiques et isotopiques. Cas de la grotte de Niaux (Ariège, France). *Bull. Centre d'Hydrogéol*, 7: 265-283.
- BAKALOWICZ, M., FORD, D., MILLER, T., PALMER, A. y PALMER. (1987). Thermal genesis of dissolution caves in the Black Hills, Southern Dakota. *Geol. Soc. America Bull.*, 99: 729-738.
- BALDERER, W., PEARSON, F.J. y SOREAU, S. (1991). *Sulphur and Oxygen Isotopes in Sulphate and Sulphide in Applied Isotope Hydrogeology. A case study in northern Switzerland*. Pearson, F.J. Jr.; Balderer, W.; Loosly, H.H.; Lehmann, B.E.; Matter, A.; Peters, Tj.; Schmassman, H. and Gautshi, A. *Studies in Environmental Science* 43. Ed. Elsevier 439 p.
- BARCELÓ, M., CARBONERO, M<sup>a</sup> A., MARTÍ, R. y ROSELLÓ-BORDOY, G. (1985). Arqueología: La "Font Antiga" de Crevillent: Ensayo de descripción arqueológica. *Rev. Áreas*: 217-231.
- BARNES, I., IRWIN, W. y WHITE, D. (1978). Global distribution of carbon dioxide discharges, and major zones of seismicity. *Open File Report, U.S. Geol. Surv.*, 12 p.
- BATARD, F., BAUBRON, J. BOSCH, B. MARCÉ, A. y RISLER, J. (1982). Isotopic identification of gases of a deep origin in french thermomineral waters. *J. Hydrol.*, 56: 1-21.
- BAUBRON, J., BOSCH, B., HALFON, J., MARCÉ, A. y RISLER, J. (1976). Essai de caractérisation des gaz dissous dans les eaux thermominérales par analyse isotopique de l'argon, du gaz carbonique et du méthane. *In: Résumé des principaux résultats scientifiques et techniques du Service Géologique National*. BRGM. Paris, 93 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. *Jorn. Karst en Euskadi*. San Sebastián: 255-340.
- BEAR, J. y SCHWARZ, J. (1966). The Hydrological Regime of the Turonian Cenomanian Aquifer of Central Israel. Tel-Aviv.
- BENAVENTE, J. y SANZ DE GALDEANO, C. (1989). Relación de las direcciones de karstificación

- y del termalismo con la fracturación en las Cordilleras Béticas. *Est. Geol.*, 41: 177-178.
- BENDIGER, M.S. (1967). An electric analog study of the geometry of limestone solution. *Ground Water*, 5 (1): 24-28.
- BENITEZ, A. (1972). *Captación de aguas subterráneas*. Dossat, Madrid, 618 p.
- BERTRAND, M. y KILIAN, W. (1889). Études sur les terrains secondaires et tertiaires dans les Provinces de Grenade et Malaga. In : *Mission d'Andalousie. Mém. Acad. Sci. Paris*, 30: 378-592.
- BISHOP, P.K. y LLOYD, J.W. (1990). Chemical and isotopic evidence for hydrogeochemical processes occurring in the Lincolnshire limestone. *J. Hydrology*, 121: 293-320.
- BLUMENTHAL, M. (1927). "Versuch einer tektonischen Gliederung der betischen Cordilleren von Central Südwest-Andalucien". *Eclog. Geol. Helv.* 20: 487-532.
- BODANSKY, D., ROBKI N. M. y STADLER, D. (1987). Indoor radon and its hazard. Univ. Wahington Press, Seattle: 76-90.
- BOGLI, A. (1980). *Karst Hydrology and physical Speleology*. Springer-Verlag. Berlin. 284 p.
- BOINEAU, R. y MAISONNEUVE, J. (1971). Les sources minérales du Massif Central français et de leur cadre géologique. *Simp. J.Jung: Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif Central Français*. Clermont-Ferrand: 581-607.
- BONACCI, O. (1987). *Karst Hydrology. With special reference to the Dinaric Karst*. Springer Series in Physical Environment, 2, 184p.
- BORTOLAMI, G.C., RICCI, B., SUSELLA, G.F., ZUPPI, G. (1979). Isotope hydrology of the Val Corsaglia, Maritime Alps, Piedemont, Italy, *Isotope Hydrology*, 1. 327-350.
- BOWEN, R. (1986). *Groundwater*. Ed. Elsevier 2ª Ed. London. 427 p.
- BRONDI, M., DALL'AGLIO, M., VITRANO, F. (1973). Lithium as a Pathfinder Element in the Large Scale Hydrochemical Exploration for Hydrothermal Systems. *Geothermics*, 2 (3-4), pp. 142-153.
- BRU, C. (1990). La escasez hídrica alicantina y las acciones de regulación. In: *El Reto del Agua*. Inst. Juan Gil-Albert. Excma. Dip. Alicante: 107-199.
- BRU, C. (1992). *Los caminos del agua: el Vinalopó*. CHJ. Valencia, 257 p.
- BRU, C. (1993). La sobreexplotación de acuíferos y los planes de ordenación hidráulica en la cuenca del Río Vinalopó. Alicante. *Inves. Geogr. Univ. Alicante*, 11: 93-107.
- BURDON, D.J. (1965). Hydrogeology of some karstic areas of Greece. *Act. Coll. Dubrovnik*. AIHS-UNESCO, 73: 308-317.
- BURGER, A. (1983). Prospection et captage des eaux souterraines des roches carbonatées du Jura. *Gaz-Eaux-Eaux usées*. Zurich, 9: 533-583.
- CADIGAN, R.A. y FELMLEE, J.K. (1977). Radioactive springs geochemical data related to uranium exploration. *J. Geochem. Ex.*, 8: 381-395.
- CALZADA, S. (1988). Una nueva especie de Monticlarella (Brachiopoda) del Cretácico alicantino. *Mediterránea, Ser. Geol.*, 7: 25-32.
- CAPEL, J.J. (1981) *Los climas de España*. Oikos- Tau, S.A. Barcelona, 429 p.
- CANALES, G. y PALAZÓN, S. (1990). "La Agricultura" In: *Comarca l'Alacantí*. Mancomunidad de l'Alacantí (Ed.). Alicante, 248 p.

- CARRATALÁ, A. (1993). *Caracterización Química de la Precipitación en la Comunidad Valenciana: Distribución Espacial y Temporal*. Tesis Doct. Univ. Alicante, 232 p.
- CASTANY, G. (1975). *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Omega (Ed.). Barcelona, 738 p.
- CAVANILLES, A. J. (1795-1797). *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia*. Valencia, 1981. Reproducción facsímil de la edición de Madrid. Imprenta Real, 2 vols, 582 p.
- CERÓN, J.C. (1995). *Estudio hidrogeoquímico del acuífero del Alto Guadalentín (Murcia)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 268 p.
- CERÓN, J.C.; PULIDO-BOSCH, A. y PADILLA, A. (1993). Caracterización hidroquímica y análisis de los estados de equilibrio termodinámico en aguas termominerales de Alhama de Murcia (Murcia, España). *Est. Geol.*, 49: 49-61.
- CGEGESA (1963). *Estudio de prospección eléctrica en la región de Hondón de los Frailes, prov. de Alicante*. Informe interno, 23p.
- CGS (1985). *Estudio hidrogeológico del término municipal de Aspe y sus alrededores (Alicante)*. 2 tomos, 134 p. Inédito.
- CHAMPETIER (1972). *Le Prébétique et l'Ibérique côtiers dans le sud de la province de Valence et le Nord d'Alicante (Espagne)*. Tesis Doct. Univ. Nancy. Science de la Terre, 24, 169p.
- CLAYPOOL, G.E., HOLSTER, W.T., KAPLAN, I.R., SAKAI, H. y ZAK, I. (1980). The Age curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation. *Chem. Geology*, 28: 199-260.
- COLLIGNON, B. (1986). *Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie)*. Tesis Doct. Univ. Avignon, 280 p.
- COLLIGNON, B. (1988). Evaluation des reserves permanentes et renouvelables des aquifères karstiques de l'Ouest de l'Algérie à partir du suivi piezométrique des forages en exploitation. *Ann. Sci. Univ. Besançon. 4<sup>er</sup> Coll. d'Hydrogéologie en pays calcaire*. Besançon: 99-105.
- COLMENERO, J.R., LILLO, J. y MANERA, C. (1974). "Contribución al conocimiento geológico de la Sierra de Crevillente y sus alrededores (Alicante)". *Est. Geol.*, XXX, 2-3: 253-269.
- COLODRÓN, I., RUIZ V. y NUÑEZ, A. (1980). Mapa y memoria explicativa de la hoja 847 (Villajoyosa) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Plan MAGNA, IGME.
- CORCHÓN, F, RODRÍGUEZ-ESTRELLA, T. y SÁNCHEZ-ALMOHALLA, E. (1989). Datos básicos para la realización del Plan de Ordenación del Acuífero sobreexplotado de Crevillente. In *"La Sobreexplotación de Acuíferos"* A. Pulido et al. (Eds.), Temas Geológico-Mineros, 10: 471-483.
- CORRIGNAN, P. y VERRIERES, H. (1987). *Étude hydrogéologique des systèmes aquifères hydrothermaux de la zone nord-pyrénéenne entre l'Ariège et la Garonne. Exemples d'Ussat, d'Aulus et d'Audinac*. Tesis 3<sup>er</sup> ciclo, Univ. P. Sabatier, Toulouse. 323 p.
- COTHERN, R.C. (1987). Estimating the health risks of radon in drinking water. *J. AWWA*: 153-158.
- COUTAGNE, A. (1954). *Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum*. La Houille Blanche: 360-369.
- CRAIG, H. (1961). Standard for reporting concentration of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science*, 133: 1833-1834.
- CRUZ-SANJULIAN, J. y GRANDA, J.M. (1979). Temperatura de base de las aguas termales de la



provincia de Granada. *II Simp. Nac. Hidrogeol.* Pamplona, V: 547-568.

CRUZ-SAN JULIAN, J y MORALES, T. (1985). Termometría geoquímica de aguas termales del País Vasco. *BoL. Geol. Min.*, 96: 50-57.

CRUZ-SAN JULIAN, J., ARAGUAS, L., ROZANSKI, K., BENAVENTE, J., CARDENAL, J., HIDALGO, M.C., GARCÍA-LÓPEZ, S., MARTINEZ-GARRIDO, J.C., MORAL, F. y OLIAS, O. (1992). Sources of precipitation over South-Eastern Spain and groundwater recharge. An isotopic study. *Tellus*, 44B: 226-236.

CUSTODIO, E. (1986). Hidroquímica del Karst. In: *Jorn. Karst en Euskadi*. San Sebastian: 131-179.

CUSTODIO, E. (1989). Consideraciones sobre la sobreexplotación de acuíferos en España. In *"La Sobreexplotación de Acuíferos"* Pulido et al. (Eds.), *Temas Geológico-Mineros*, 10: 43-64.

CUSTODIO, E. (1991). Characterisation of aquifer overexploitation: comments on hydrogeological and hydrochemical aspects: the situation in Spain. *XXXIII IAH Congr.*, I: 3-19.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1983). *Hidrogeología subterránea*. Ed.Omega. Barcelona, 2350 p.

CUSTODIO, E, PONCELA, R, BADIELLA, P y BAYÓ, A. (1992). Técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales aplicadas al estudio hidrogeológico de la Serra Nord de Mallorca. *V Simp. Hidrog.* Alicante: 405-420.

CVIJIC, J. (1918). Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. *Recueil Trav. Inst. Geogr. Alpine*, 6, 4: 376-428.

DANSGAARD, W. (1964). Stable isotopes in precipitations. *Tellus*, 16; 436-468.

DARDER, B. (1933). Algunas observaciones geológicas en La Romana (Provincia de Alicante). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XXXIII: 59-73.

D' AMORE, F., FANCELLI, R. y CABOI, R. (1987). Observations of the application of chemical geothermometers to some hydrothermal systems in Sardinia. *Geothermics*, 16: 271-282.

DELANNOY, J.J. (1987). *Reconocimiento biofísico de espacios naturales de Andalucía, Serranía de Grazalema y Sierra de las Nieves*. AMA y Casa de Velazquez, 50 p.

DE LA TORRE, M.L., GRAND, J.A., SANCHIS, E, MARTÍNEZ-SILVESTRE, J.B., ROMERO, E., GARRIDO, R. y GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, A. (1995). Incidencia medio ambiental de una explotación de aguas salinas en el manantial de Salinetes (Alicante). *V Simp. Hidrog.* Sevilla, XX: 385-399.

DE RUIG, M.J., MIER, R.H. y STEL, H. (1987). Interference of compressional and wrenching in the Alicante region, SE- Spain. *Geologie en Mijnbouw*, 66: 201-212.

DÍAZ DEL OLMO, F. y DELANNOY, J.J. (1989). El Karst en las Cordilleras Béticas: Subbético y Zonas Internas. In: *El Karst en España. Mon. SEG*. Madrid: 175-185.

DIDON, J. (1969). *Étude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale)*. Tesis Univ. Paris 530 p.

DOERFINGLER, N. y ZWAHLEN, F. (1997). EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment. In: *Karst Water Environmental Impacts*. Günay, g. y Johnson A.I. (Eds.) Balkema: 117-123-

DOMÍNGUEZ, P. y CUSTODIO, E. (1994). Aplicación de las técnicas de isótopos estables del agua como apoyo al estudio de los acuíferos del sector noreste del Campo de Dalías (Almería), afectados por intrusión marina. In: *Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas*. Alcalá de Henares: 73-89.

- DREVER, J.I. (1988). *The geochemistry of natural waters*. 2ª Ed. Prentice Hall. New Jersey. 437p.
- DROGUE, C. (1980). Essai d'identification d'un type de structure de magasins carbonatés, fissurés. Application à l'interprétation des certains aspects du fonctionnement hydrogéologique. *Mém. h. sér. Soc. Géol. France*, 11: 101-108.
- DROGUE, C. (1982). L'aquifère karstique: un domaine perméable original. *Le Courrier du CNRS*, 44: 18-23.
- DUBLYANSKY, V. N. (1980). Hydrothermal karst in the alpine folded belt of southern parts of the URSS. *Kras i Speleologia*, 3 (12): 18-36.
- DUCHI, V, MINISSALE, A.A. y PRATI, F. (1987). Chemical composition of thermal springs, cold springs, streams and gas vents in the Mt. Amiata geothermal region (Tuscany, Italy). *J. Volcanol. Geother. Res.*, 31: 321-332.
- DUMAS, B. (1977). *Le Levant Espagnol. La genèse du relief*. Tesis Doct. Univ. Paris XII, 520 p.
- DUPUY DE LOME, E. y NOVO, P. (1917). Estudios hidrogeológicos en la provincia de Alicante. *Bol. IGME*, XXXVIII: 375-405.
- EGELER, C.G. y SIMON, O.J. (1969). Sur la tectonique de la zone bétique (Cordillères bétiques, Espagne). Étude basée sur la recherche dans le secteur compris entre Almería et Velez-Rubio. *Verh. Kon. ned. Akad. Wet. Afd. Nat.* (2), 15-3, 90 p.
- ELLIS, A.J. (1970). Quantitative interpretation of chemical characteristic of geothermal systems. *Geothermics*, 2: 516-568.
- ERHARD-CASSEGRAIN, A. y MARGAT (1983). *Introduction à l'économie générale de l'eau*. Masson. Paris. 361p.
- ESTÉVEZ, A., GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., PINA, J.A. y AUERNHEIMER, C. (1984). Nuevas precisiones estratigráficas sobre el Cretácico Inferior del Cabeço d'Or (provincia de Alicante, Zona Prebética). *Actas I Congr. Esp. Geol.*, Segovia, 5: 189-197.
- ESTÉVEZ, A., PINA, J.A. y LÓPEZ-GARRIDO, A.C. (1986). Aportación al conocimiento neotectónico y sismotectónico del Sudeste de España (provincias de Alicante y Murcia) *In: I Jornadas Estudio del Fenómeno Sísmico y su Incidencia en la Ordenación del Territorio*, MOPU, IGN. Murcia: 285-300.
- EVREN (1989-90). *Estado actual de explotación y posibilidades de actuación en materia de gestión de las reservas hídricas del Acuífero de Crevillente. Actualización hidrogeológica del Acuífero de Crevillente*, 2 mem. Valencia.(informe interno).
- FALLOT, P. (1931) Contribution à l'étude du Jurassique supérieur subbétique. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XXXI: 113-132.
- FALLOT, P. (1932a). Sur la géologie des confins des provinces de Murcie et Alicante. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 194: 114-116.
- FALLOT, P. (1932b). Notes stratigraphiques sur la chaîne subbétique. VI. Sur quelques détails de la stratigraphie de la Sierra de Crevillente. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XXXII: 171-177.
- FALLOT, P. (1945). Estudios geológicos en la zona subbética entre Alicante y el Río Guadiana Menor. *Mem. Inst. Lucas Mallada*, CSIC, 719 p.
- FERNÁNDEZ, J.; AUQUE, L.F.; SÁNCHEZ-CELA, S. y GUARAS, B. (1988). Las aguas termales de Fitero (Navarra) y Arnedillo (Rioja) II. Análisis comparativo de la aplicación de técnicas geotermométricas químicas a aguas relacionadas con reservorios carbonatado-evaporíticos. *Est. Geol.*, 44: 453-469.



- FERNÁNDEZ-GARCÍA, F. (1995). *Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Colección Espacios y Sociedades*. Ed. Síntesis. Madrid, 285 p.
- FIDELIBUS, M.D. y TULIPANO, L. (1986). Mixing phenomena owing to sea water intrusion for the interpretation of chemical and isotopic data of discharge water in the Apulian coastal carbonate aquifer (Southern Italy). *Proc. 9th Salt Water Intrusion Meeting*: 591-600.
- FIDELIBUS, M.D. y TULIPANO, L. (1990). Major and minor ions as natural tracer in mixing phenomena in coastal carbonate aquifers of Apulia. In: Kozerski, B. y Sauriski, A. (Ed.). *Proc. 11th Salt Water Intrusion Meeting*. Gdansk.
- FIGUERAS, F. (1916). *Geografía General del Reino de Valencia*. Alberto Martín (Ed.). Barcelona, 1204 p.
- FLIPSE, W.J. y BONNER, F.T. (1985). Nitrogen-Isotope Ratios of Nitrate in Ground Water Under Fertilized Fields, Long Island, New York. *Ground Water*, 23 (1): 59-67.
- FLIPSE, W.J. KATZ, B.G., LINDNER, J.B. y MARKEL, R. (1984). Sources of nitrate in ground water in a sewered housing development, Central Long Island, New York. *Ground Water*, 4: 418-426.
- FONTES, J. (1976). *Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles: quelques aspects*. Tesis Doct. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 221 p.
- FONT, I. (1983). *Climatología de España y Portugal*. INM, MTTC. Madrid. 296 p.
- FONTBOTÉ, J.M. (1970). Sobre la historia preorogénica de las Cordilleras Béticas. *Cuad. Geol. Univ. Granada*, 1: 76-78.
- FORD, D. y WILLIAMS, P. (1989). *Karst geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman, London, 601 p.
- FOUCARDE, E. (1970). Le Jurassique et le Crétacé aux confins des chaînes bétiques et ibériques. Tesis Doct. Univ. Paris, 427 p.
- FOUCAULT, A. (1964). Sur les rapports entre les zones prebétiques et subbétiques entre Cazorla (prov. Jaen) et Huescar (prov. Grenade, Espagne). *Geol. Mhnbn.*, 43: 268-272.
- FOUCAULT, A. (1971). *Étude géologique des environs des sources du Guadalquivir (provinces de Jaen et de Grenade, Espagne méridionale)*. Tesis Doct. Univ. Paris VI, 633 p.
- FOUILLAC, C. y MICHARD, G. (1981). Sodium/Litium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs. *Geothermics*, 10: 55-70.
- FOUILLAC, C., FOUILLAC, A.M. y CRIAUD, A. (1989). Étude isotopique du soufre des sulfures et des sulfates dans l'aquifère géothermal du Dogger, Bassin parisien. *Hydrogéologie*, 3: 219-227.
- FOURNEAUX, J. CL., LANDRU, B. y SOMMERIA, L. (1990). La karstification profonde dans le Jura à partir des observations faites lors du percement du tunnel du LEP (Ain et canton de Genève). *Karstologia*, 16: 1-8.
- FOURNIER, R.O. (1973). Silica in thermal water: laboratory and field investigations. In: *Proc. Intern. Symp. Hydrogeochem. Biogeochem.*, Japan, 1970: Vol. 1 Washington, D.C, The Clark Company: 122-139.
- FOURNIER, R.O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5: 41-50.
- FOURNIER, R.O. y TRUESDELL, A.H. (1970). Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot springs waters of Yellowstone National Park (Wyoming, USA). *Geothermics*, 2:529-535.

- FOURNIER, R.O., WHITE, D.E. y TRUESDELL, A.H. (1974). Geochemical indicators of subsurface temperatures: Part 1. Basic assumptions. *J. Res. U.S. Geol. Survey*, 2: 263-270.
- FOURNIER, R.O. y POTTER, R.W. II (1979). A magnesium correction for the Na-K-Ca geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 1543-1550.
- FUSTER, J. (1981). Sobreexplotación de acuíferos de la provincia de Alicante. Posibles medidas a adoptar. *4ª Conf. Nac. Hidrogeol. Gen. y Aplicada*. Zaragoza.
- GALLEGO, I.C., GARCÍA DE DOMINGO, A. y LÓPEZ OLMEDO, F. (1981). Mapa y memoria explicativa de la hoja 870 (Pinoso) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000. Plan MAGNA, IGME.
- GARAY, P. (1983). *Estudio geomorfológico del macizo kárstico del Monduver (Provincia de Valencia)*. Tesis Lic. Univ. Granada, 110 p.
- GARAY, P. (1985). Tasas de disolución kárstica actual en el País Valenciano. *I Cong. Geoquímica*. Soria: 151-152.
- GARAY, P.; OBARTÍ, F.J. y MORELL, I. (1988). Dissolution-rates in spanish karst region. *In: Karst Hydrogeology and Karst Environment protection. IAH 2st Congr. Guilin*. China: 276-280.
- GARCÍA CODRÓN, J.C. (1989). La influencia del clima *In: El Karst en España*: 73-82 p.
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. y PEIJA, A. (1994). *Tiempo y clima en España: meteorología de las autonomías*. Ed. Dossat 200, Madrid, 410 p.
- GARCÍA DUEÑAS (1967). *La Zona Subbética al N de Granada*. Tesis Doct. Univ. Granada, 417 p.
- GARCÍA FERNÁNDEZ, J y MARCO, J.A. (1989). *La Sierra del Cid (Alicante) como morfoestructura*. Inst. Univ. Geogr. Univ. Alicante, 95 p.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, M. (1979). Les faciès urgoniens pendant la sédimentation Barrémo-Albiennse dans les sierras de Cazorla et du Segura (Zone Prebétique. SE de l'Espagne). *Geobios. Mem. Esp.*, 3: 57-69.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, M., MOLINA, J.M., RUIZ-ORTIZ, P.A. VERA, J.A. (1988). Acuñaamientos y geometrías sigmoidales en calizas pelágicas rojas del Jurásico de la Sierra de Reclot (Prov. de Alicante). *Congr. Geol. Esp. Comunicaciones*, 1: 83-86.
- GASCÓN, M.E. (1992). *Estudio sobre las aguas mineromedicinales del establecimiento del Balneario de Busot (Alicante)*. Tesis de licenciatura Univ. Compl. Madrid, 185 p.
- GAT, J.R. (1980). The isotopes of hydrogen and oxigen in precipitation. *In: Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Fontes, J. Ch. and Fritz, P. (Ed.), 1:21-47.
- GEZE, B. (1965). *La spéléologie scientifique*. Ed. Seuil, Paris, 190 p.
- GIGGEMBACH, W.F., GONFIANTINI, R., JANGI, B.L. y TRUESDELL, A.H. (1983). Isotopic and chemical composition of Partoati Valley geothermal discharges, N. W. Himalaya, India. *Geothermics*, 12: 199-222.
- GIMÉNEZ, E. (1994). *Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón (España)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 390 p.
- GIMÉNEZ E, y MORELL, I. (1997). Hydrochemical analysis of salinization processes in the coastal aquifer of Oropesa (Castellón, Spain). *Environ. Geol.*:11-131.
- GLICK, T.F. (1970). *Irrigation and Society in Medieval Valencia*. Harvard University Press: 182-184.
- GOLLONET, F.J. y CASTILLO, E. (1986). Climatología del Norte de la Provincia de Almería.

Consideraciones sobre el cálculo de lluvia útil en clima árido y semiárido. *El Agua en Andalucía*. Granada, II: 601-617.

GÓMEZ, I, PEDREÑO, J y MATAIX, J. (1993). *Aguas de riego: análisis e interpretación*. CAM-Univ. Alicante, 63 p.

GONFIANTINI, R., ARAGUÁS, L. y ROZANSKI, K. (1990). Tritium in precipitation comparison between the years of high tritium (1963-68) and recent years. *Bull. of Radiation Protection*, 13 (1), 6 p.

GONZÁLVEZ, V. (1977). *El Bajo Vinalopó, Geografía Agraria*. Univ. Valencia 218 p.

GOUIN, J. (1988). L'essai par pompage en aquifère karstique pour l'identification de la structure du milieu: analyse comparative d'un grand nombre de cas. *Hidrogeología*, 3: 51-62.

GRANIER, B. (1986). Algues chlorophyceae du Jurassique terminal et du Crétacé inférieur en Alicante. *Mediterránea Ser. Geol.*, 5: 5-95.

GRANIER, B. (1987). *Le Crétacé inférieur de la Costa Blanca et Altea, Alicante (Espagne): Biostratigraphie, Sédimentologie et Evolution tectono-sédimentaire*. Tesis Doct. Univ, Paris, 273 p.

GRILLOT, J. BOUSQUET, J. PHILIP, H. y DAZY, J. (1983). Hydrothermalisme carbo-gazeux, radioactivité et sismotectonique: exemple du Languedoc. Rousillon (France). *Hydrogéologie-Géologie de l'ingénieur*, 4: 313-320.

GRILLOT, J. y BLAVOUX, B. (1986). Approche géologique et géochimique des eaux minérales carbo-gazeuses: quelques exemples du SE de la France (eaux minérales carbo-gazeuses). *J. Français Hydrol.*, 17, 3: 263-272.

GUALDA, C.E. (1988). *La Sierra de Mariola, aspectos geomorfológicos y biogeográficos*. Tesis de Lic. Univ. Alicante, 268 p.

HANSHAW, B.B. y BACK, W. (1979). Major geochemical processes in the evolution of carbonate-aquifer systems. *J. Hydrol.*, 43: 287-312.

HARDER, H. (1974). Boron. In: *Handbook of Geochemistry*. Wedepohl, K.H. (Ed.) Chap. 5 (B-O). Springer-Verlag Berlin-Heidelberg.

HARRIS, W.H. y MATTHEWS, R.K. (1968). Subaerial Diagenesis of carbonate sediments: Efficiency of the Solution-Reprecipitation process. *Science*, 160: 77-79.

HARVEY, J.P. (1981). *Groundwater extraction and radon anomalies in the Pícaho Area, South-central Arizona*. Tesis Maestría. Univ. Arizona, 120 p.

HAUCK R.D. y BREMNER, J.M. (1976). Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Adv. Agron.*, 28: 219-266.

HEM, J.D. (1970). Study and Interpretation of the chemical characterists of natural water. *Geol. Surv. Water-Supply Paper 1473*, 2ª ed. ampliada, Washington, 363 p.

HERAK, H. y STRINGFIELD, V.T. (1972). *Karst. Important karst regions of the northern hemisphere*. Elsevier, Amsterdam, 551 p.

HESS, C.T., CASPARIUS, R.E., NORTON, S.A. y BRUTSAERT, W.F. (1978). Investigation of natural levels of <sup>222</sup>Rn in groundwater in marine for assessment of relate health effects. In: *Natural radiation environment III*, Houston.

HOLDWORTH, G. FOGARASI, S. y KROUSE, H. (1991). Variation of the stable isotopes of water with altitude in the Saint Elias Mountains of Canada. *J. Geophys. Res.*, 96-D4: 7483-7494.

- HOWARD, K.W.F. y LLOYD, J.W. (1983). Major ions characterization of coastal saline ground waters. *Ground Water*, 21 (4): 429-437.
- IAEA (1967). Tritium and other environmental isotopes in the hydrological cycle. *Technical Reports Serie*, 73. Viena, 83 p.
- IAEA (1968). *Guidebook on nuclear techniques in hydrology*. Viena, 215 p.
- IAEA (1981). *Stable Isotope Hydrology. Deuterium and Oxigen-18 in the water cycle*. Technical Report. Serie 210 Viena, 337 p.
- IARA (1989). *Caracterización Hidrogeoquímica del Campo de Dalías (Almería)*. Servicio de Estudios e Informes del IARA, Granada, 265 p.
- IGME-IRYDA (1978a). *El Prebético de la provincia de Alicante*. PIHCBS, PNIAS, Informe técnico nº 7, 200 p.
- IGME-IRYDA (1978b). *El sistema hidrogeológico de Quibas*. PIHCBS, PNIAS, Informe técnico nº 9, 48 p.
- IGME-IRYDA (1979). *Análisis de la problemática hídrica de la cuenca del Vinalopó*. Alicante. 110 p. (inédito).
- IGME-IRYDA (1982). *Estudio de la infraestructura hidráulica de la cuenca del Vinalopó*. Alicante. (inédito).
- IGME-DIP. ALICANTE (1982). *Las aguas subterráneas de la provincia de Alicante*. Pub. Int. 754p.
- IGME (1987). *Estudio hidrogeológico para la mejor gestión del Acuífero del Cabezón del Oro (Alicante)*. Informe técnico interno, 51 p.
- IÑESTA, M. (1988). Braquiópodos del Cerro de la Cruz (La Romana, provincia de Alicante, España). *Mediterránea Ser. Geol.*, 7: 45-64.
- ITGE-DIP. ALICANTE (1992). *Mapa del Agua de la provincia de Alicante*. Esc. 1:150.000.
- ITGE (1996). *Evaluación de las disponibilidades hídricas y generación de series históricas en el Acuífero jurásico de Cabezón de Oro (Alicante)*, 43 p.
- JACOB (1946). Radial flow in a leaky artesian aquifer. *Tranns. Am. Geophys. Union*, 27: 198-205.
- JEANNIN, P.Y., KIRALY, L. y DOERFLIGER, N. (1993). *Concept de vulnérabilité des aquifères karstiques*. CHYN. Service Hydrologique et Géologique National. Berne: 26 p.
- JEREZ, F. (1979). Contribución a una nueva síntesis de las Cordilleras Béticas. *Bol. Inst. Geol. Min. España*, 90, 4: 503-555.
- JEREZ, L. (1973). *Geología de la Zona Prebética en la transversal de Elche de la Sierra y sectores adyacentes (provincias de Albacete y Murcia)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 750 p.
- JEREZ, L. (1981). *Estudio geológico, geotécnico y tectosedimentario de la Zona Prebética en relación con las demás cordilleras Béticas e Ibérica*. IGME Madrid, 192 p.
- JIMÉNEZ DE CISNEROS, D. (1904-35). *Geología y paleontología de la provincia de Alicante*. Edición de las principales publicaciones.
- JUÁREZ, C. (1989). Recursos hídricos y demanda de agua en la provincia de Alicante. *In: El Reto del Agua*: 11-103.
- JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J.M., RIBEIRO, A. y CONDE. L.E.N. (1977). *Mapa tectónico de la*

*Península Ibérica y Baleares*, Escala 1:1.000.000. IGME.

KAPLAN, N. y MAGARITZ, M. (1986). A nitrogen-isotope study of the sources of nitrate contamination in groundwater of the pleistocene coastal plain aquifer, Israel. *Wat. Res.*, 20-2: 131-135.

KEITH T.E.C.; THOMPSON, J.M. y MAYS, R.E. (1983). Selective concentration of cesium in analcime during hydrothermal alteration. Yellowstone National Park, Wyoming: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 795-804.

KESSLER, H. (1965). Water balance investigations in the karstic regions of Hungary. *Act. Coll. Dubrovnik*, AIHS-UNESCO, 1: 91-105.

KHARAKA, Y.K., SPECHT, B. J. y CAROTHERS, W. W. (1985). Low to intermediate subsurface temperatures calculated by chemical geothermometers. *AAPG, Annual Convention. Book of Abstracts*. New Orleans: 24-27.

KHARAKA, Y.K. GUNTER, W. AGGARWAL, P., PERKINS, E y DEBRAAL, J. (1988). *Solmineq.88, a computer code for geochemical modeling of water-rock interactions*. U.S. Geol. Surv., Open File Report, 419 p.

KHARAKA, Y.K. y MARINER, R.H. (1989). Chemical geothermometer and their application to formations waters from sedimentary basins. In: *Thermal History from Sedimentary Basins*. Naeser, N.D. and MacCullon, T. Spring Verlag, New York: 319-324.

KHOL, D.H., SHEARER, G.B. y COMMONER, B. (1971). Fertilizer nitrogen: contribution to nitrate in surface water in a corn belt watershed. *Science*, 178: 1331-1334.

KIRALY, L (1975). Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques In: *Hydrogeology of karstic terrains. Int. Union Geol. Sci.*, B, 3: 53-67.

KIRALY, L. y MOREL, G. (1976). Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simule par modèles mathématiques. *Bull. Centre d'Hydrogéologie Neuchâtel*, 1: 37-60.

KOGA, A. (1957). Chemical studies on hot spring of Beppu: *Nippon Kagaku Zasshi*, 78: 1713-1725.

KREITLER, C.W. (1979). Nitrogen-isotope ratio studies of soils and groundwater nitrate from alluvial fan aquifers in Texas. *J. Hydrology.*, 42: 147-170.

KREITLER, C.W. y JONES, D.C. (1975). Natural soil nitrate; the cause of the nitrate contamination in Runnels County, Texas. *Ground Water*, 13: 53-61.

KROUSE, H.R. (1980). Sulphur isotopes in our environment. In: *Handbook of Environmental isotope geochemistry* (Eds.. Fritz, P. and Fontes, J.Ch.) Elsevier, 1: 435-471.

KULLMAN, E. (1965). La circulation des eaux karstiques dans les complexes carbonatés et son bilan quantitatif. *Coll. Hydrog. des roches fissurés*. Dubrownik, 1:152.160.

LECLERC, J. (1971). *Étude géologique du massif du Maigmo et de ses abords (province d'Alicante-Espagne)*. Tesis 3<sup>er</sup> ciclo. Géologie Structurale. Paris, 128 p.

LECLERC, J. y AZEMA, J. (1976). Le Crétacé dans la région d'Agost. Province d'Alicante. Espagne et ses accidents sedimentaires. *Cuad. Geol.*, 7: 35-51.

LEGRAND, H.E. y STRINGFIELD, V.T. (1966). Development of permeability and storage in the Tertiary limestones of the southeastern states, USA. *Int. Ass. Sci. Hydrol. Bull.*, 11(4):61-73.

LEGRAND, H.E. y STRINGFIELD, V.T. (1971). Development and distribution of permeability in



- carbonate aquifers. *Water Res. Research*, 7-5:1284-1294.
- LERET, G. y LENDÍNEZ, A. (1972). Mapa y memoria explicativa de la Hoja 872 (Alicante) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Plan MAGNA, IGME.
- LERET, G., NUÑEZ, A., COLODRÓN, I. y MARTÍNEZ DEL OLMO, W. (1976). Mapa y memoria explicativa de la Hoja 871 (Elda) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 Plan MAGNA, IGME.
- LÉTOLLE, R. (1980). Nitrogen-15 in the natural environment. *In: Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Fritz P. and Fontes J. Ch. (Ed.) Elsevier: 407-433.
- LILLO, J. (1973a). *Estudio paleontológico y geológico del Jurásico y del Cretácico inferior del Sur de la Provincia de Alicante*. Tesis. Doct. Univ. Compl. Madrid, 216 p.
- LILLO, J. (1973b). Contribución al conocimiento geológico de la Sierra del Cabeçó d'Or (Busot-Alicante). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 71: 281-305.
- LILLO, J. (1976). Ammonites del Oxfordense superior y Kimmeridgiense de la Sierra de Crevillente (Alicante). *Bol. Geol. Min de España*, 87: 462-479.
- LIMIÑANA, P. (1983). *Pretérito y presente de nuestra villa: Monforte del Cid*. Public. Caja Ahorros Provincial. Alicante. 180 p.
- LLAMAS M.R. (1992). La surexplotation des aquifères: aspects techniques et institutionnels. *Hydrogéologie*, 4: 139-141.
- LLAURADÓ, A. (1884). *Tratado de Aguas y Riegos*. 2 vol. Madrid. 1132 p.
- LLAVADOR, F., PINA, J.A. y AUERNHEIMER, C. (1983). Discriminación geoquímica de algunas facies del Cretácico (Albense) en el sector oriental de la Zona Prebética (provincia de Alicante). *Mediterránea Ser. Geol.*, 1: 31-69.
- LLOID, J.W. y HEATHCOTE, J.A. (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction*. Ed. Clarendon Press. Oxford. 296 p.
- LÓPEZ ARECHAVALA, G. (1983). "Programa THORDIA para cálculo automático de lluvia útil, infiltración y escorrentía diarias. Aplicación al Sistema acuífero del Campo de Níjar (Almería). *III Simp. Hidrogeol.* Madrid.
- LÓPEZ CADENAS, F. (1988). *Corrección de torrentes y estabilización de cauces*. FAO, 182 p.
- LÓPEZ LIMIA, B. y LÓPEZ BERMUDEZ, F. (1987). Geomorfología del Karst de Pinar Negro (Sierra de Segura-Jaén). *Lapiáz*. Monografía II. Valencia, 55 p.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. y LÓPEZ LIMIA, B. (1989). Geomorfología del Karst Prebético. Cordilleras Béticas. *In: El Karst en España. SEG*, 4: 187-200.
- LÓPEZ CASADO, C, ESTÉVEZ, A., PINA, J.A. y SANZ DE GALDEANO, C. (1987). Alineaciones sismotectónicas en el sudeste de España. Ensayo de delimitación de las fuentes sísmicas. *Mediterránea, Ser. Geol.*, 6: 5-38.
- LÓPEZ CHICANO, M. (1992). Hidrogeología del Acuífero Kárstico de Sierra Gorda. Tesis Doct. Univ. Granada, 458 p.
- LORENZ, P.J., RODENBERG, O.D., SHADLE, L.G., ANTES, C. y HESS, D. (1961). Background Radioactivity in the Decorah Fault region. *Iowa Acad. Sci.*, 68: 397-403.
- LÓPEZ VERA, F. y SAIZ, J. (1976). Evaluación de recursos hídricos subterráneos en regiones kársticas semiáridas. *Bol. Geol. y Min.*, 87-88: 274-283.



- LOUIS, C. (1974). Introduction à l'hydraulique des roches. Bull. BRGM, Ser. 3, 4.
- MADOZ, P. (1842-50). *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de Alicante, Castellón y Valencia*. 2ª Ed. facsímil. Inst. Alfons El Magànim. Excma. Dip. Prov. Valencia, 1987.
- MANGIN, A. (1975). *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques*. Tesis Doct. Univ. Dijon. *Ann. Spéléol.* (3 art.). 29, 3: 283-332; 29, 4: 495-601; 39, 1: 21-124.
- MANGIN, A. (1984). Écoulement en milieu karstique. *Ann. des Mines*: 1-8.
- MARGAT, J. (1969). *Ressources en eaux souterraines et bilan de nappes*. 69 SGL 208 HYD. BRGM.
- MARGAT, J. (1977). De la surexploitation des nappes souterraines. *Coll. nat. eaux souterraines et approvisionnement en eau de la France*, 2. Nice Ed. Orléans: 393-408.
- MARGAT, J. (1991). La sobreexplotación de acuíferos. Su caracterización a nivel hidrogeológico e hidroquímico. *XXIII AIH Congr. Canary (Spain)*, I: 21-33.
- MARGAT, J. y SAAD, K.F. (1982). Utilisation des ressources fossiles. Analyse de cas historiques. *Bull BRGM*, (2), III, 3: 289-304.
- MARINI, L.; CHIODINI, G. y DIONI, R. (1986). New geothermometers for carbonate-evaporite geothermal reservoirs. *Geothermics*, 15 (1): 77-86.
- MARIOTTI, A. y LETOLLE, R. (1977). Application de l'étude isotopique de l'azote en hydrologie et hydrogéologie-Analyse des résultats obtenus sur un exemple précis: le Bassin de Melarchez (Seine et Marne, France). *J. Hydrogeology*, 33: 157-172.
- MARTÍN, J.M. (1979). La dolomitización basal del Lías inferior subbético. *Cuad. Geol.*, 10: 583-589.
- MARTÍN, J.M. (1980). *Las dolomías de las Cordilleras Béticas*. Tesis Doct. Univ. Granada, 210 p.
- MARTÍN ALGARRA, A. (1987). *Evolución geológica alpina del contacto entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doct. Univ. Granada, 1171 p.
- MARTÍN ALGARRA, A., SORIA MINGORANCE, J.M. y VERA, J.A. (1989). Paleokarsts mesozoicos y terciarios en la Cordillera Bética. In: *El Karst en España*, 4, SEG Madrid: 299-308.
- MARTÍN ROSALES, W. (1997). *Efecto de los diques de retención en borde meridional de la Sierra de Gador (Almería)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 266p.
- MARTÍNEZ DEL OLMO, W., LERET, G. y SUAREZ, J. (1986). La estructuración diapírica del sector Prebético. *Geogaceta*, 1: 43-44.
- MAS, P. (1984). *Hidrogeología del acuífero kárstico de la Sierra de Crevillente*. Mem. Lab. Hidrogeol. Univ. Granada. 160 p. (inédito).
- MATHEY, B. y SIMEONI, G. (1971). Estimation de la perméabilité en terrains calcaires par essais d'injection d'eau. *Actes Congrès d'Hydrologie en Pays Calcaire*, Besançon: 165-175.
- MAZOR, E. (1991). *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology*. Ed. Open University Press. England. 274 p.
- MEYBECK, M. (1984). *Les fleuves et le cycle géochimique des éléments*. Tesis Doct. Sci. Nat., Univ. Pierre et Marie Curie, Paris-6, 506 p.
- MICHARD, G. (1979). Géothermomètres chimiques. *Bull. du BRGM*, 2ª Ser. Sec. III, 2: 183-189.
- MILANOVIC, P. (1981). *Karst hydrogeology*. WRP, 434 p.

- MIJATOVIC, B. (1974). Determination de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement par la courbe de tarissement dans les aquifères karstiques. *Mém. AIH. Congr. Montpellier*. X.1: 225-230.
- MOLINA, J.M. (1987). *Análisis de facies del Mesozoico en el Subbético Externo*. Tesis Doct. Univ. Granada, 518 p.
- MOLINA, J.M. RUÍZ-ORTÍZ, P.A. y VERA, J.A. (1986-87). Capas de tormentas (tempestitas) en el Jurásico del Subbético Externo (Cordilleras Béticas). *Acta Geol. Hispánica*, 21-22: 167-175.
- MOPU (1989). *Estudio de actualización de la explotación, inventario de puntos de agua y propuesta de ordenación de las extracciones del Acuífero Sierra de Crevillente*. DGOH. Valencia, 31 p.
- MONTENAT, Ch. (1973). *Les formations néogènes et quaternaires du Levant Espagnol*. Tesis Doct. Univ. Paris-Orsay, 1170 p.
- NACIONES UNIDAS (1991). *Taller interregional sobre Sobreexplotación de aguas subterráneas en países en vías de desarrollo*. Naciones Unidas. DCTE. Barcelona. Informe UN INT/90/R3, 125 p.
- MOOK, W.G. (1970). Stable carbon and oxygen isotopes of natural waters in the Netherlands. *Isotope Hydrology*. AIEA. Viena, pp 163-190.
- MOSELEY, F., CUTTELL, J.C., LANGE, E.W., STEVENS, D. y WARBRICK, J.R. (1981). Alpine tectonics and diapiric structures in the Pre-Betic Zone of southeast Spain. *J. Struct. Geol.* 3: 237-251.
- MÜNNICH. K.O. (1957). Messung des  $^{14}\text{C}$  Gehaltes von hartem Grundwasser. *Naturwiss*, 44, 32.
- MURCIA, A. y MIRA, F. (1981). Problemas de la sobreexplotación de acuíferos. *4ª Conf. Nac. Hidrol. Gen. Aplic.*, Zaragoza: 79-109.
- NAVARRO, A. (1989). La sobreexplotación de las aguas subterráneas. Un concepto frecuentemente mal interpretado. In *"La Sobreexplotación de Acuíferos"* A. Pulido *et al.*, (Eds.), Temas Geológico-Mineros, 10: 413-428.
- NAVARRO, A. (1991). Cambios en la calidad y en la cantidad de las aguas subterráneas por efecto de las sequías. *R. Acad. Cien. Exac., Fis. y Nat.* Madrid, LXXXV: 387-411.
- NAVARRO, A. y TRIGUEROS, E. (1966). *Estudio hidrogeológico para la Sociedad "La Salud de San Antonio, S.A."*. Madrid, 41p. (informe inédito).
- NAZAROFF, W.W., DOYLE, S.M., NERO, A.V. y SEXTRO, R.G. (1987). Potable water as a source of airborne  $^{222}\text{Rn}$  in U.S. dwellings: a review and assessment. *Health Phys*, 52 (3): 281-295.
- NICKLES, R. (1891). *Recherches géologiques sur les terrains secondaires et tertiaires de la province d'Alicante et sud de la province de Valence (Espagne)*. Tesis Doct. Univ. Paris, 214 p.
- NICKLES, R. (1896). Nota acerca de los terrenos secundarios de las provincias de Murcia, Almería, Granada y Alicante. *Bol. Com. Mapa geol. Esp.*, XXIII: 145-149.
- NIETO, L.M., MOLINA, J.M. y RUIZ-ORTIZ, P.A. (1994). El talud submarino de transición entre el Dominio Intermedio y el Subbético Externo durante el Jurásico (La Mola de Novelda, prov. de Alicante). *Geogaceta*, 16:70-73.
- NIETO, L.M. (1996). *La cuenca subbética mesozoica en el sector oriental de las Cordilleras Béticas*. Tesis Doct. Univ. Granada, 556 p.
- NIEWODNICZANSKI, J. GRABCZAK, J. BARANSKI, W. y RZEPKA (1981). The altitude effect on the isotopic composition of snow in high mountains. *J. Glaciol.*, 27: 99-111.

- NOVO, P. (1915). Reseña geológica de la provincia de Alicante. *Bol. Inst. Geol. Min. Esp.*, T XXXVI, 57-148.
- OLCINA, J. (1994). *Tormentas y granizadas en las tierra alicantinas*. Inst. Univ. Geogr. Univ. de Alicante, 317 p.
- OLIVER, L. (1985). *Estudio hidrogeológico de la Sierra del Cid*. Dpto. Hidrog. Univ. Granada, 64 p. (inédito).
- ORTÍ, F. (1974). El Keuper del Levante Español. *Est. Geol.*, 30: 87-151.
- PADILLA, A. (1990). *Los modelos matemáticos aplicados al análisis de los acuíferos kársticos*. Tesis Doct. Univ. Granada, 267 p.
- PADILLA, A. y PULIDO-BOSCH, A. (1985). Programas para elaboración y tratamiento de datos climatológicos de interés en Hidrogeología. *Cuad. Geol., Univ. Granada*, 12: 187-200.
- PADILLA, A. y PULIDO-BOSCH, A. (1986). Programa EVADIA para la estimación automática de la lluvia útil a nivel diario. *II Simp. Agua en Andalucía*. Granada: 631-636.
- PAQUET, J. (1969). Étude géologique de l'Ouest de la province de Murcie (Espagne). *Mém. Soc. Géol. France*, 3: 1-270.
- PANAREDA, J.M. y NUET, J. (1980). El clima, les aigües del Països Catalans *In: Geografia física dels Països catalans*. Ed. Ketres, 226 p.
- PEARSON, F.J. y HANSHAW, B.B. (1970). Sources of dissolved carbonate species in ground water and their effects on carbon-14 dating: Isotopes in Hydrology. *Proc. Symp. IAEA*, Viena: 271-286.
- PÉREZ CUEVA, A.J. (1994). Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990). Colección "Territori" nº 4 Generalitat Valenciana. COPUT, 205 p.
- PIERRE, C. (1982). *Teneurs des isotopes stables ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta^2H$ ,  $\delta^{34}S$ ) et conditions de genèse des évaporites marines: application à quelques milieux actuels et au Messinien de la Méditerranée*. Tesis Doct. Univ. Paris-Sud, Centre Orsay, 222 p.
- PIGNATELLI, R., ESPEJO, J.A. y CRESPO, A. (1972). Mapa y memoria explicativa de la Hoja 893 (Elche) del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50000. Plan MAGNA, IGME.
- PILOT, J., RÖSLER, H.V. y MÜLLER, P. (1972). Zur geochemischen Entwicklung des Meereswasser und mariner Sedimente im Phanerozoikum mittles Untersuchungen von S-, O- und C- Isotopen. *Neue Bergbautech.*, 2: 161-168.
- PINA, J.A. (1986). *Caracterización geoquímica de medios sedimentarios del Cretácico en el Prebético Interno Oriental*. Tesis Doct. Univ. Alicante. 231 p.
- PLATA, A. (1972). *Isótopos en Hidrología*. Ed. Alhambra, S.A. Madrid, 328 p.
- PLUMMER, L.N., VAHCER, H.L., MACKENZIE, F.T., BRICKER, O.P. y LAND, L.S. (1976). Hydrogeochemistry of Bermuda: A case history of ground-water diagenesis of biocalcarenes. *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 87: 1301-1316.
- POHL-RÜLING, J., STEINHAUSLER, F. y POHL, E. (1982). Radiation exposure and resulting risk due to residence and employment in a radon spa. *In: Natural Radiation Environment*. Vohra, et al., (Eds.): 107-113.
- POLVECHE, J. (1963). Les extrusions de la région de Busot et le problème de la limite entre Prébétique et Subbétique dans la région d'Alicante (Espagne). *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.* 5 V. fasc. 3: 203-210.

PONCELA R., MANZANO, M. y CUSTODIO (1992). Medidas anómalas de tritio en el área de Doñana. *V Simp. Hidrog.*, Alicante: 351-365.

POMEROL, C. y RICOUR, J. (1992). *Terroirs et Thermalisme. Les eaux minérales françaises*. BRGM. Orleans, 279 p.

PULIDO-BOSCH. A. (1979). Contribución al conocimiento de la Hidrogeología del Prebético Nororiental (prov. de Valencia y Alicante). *Mem. Inst. Geol. Min. España*, Madrid, 95, 410 p.

PULIDO-BOSCH. A. (1980). *Estudio hidrogeológico preliminar del sector Aspe-Macisvenda-Pinoso-Monóvar (Provincia de Alicante)*. Cátedra de Hidrogeología Univ. Granada, 42 p.

PULIDO-BOSCH, A. (1985). L'exploitation minière de l'eau dans l'aquifère de la Sierra de Crevillente et ses alentours (Alicante, Espagne) *"Hydrogeology in the Service of Man. 18th Cong. IAH*, Cambridge: 142-149.

PULIDO-BOSCH, A. (1986). Reflexiones sobre hidrogeología kárstica basados en ejemplos de la Cordilleras Béticas. *In: El karst en Euskadi*. San Sebastián: 31-50.

PULIDO-BOSCH, A. (1988). La surexploitation de certains aquifères karstiques d'Alicante (Est de l'Espagne). *Bull. Centre Hydrog. Univ. Neuchâtel*, 8: 49-60.

PULIDO-BOSCH, A. (1991). The overexploitation of some karstic aquifers in the province of Alicante (Spain). *XXIII Congr. A.I.H. "Sobreexplotación de acuíferos"*: 557-561.

PULIDO-BOSCH, A. (1993). Sobreexplotación y Contaminación acuíferos. *In: Problemática Geoambiental y desarrollo. V Reun. Nac. Geol. Amb. Ord. Territ. Murcia*, 1: 75-92.

PULIDO-BOSCH, A. (1995). Implicaciones de la utilización intensiva de las aguas subterráneas y la sobreexplotación de acuíferos en la gestión actual y futura, desde el punto de vista del administrado. *In: Las Aguas Subterráneas en la Ley de Aguas Española: un Decenio de Experiencia*. Murcia: 179-190.

PULIDO-BOSCH. A. y FERNÁNDEZ RUBIO, R. (1981). El acuífero kárstico de la Sierra de Crevillente y sectores adyacentes: un ejemplo de explotación de reservas. *4ª Conf. Nac. Hidrol. Gen. y Aplic.*: 143-153.

PULIDO-BOSCH, A. y CERÓN, J. M (1991). Variaciones hidrogeoquímicas de periodicidad anual en surgencias kársticas. Ejemplo del manantial de La Yedra (Málaga). *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 4, 1-2: 51-59.

PULIDO-BOSCH, A., SÁNCHEZ, F., PADILLA, A., NAVARRETE, F, MARTÍNEZ-VIDAL, J.L., AGUILERA, P. GARRIDO, A y PÉREZ-PARRA, J. (1992). Considérations hydrochimiques sur le thermalisme dans les matériaux carbonatés du bas et moyen Andarax (Almería, Espagne). *5ème. Coll. Hydrol Pays Calcaire*. Neuchâtel, 1: 215-232.

PULIDO-BOSCH A., DE SIMÓN, E. MARTÍN-ROSALES, W., VALLEJOS, A., PADILLA, A. y, NAVARRETE, F. (1993). Efectos sobre el medio de los diques de retención en la vertiente Sur de la Sierra de Gádor (Almería). *V Reun. Nac. Geol. Amb. y Territ. Orden. Murcia "Problemática Geoambiental y Desarrollo"*. I pp. 119-128.

PULIDO-BOSCH, A., ANDREU, J.M. y ESTÉVEZ, A. (1995). Karstification and recent evolution of a small overexploited karstic aquifer (Cabeçó d'Or, Alicante, Spain). *Hidrogeologie*, 3: 31-37.

PULIDO-BOSCH, A., MORELL, I. y ANDREU, J.M. (1995). Hydrogeochemical effects of groundwater mining of the Sierra de Crevillente Aquifer (Alicante, Spain). *Environ. Geol.*, 26: 232-239.

PULIDO-BOSCH, A., MORELL, I. y ANDREU, J.M. (1996). Modifications hydrogéochimiques



- provoqués par la surexploitation d'un aquifère karstique. *C.R. Acad. Paris*, 323 (II) a: 313-318.
- RAMÓN, A. (1994). Aplicación de riego localizado y economía del agua en la modernización de la agricultura valenciana. *Bol. AEG*, 18: 97-110.
- RAMÓN, A., RICO, A. y OLCINA, J. (1990). El cultivo de la uva de mesa en el Medio Vinalopó: recursos hídricos y riegos localizados de alta frecuencia. *Cuad. Geogr. Univ. Alicante*, : 59-83.
- REED, M. y SPYCHER, N. (1984). Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 1479-1492.
- RENARD, M. (1985). *Géochimie des carbonates pélagiques: mise en évidence des fluctuations de la composition des eaux océaniques depuis 140 MA: essai de chimiostratigraphie*. Documents du BRGM n° 85, 650 p.
- RICO, A.M. (1994). *Sobreexplotación de aguas subterráneas y cambios agrarios en el alto y medio Vinalopó (Alicante)*. Tesis Doct. Univ. Alicante, 276 p.
- RIGHTMIRE, C.T. y HANSHAW, B.B. (1973). Relationship between the carbon isotope composition of soil CO<sub>2</sub> and dissolved carbonates species in groundwater. *Water Res. Research*, 9 (4): 958-967.
- RISACHER, F. y FRITZ, B. (1984). Origine des concentration extrêmes en bore et lithium dans saumures de l'Altiplano bolivien, *C.R. Acad. Sci. Paris*, 299 (II, 11): 701-706.
- RISACHER, F. y FRITZ, B. (1991). Geochemistry of Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: Origin of solutes and brine evolution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 687-705.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (1977a). Síntesis geológica del Prebético de la provincia de Alicante I. Estratigrafía. *Bol. Geol. Min.*, 88: (3): 183-214.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (1977b). Síntesis geológica del Prebético de la provincia de Alicante II. Tectónica. *Bol. Geol. Min.*, 88 (4): 273-299.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. (1977c). Los grandes accidentes tectónicos de la provincia de Alicante. *Tecniterrae*, 17: 8-17.
- RODRÍGUEZ ESTRELLA, T. y GÓMEZ DE LAS HERAS, J. (1986). Principales características de los acuíferos kársticos en la provincia de Alicante. *Jorn. Karst. Euskadi*, II. San Sebastian: 205-221.
- RUÍZ-ORTIZ, P. (1980). *Análisis de facies del Mesozoico de las Unidades Intermedias (Entre Castril- Prov. de Granada y Jaén)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 272 p.
- SAKAI, H. (1972). Oxigen isotope ratios of some evaporites from Precambrian to Recent ages. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 15: 201-205.
- SÁNCHEZ, T. (1991). *Estudio morfoclimático del Cabeço d'Or*. Tesis Lic. Univ. Alicante, 183 p.
- SANCHIS, E. (1991) *Estudio de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia. Origen, balance y evolución espacial y temporal*. Tesis Doct. Univ. Barcelona. Generalitat Valenciana, 332 p.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1973). *Geología de la transversal Jaén-Frailes (Prov. de Jaén)*. Tesis Doct. Univ. Granada, 274 p.
- SANZ DE GALDEANO, C. (1983). Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Est. Geol.*, 39: 157-166.
- SAXENA, V.K. y GRUPTA, M.L. (1985). Aquifer chemistry of thermal waters of the Godovary

- Valley, India. *J. Volc. Geother. Res.*, 31: 151-161.
- SCHOELLER, H. (1962). *Les eaux souterraines*. Masson, 642 p. Paris
- SCHOELLER, H. (1965). Hydrodynamique dans le karst (écoulement et emmagasinement). Hydrogéologie des roches fissurées. *Simp AIHS Dubrownik*, 1: 3-20.
- SCHOELLER, H. (1969). L'acide carbonique des eaux souterraines. Bull. du BRGM, III: 1-32.
- SCHOFIELD, J.C. (1960). Boron in some New Zealand ground water: New Zealand. *J. Geol. Geophys.*, 3: 98-104.
- SEMPRINI, L. (1987). Radon-222 concentrations of groundwater from a test zone in a shallow alluvial aquifer in the Santa Clara Valley. In: *Radon, radio and other radioactivity in ground water. B. Graves (Ed.) Proc. NWWA Conf. Lewis Publ*: 205-218.
- SIEVER, R. (1962). Silica solubility, 0-200°C, and diagenesis of siliceous sediments. *J. Geol.*, 70 (2): 127-150.
- SIMEONI, P. (1978). Étude de la perméabilité des formations calcaires du Jura neuchâtelais. *Bull. Centr. Hydrog. Univ. Neuchâtel*, 3: 9-18.
- SMITH, B.D. (1988). *The distribution of radon-222 in the ground water of the North-Central Tucson basin and its relationship to the hydrogeology*. Tesis Doct. Univ. Arizona, 100 p.
- SMITH, H.S., HARMESON, R.H. y LARSON, T.E. (1975). The effect of commercial fertilizer on the quality of groundwater. *Proc. Groundwater Pollution Moscow, 1971*. IAHS, 103: 96-102.
- SMITH, A.R., WOLLOMBERG, H.A. y MOSIER, D.F. (1980). Roles of Radon-222 and other natural radionuclides in earthquake prediction. In: *The natural radiation environment III*, NTIS, Springfield: 154-174.
- SOLÍS, L.A., RODRÍGUEZ ESTRELLA, T., CABEZAS, F. y SENET, M. (1983). Cálculo de la "curva de explotación" en el sistema acuífero de la Sierra de Crevillente (Alicante). *Hidrogeol. Rec. Hidraul. XI*, Madrid: 345-358.
- SPALDING, R. F., EXNER, M.E., LINDAU, C.W. y EATON, D.W. (1982). Investigation of sources of groundwater nitrate contamination in the Burbank-Wallula area of Washington USA. *J. Hydrol.*, 58: 307-324.
- SONENNFELD, P. (1984). *Brines and Evaporites*. Academic Press Inc., 613 p.
- SWEETING, J. (1972). *Karst landforms*. Ed. Macmillan. Londres, 362 p.
- TADOLINI, T., TULIPANO, L. y FIDELIBUS, M.D. (1982). Significativi aspetti del chimismo delle acque sotterranee circolanti nell'acquifero carsico della penisola salentina (Italia Meridionale). *Geologia Applicata e Idrogeologia*, V, XVII: 411-425.
- TANNER, A.B. (1980). Radon migration in the ground: a supplementary review. In: *Natural radiation environment III, U.S. Dpto. Energy Report CONF-780422. Nac. Tec. Inf. Serv.*, 1: 5-56.
- TEMEZ, J.R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU. DGC, 113 p.
- THAUVIN, J.P. (1981). Riesgos de intrusión marina en el Campo de Dalías (Almería). *Simp. Agua Andalucía*, 1: 387-396.
- THODE, H.G. y MONSTER, J. (1964). Sulfur isotope abundances in evaporites in the ancient oceans. In: *A.P. Vinogradov (Editors), Khimiia Zemnoi Kori*, 2: 589-600.
- THODE, H.G. y MONSTER, J. (1965). Sulfur isotope geochemistry of petroleum, evaporites, and



ancient seas. *Am. Assoc. Pet. Geol. Mem.*, 4: 367-377.

THORNTHWAITE (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geologic. Rev.*, 38: 55-94.

TORRES-ROLDÁN, R. (1979). The tectonic subdivision of the Betic Zone (Betic Cordilleras, Southern Spain). Its significance and one possible geotectonic scenario for the westernmost alpine belt. *Amer. Jour. Science*, **XXLXXIX**: 19-51.

TÓTH, J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *J. Geophys Res.*, 68: 4795-4812.

TRUEDELL, A.H. (1976). Geochemical techniques in exploration. *Proc. 2nd U. N. Symp. Development and use of Geothermal Resources*, San Francisco, 1. Berkeley, CA. Univ. of California: 53-78.

TULIPANO, L. y FIDELIBUS, M.D. (1984). Geochemical characteristics of apulian coastal springs (Southern Italy) related to mixing processes of ground waters with sea water having different residence time in to the aquifer. *Proc. 5th Internat. Conf. Water Resources Planning and Management*. "Water in the year 2000". Tsakiris, G. (Ed). Athens.

TULIPANO, L. y FIDELIBUS, M.D. (1991). Modern orientation on the karstic hydrology: impact on problems of groundwater protection into carbonate aquifers. Experience from the Apulia Region. *Quaderni del Dipartimento di Geografia*, 13. Università di Padova: 383-398.

TURC, L. (1955). Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations et l'écoulement. *Ann. Agron.* (1954): 491-495; 1955: 5-131.

URILLA, R. (1989). *Les composicions isotòpiques ( $\delta^{18}O$ ,  $\delta^{34}S$ ) del sulfat, com a indicadors de l'origen de les evaporites del Mesozoic i Cenozoic de la Península Ibèrica i de les Illes Balears*. Tesis Doct. Univ. Barcelona, 276 p.

VACHER, H.L., BENGTTSSON, T.O. y PLUMMER, L.N. (1990). Hydrology of meteoric diagenesis: Residence time of meteoric ground water in island fresh-water lenses with application to aragonite-calcite stabilization rate in Bermuda. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 102: 223-232.

VERA, J.A., GARCÍA HERNANDEZ, M., LÓPEZ GARRIDO, A.C.; COMAS, M.C. RUIZ-ORTIZ, P.A. y MARTÍN ALGARRA, A. (1982). El Cretácico de la Cordillera Bética " *In: El Cretácico de España*. Univ. Complutense Madrid: 515-632.

VERA, J.A., RUIZ-ORTIZ, P.A., GARCÍA-HERNANDEZ, M., y MOLINA, J.M. (1988). Paleokarst and related pelagic sediments in the Jurassic of the Subbetic Zone, Southern Spain. *In: Paleokarst*, James, N.P. y Choquette P.W. (Eds). Springer-Verlag: 364-384.

VILANOVA, J. (1889). Noticias sobre el fenómeno geológico conocido en Alicante con el nombre de Ventanas de Albatera" *Act. Soc. Esp. Hist. Nat.*, XVIII: 32.

VILLANUEVA, M y IGLESIAS, A. (1984). *Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. IGME, 426 p.

VILLARROLLA, F. y REBOLLO, L.F. (1993). Sobreexplotación de acuífero: su significado y alcance. *In: Problemática Geoambiental y desarrollo. V Reun. Nac. Geol. Amb. Ord. Territ.* Murcia: 201-204.

VINUESA, J.M. (1994). *Balneario de Alicante (Aigües). Los Baños de Busot*, 127 p. (inédito).

VOGEL, J.C. (1970). Investigation on groundwater flow with radiocarbon. *Isotopes in Hydrology*, IAEA, Vienna: 355-369.

WEY, C. y YI-YAO, L. (1984). Preliminary study of the application of hydrogeochemistry to

- earthquake prediction. *Int. Symp. Earthquake Prediction. Terra Sci. Publ. Co*: 539-552.
- WHITAKER, F.F., SMART, P.L., VAHRENKAMP, V.C., NICHOLSON, H. y WOGELIUS, R.A. (1994). Dolomitization by near-normal seawater? Field evidence from the Bahamas. *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, 21:11-132.
- WHITE, D.E. (1957). Magmatic, connate and metamorphic water. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 68: 1659-1682.
- WHITE, D.E. (1964). Preliminary evaluation of geothermal areas by geochemistry, geology, shallow drilling. *U. N. Conf. New Sources of Energy*, Rome, 1961, Porc. 2: 402-408.
- WHITE, D.E. (1965). Saline waters of sedimentary rocks. *Am. Ass. Petrol. Geol. Mem.*, 4: 342-366.
- WHITE, D. (1970). Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploration of geothermal energy sources. *Geothermics* (Spec. Issue, 2), 1: 58-80.
- WHITE, D.E., THOMPSON, J.M. y FOURNIER, R.O. (1976). Lithium contents of thermal and mineral water. *US Gs Prof. paper*, 1005: 58-60.
- WHITEHEAD, N.E. (1980). Radon measurements at three New Zealand Geothermal areas. *Geothermics*, 9: 279-286.
- WICKS, C.M., HERMAN, J.S., RANDAZZO, A.S. y JEE, J.L. (1995). Water-rock interactions in a modern coastal mixing zone. *GSA Bulletin*, 197, (9): 1023-1032.
- WILKENING, M. (1990). Radon in the environment. *Studies in Environmental Science*, 40 Elsevier, 137 p.
- WORTHINGTON, S.R.H., DAVIES, G.J. y QUINLAN J.F. (1992). Geochemistry of springs in temperate carbonate aquifers: recharge type explains most of the variation. *In: 5ème. Coll. d'Hydrologie en pays calcaire*. Neuchâtel: 341-347.
- WORTHINGTON, S.R.H. y FORD, D.C. (1995). High sulfate concentrations in limestone springs: an important factor in conduit initiation?. *Environ. Geol.*, 25: 9-15.
- YERRIAH, J. (1986). *Le termominéralisme carbo-gazeux du sud-est de la France (domaine sédimentaire) dans son contexte sismotectonique*. Tesis Doct. Univ. Languedoc, 108 p.



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**ANEJO I**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL ACUÍFERO DE CREVILLENTE

Pto.	Nat.	Toponimia	Term. Mun.	X	Y	Cota	Prof.	Uso	Q (l/s)	Observaciones
1	S	Tolomó Alto-1	H. de las Nieves	689.254	4241.109	393	525	-	-	Abandonado
2	S	Tolomó-Alto 2	H. de las Nieves	689.700	4241.213	382	650	R	30	Instalado
3	S	Tolomó Alto-3	H. de las Nieves	689.953	4241.406	371	510	R	-	Abandonado
4	S	Tolomó-Alto 4	H. de las Nieves	689.797	4241.508	357	539	-	-	Abandonado
5	S	Tolomó-Alto 5	H. de las Nieves	690.099	4241.477	361	550	R	-	Abandonado
6	S	Tolomó-Alto 6	H. de las Nieves	689.207	4240.907	412	588	R	50	Instalado
7	S	Tolomó-Alto 7	H. de las Nieves	689.168	4241.027	398	500	-	-	Abandonado
8	S	Tolomó-Alto 8	Aspe	690.395	4241.506	366	500	-	-	Abandonado
9	S	Tolomó-Alto 9	Aspe	690.199	4241.445	370	560	R	50	Instalado
10	S	Tolomó-Alto 10	H. de las Nieves	689.734	4241.249	383	605	R	40	Instalado
11	S	Tolomó-Alto 11	Aspe	690.444	4241.507	358	460	-	-	Abandonado
12	S	Tolomó-Alto 12	Aspe	690.527	4241.521	361	360	-	-	Abandonado
13	S	Tolomó-Alto 13	H. de las Nieves	689.335	4241.096	393	573	R	45	Instalado
14	S	Tolomó-Alto 14	H. de las Nieves	689.119	4241.083	398	550	R	30	Instalado
15	S	Bejerrano	H. de las Nieves	689.431	4241.480	357	500	R	45	Instalado
16	S	Tolomó-Bajo 1	Aspe	690.582	4241.742	345	275	-	-	Abandonado
17	S	Tolomó-Bajo 2	Aspe	690.602	4241.738	340	276	-	-	Abandonado
18	S	Tolomó-Bajo 3	Aspe	690.675	4241.892	359	>200	-	-	Abandonado
19	S	Tolomó-Bajo 4	Aspe	690.800	4241.575	350	140	-	-	-
20	S	G.Elche 1	H. de las Nieves	689.680	4241.220	373	400	-	50	Instalado
21	S	G.Elche 2	H. de las Nieves	689.780	4241.080	382	550	R	-	Abandonado
22	S	G.Elche 3	H. de las Nieves	689.680	4241.220	373	500	-	-	Abandonado
23	S	G Elche 4	H. de las Nieves	689.780	4241.080	382	660	-	-	Sin instalr
24	S	Rollo 3	H. de las Nieves	686.400	4245.800	425	150	-	-	Abandonado
25	S	Rollo 2	H. de las Nieves	686.580	4245.750	428	577	R	25	Instalado
26	S	Rollo 1	H. de las Nieves	686.620	4245.900	429	545	-	-	Abandonado
27	S	Rollo 4	H. de las Nieves	687.040	4245.540	380	480	R	20	Instalado
28	S	Rollo 5	H. de las Nieves	687.040	4245.750	382	480	R	15	Instalado
29	S	R. Michavilla	H. de las Nieves	687.750	4243.350	375	370	-	-	Abandonado
30	S	Barranco	H. de las Nieves	687.919	4241.032	417	463	-	-	Abandonado
31	S	Barranco II	H. de las Nieves	687.914	4241.037	405	601	-	-	Abandonado
32	S	Gilito D	H. de las Nieves	687.882	4240.909	400	528	-	-	Abandonado
33	S	Gilito 2	H. de las Nieves	687.882	4240.909	400	460	-	-	Abandonado
34	S	Evangelista	H. de las Nieves	687.899	4240.675	393	587	-	-	Abandonado
35	S	Boquera	H. de las Nieves	688.004	4241.221	370	400	-	-	Abandonado
36	S	Boquera II	H. de las Nieves	688.022	4241.228	370	524	-	-	Abandonado
37	S	La Cueva	H. de las Nieves	688.082	4241.251	393	502	-	-	Abandonado
38	S	La Vaguada	H. de las Nieves	688.050	4241.178	380	524	R/A	60	Instalado
39	S	Umbría	H. de las Nieves	688.861	4240.976	400	528	R/A	60	Instalado
40	S	Galianas	H. de los Frailes	683.040	4239.120	425	558	A	20	Instalado
41	S	nº 400	H. de los Frailes	682.640	4237.260	252	51	-	-	Abandonado
42	S	nº 401	H. de los Frailes	682.600	4237.320	252	60	-	-	Abandonado
43	S	nº 405	H. de los Frailes	682.600	4237.320	252	234	-	-	Abandonado
44	S	nº 408	H. de los Frailes	682.500	4237.320	252	300	-	-	Abandonado
45	S	nº 402	H. de los Frailes	682.440	4237.360	252	300	-	-	Abandonado
46	S	nº 407	H. de los Frailes	682.440	4237.360	252	296	-	-	Abandonado
47	S	nº 404	H. de los Frailes	682.340	4237.400	252	300	R/A	110	Instalado
48	S	nº 406	H. de los Frailes	682.340	4237.400	252	300	R/A	60	Instalado
49	S	nº 409	H. de los Frailes	682.340	4237.400	252	250	-	-	Abandonado
50	S	nº 403	H. de los Frailes	682.340	4237.400	252	300	R	110	Instalado
51	S	nº 410	H. de los Frailes	682.340	4237.400	252	209	-	-	Abandonado
52	S	nº 411	H. de los Frailes	682.260	4237.400	252	282	-	-	Abandonado
53	S	Sondeo A bis	H. de los Frailes	682.740	4238.550	430	260	-	-	No encontrado
54	S	La Canalosa	H. de los Frailes	681.920	4241.520	474	675	R	90	Instalado
55	S	Solana	H. de las Nieves	683.730	4244.150	515	502	R	55	Instalado
56	S	Solana II	H. de las Nieves	683.850	4244.220	511	544	-	-	Sin instalar
57	S	Bilillo	Abanilla	676.850	4240.400	400	-	-	-	Abandonado
58	S	El Cantón	Abanilla	676.880	4242.120	450	-	-	-	No encontrado
59	S	Sondeo nº 4	Orihuela	678.700	4238.680	399	152	-	-	No encontrado
60	S	Sondeo nº 2 bis	H. de los Frailes	679.900	4238.380	410	298	-	-	No encontrado



Pto.	Nat.	Toponimia	Term. Mun.	X	Y	Cota	Prof.	Uso	Q (l/s)	Observaciones
61	S	Sondeo nº 5	H. de los Frailes	679.780	4237.900	440	196	-	-	No encontrado
62	S	Collado del Rumbo	H. de los Frailes	679.700	4240.500	520	250	-	-	Abandonado
63	S	Collado del Rumbo	H. de los Frailes	679.000	4240.000	252	265	-	-	Abandonado
64	S	Collado del Rumbo	H. de los Frailes	678.920	4240.050	252	265	-	-	Abandonado
65	S	Sondeo nº 1	H. de los Frailes	678.620	4239.060	252	205	-	-	Abandonado
66	S	Solana	H. de las Nieves	682.980	4243.750	560	390	-	-	Abandonado
67	S	Galiana II	H. de las Nieves	683.050	4239.100	424	-	-	-	Abandonado
68	S	Galianas I	H. de las Nieves	683.180	4239.080	424	-	R	90	Instalado
69	S	Casa Verdú	La Romana	670.000	4247.000	600	-	-	-	Abandonado
70	S	Caminanto	H. de las Nieves	684.800	4240.200	446	-	-	-	Abandonado
71	S	Caminanto	H. de las Nieves	686.350	4240.000	455	-	-	-	Abandonado
72	S	Sociedad José y M <sup>a</sup>	Crevillente	689.921	4238.510	430	400	-	-	Abandonado
73	S	Puntal Matamoros	H. de las Nieves	689.936	4240.070	460	350	-	-	Abandonado
74	S	Caminanto	H. de las Nieves	684.500	4250.650	431	670	-	-	Sin instalar
75	S	Casas de Regan	H. de las Nieves	683.600	4241.650	426	686	-	-	Abandonado
76	S	La Cuesta	H. de las Nieves	689.350	4242.550	384	656	-	-	Instalado
77	S	Ofra	Aspe	689.950	4244.100	375	370	-	-	Abandonado
78	S	Tolomó	H. de las Nieves	688.913	4241.945	375	346	-	-	Abandonado
79	S	Sondeo A	H. de las Nieves	683.750	4240.950	410	260	-	-	Abandonado
80	S	Crevillente	H. de las Nieves	686.700	4239.100	575	-	-	-	Abandonado
81	S	Crevillente	H. de las Nieves	686.250	4238.800	580	-	R	-	No encontrado
82	S	Rollo	H. de las Nieves	683.900	4246.150	480	-	-	-	No encontrado
83	S	Rollo	H. de las Nieves	685.200	4246.200	460	-	-	-	No encontrado
84	S	Rollo	H. de las Nieves	685.400	4246.200	460	-	-	-	No encontrado
85	S	Rambla Vitia	Algueña	675.400	4245.250	510	-	-	-	No encontrado
86	S	El Mojon	Algueña	675.700	4243.850	500	-	-	-	No encontrado
87	G	Font Antiga	Crevillente	690.001	4238.451	250	-	-	-	Abandonado
88	S	Crevillente	Crevillente	690.075	4237.775	245	-	-	-	-
89	G	Mina La Cata	Crevillente	689.300	4237.775	270	-	-	-	Abandonada
90	M	San Cayetano	Crevillente	685.450	4237.450	440	-	-	<1	-
91	M	Fuente de la Cava	Crevillente	681.700	4245.500	600	-	-	<1	-
92	M	Tres fuentes	Pinoso	675.250	4249.300	740	-	-	<1	-
93	M	Encebras	Pinoso	675.850	4251.500	660	-	-	-	-
94	G	Fuente H. Nieves	H. de las Nieves	683.900	4244.500	405	-	-	-	Abandonada

### LEYENDA

<b>Pto.</b>	Número del punto de agua
<b>Naturaleza</b>	S Sondeo
	G Galería
	M Manantial
	P Pozo
<b>Uso</b>	R Regadío
	A Abastecimiento
Coordenadas UTM	
Profundidad y Cota en m	

## INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL ACUÍFERO DEL CID

Pto.	Nat.	Térm. Mun.	Toponimia	X	Y	Z	Prof.	Uso	Q (l/s)	Observaciones
1	S	Monforte del Cid	Santiago	699.009	4255.102	352	415	R-A	100	Instalado
2	S	Novelda	Canalillo	696.557	4255.764	400	370	R	60-80	Instalado
3	S	Monforte del Cid	Cid 3	699.217	4254.683	330	432	-	-	Abandonado
4	S	Monforte del Cid	Cid 4	699.178	4255.204	358	366	-	-	Abandonado
5	S	Monforte del Cid	Cid 5	699.492	4255.243	360	410	-	-	Abandonado
6	S	Monforte del Cid	Cid 1	699.521	4255.751	390	410	-	-	Abandonado
7	S	Novelda	S Pascual	697.874	4254.170	355	366	-	-	Abandonado
8	S	Novelda	Serreta	697.887	4254.050	355	490	-	-	Abandonado
9	S	Novelda	C. Costera nº 4	697.569	4255.814	388	478	A	90	Instalado
10	S	Novelda	C. Costera nº 5	697.291	4255.580	380	401	A	90	Instalado
11	S	Novelda	C. Costera nº 3	697.095	4255.829	400	355	-	-	Abandonado
12	S	Monforte del Cid	Cid 7	699.358	4255.399	368	-	-	-	Abandonado
13	S	Monforte del Cid	Cid 2	699.151	4255.386	368	345	-	-	Abandonado
14	S	Novelda	S. Pascual	697.762	4254.265	369	310	-	-	Abandonado
15	S	Novelda	S. Pascual	697.620	4254.402	375	390	-	-	Abandonado
16	S	Novelda	C. Costera nº 1	697.315	4256.068	395	300	-	-	Abandonado
17	S	Novelda	C. Costera nº 2	697.303	4256.142	400	306	-	-	Abandonado
18	S	Novelda	Serreta	697.945	4253.917	350	378	-	-	Abandonado
19	S	Novelda	Serreta nº 3	697.995	4253.910	347	450	-	-	Abandonado
20	S	Novelda	Serreta nº 4	698.026	4253.781	340	433	-	-	Abandonado
21	S	Monforte del Cid	Cid	699.217	4254.648	330	-	-	-	Abandonado
22	S	Monforte del Cid	Cid	699.786	4256.064	405	-	-	-	Abandonado
23	S	Monforte del Cid	Cid 6	699.265	4255.811	395	-	-	-	Abandonado
24	S	Monforte del Cid	Cid	699.226	4255.862	398	-	-	-	Abandonado
25	S	Monforte del Cid	Serreta	698.385	4253.165	325	70	-	-	Abandonado
26	S	Agost	Tarraig	701.321	4258.304	455	-	-	-	Abandonado
27	S	Monforte del Cid	Pozo blanco	701.085	4254.732	310	360	-	-	Abandonado
28	P	Monforte del Cid	Pozo blanco	701.144	4254.853	312	-	-	-	Abandonado
29	S	Novelda	Serreta	697.039	4255.130	380	-	-	-	Abandonado
30	S	Novelda	Serreta	696.857	4255.435	380	-	-	-	Abandonado
31	S	Novelda	Serreta	697.912	4254.012	355	-	-	-	Abandonado
32	S	Monforte del Cid	Cid	698.331	4256.139	410	-	-	-	Abandonado
33	S	Monforte del Cid	Cid	699.343	4256.602	465	-	-	-	Abandonado
34	S	Agost	Escandella	703.501	4256.404	325	-	-	-	Abandonado
35	M	Novelda	Gobernador	694.000	4255.550	365	-	-	<1	-
36	M	Novelda	Salinetas	693.650	4256.800	375	-	-	5	-
37	G	Monforte del Cid	La Mina	702.550	4255.200	305	-	R	< 1	-
38	M	Petrel	La Venteta	701.200	4261.800	550	-	-	< 1	-
39	S	Petrel	Cid	700.070	4262.463	650	-	-	-	Abandonado
40	M	Petrel	El Chorrillo	699.450	4262.300	700	-	-	< 1	-
41	S	Monforte del Cid	Casa del Lobo	701.044	4255.991	365	450	-	-	Abandonado



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR

Pto.	Nat.	Toponímia	Term Mun.	X	Y	Z	Prof.	Uso	Q (l/s)	Observaciones
1	S	Balneario	Aigües	729.267	4265.544	410	400	A-R	27	Instalado
2	S	A. Salmitre	Busot	726.799	4264.590	430	445	A	20	Instalado
3	S	Cabezón	Busot	729.346	4266.340	430	437	A	30	Instalado
4	S	Siscaret	Aigües	728.990	4265.130	400	342	A-R	30	Instalado
5	S	Salmitre	Busot	727.175	4265.490	445	450	A-R	40	Instalado
6	S	Salmitre	Busot	727.120	4265.270	410	250	-	-	Abandonado
7	S	Salmitre	Busot	727.300	4265.540	445	400	-	-	Instalado
8	S	Salmitre	Busot	727.430	4265.705	465	400	-	-	Abandonado
9	S	Racó Ample	Aigües	729.240	4266.175	435	400	-	-	Abandonado
10	S	Racó Ample	Aigües	729.280	4266.175	435	450	-	-	Abandonado
11	S	Racó Ample	Aigües	729.260	4266.120	435	450	-	-	Abandonado
12	S	Racó Ample	Aigües	729.360	4266.170	420	450	-	-	Abandonado
13	S	Racó Ample	Aigües	729.365	4266.100	420	450	-	-	Abandonado
14	S	Racó Ample	Aigües	729.320	4266.130	420	-	-	-	Abandonado
15	S	Canelobre	Busot	726.030	4265.515	480	-	-	-	Abandonado
16	S	Canelobre	Busot	725.800	4265.460	450	-	-	-	Abandonado
17	M	Gasparet	Aigües	730.100	4264.940	325	-	R	<1	-
18	S	Planteret	Aigües	729.410	4266.380	430	-	-	-	Abandonado
19	S	Planteret	Aigües	729.430	4266.390	430	-	-	-	Abandonado
20	M	Cabezón	Relleu	727.340	4269.750	930	-	-	-	Abandonado
21	S	Siscaret	Aigües	728.930	4265.120	400	-	R	<1	-
22	M	Los Romanos	Aigües	729.025	4265.140	420	-	-	-	Seco
23	S	Peñas Rojas	Aigües	728.220	4265.410	450	-	-	-	Abandonado
24	M	La Cogolla	Aigües	728.980	4265.061	420	-	-	-	Seco
25	S	Salmitre	Busot	726.890	4264.800	430	-	-	-	Abandonado
26	S	Salmitre	Busot	726.880	4264.820	430	-	-	-	Abandonado
27	S	Balneario	Aigües	729.500	4265.660	410	-	-	-	Abandonado
28	S	Runal	Busot	726.300	4264.550	432	-	-	-	Seco
29	M	Racó Ample	Busot	729.610	4266.970	420	-	-	-	Seco
30	S	Racó Ample	Aigües	729.390	4266.660	455	-	-	-	Abandonado
31	S	Salmitre	Busot	727.185	4264.850	405	-	-	-	Abandonado
32	S	Salmitre	Busot	727.175	4264.920	405	-	-	-	Abandonado
33	S	Canelobre	Busot	726.680	4265.490	625	-	-	-	Abandonado
34	S	Peñas Rojas	Aigües	728.430	4265.210	405	-	-	-	Abandonado
35	M	Colladet	Aigües	729.025	4265.140	420	-	-	-	Seco
36	M	Busot	Busot	725.180	4262.750	315	-	-	-	Seco
37	S	Planteret	Aigües	729.500	4266.350	410	-	-	-	Abandonado
38	S	Canelobre	Busot	725.744	4266.209	500	-	-	-	Abandonado
39	M	Los Baños	Aigües	729.500	4265.656	420	-	-	-	Seco
40	M	La Cava	Aigües	729.025	4265.140	420	-	-	-	Seco
41	M	La Torreta	Aigües	729.025	4265.140	420	-	-	-	Seco
42	S	A. de Ferrerías	Relleu	728.350	4269.470	660	-	-	-	Abandonado
43	M	A. de Ferrerías	Relleu	728.350	4269.470	650	-	-	<1	-



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**ANEJO II**





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ANÁLISIS QUÍMICOS I (ACUÍFERO DE CREVILLENTE)

Pto.	Fecha	C	pH	T	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Sr	SiO <sub>2</sub>	B	Ba	Fe	CO <sub>2</sub>
		uS/cm		°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
nº 2	nov 91	2040	7,5	25,1	101	55	368	5,3	205	294	554	10,1	2,7	12,5	0,16	0,006	0,108	8,5
nº 2	feb 92	2180	7,5	25,2	103	52	360	5,2	210	323	520	9,5	2,7	12,5	0,17	0,006	0,058	8,7
nº 2	abr 92	2140	7,6	25,1	106	49	346	5,2	207	307	533	10	2,6	12,1	0,17	0,006	0,079	6,8
nº 2	may 92	2220	7,7	25,1	105	54	375	6,6	205	310	578	12	2,8	11,9	0,17	0,005	0,049	5,3
nº 2	jun 92	2200	7,5	24,9	111	52	387	6,1	205	312	585	13,2	2,8	12,5	0,18	0,006	0,068	8,5
nº 2	jul 92	2540	7,2	25,1	109	52	384	6,7	209	313	580	10,7	2,8	11,7	0,17	0,006	0,065	17,4
nº 2	ago 92	2560	7,4	25,3	118	55	419	5,4	207	335	647	9,9	3,0	12,4	0,19	0,006	0,066	10,7
nº 2	sep 92	2560	7,5	25,3	103	55	415	6,4	205	338	639	9,8	2,9	12,2	0,18	0,006	0,042	8,5
nº 2	oct 92	2540	7,4	25,3	112	52	416	6,3	205	326	666	9,1	2,8	11,7	0,18	0,005	0,091	10,7
nº 2	nov 92	2320	7,5	25,3	100	51	419	5,5	205	236	637	9,9	2,9	12,3	0,18	0,005	0,071	8,5
nº 2	ene 93	2260	7,6	25,4	123	48	390	5,5	207	317	631	11,1	-	-	-	-	-	6,8
nº 2	feb 93	2040	7,4	25,5	110	56	395	5,3	204	311	636	10,5	-	-	-	-	-	10,6
nº 2	may 93	2250	7,5	25,4	96	46	405	5,3	214	300	640	10,3	2,7	12,1	0,18	0,024	0,075	8,9
nº 2	jun 93	2340	7,4	25,3	95	52	400	6,1	211	314	645	11,8	2,8	12,2	0,19	0,006	0,046	11,0
nº 2	jul 93	2340	7,3	26,4	103	55	410	5,5	210	344	702	11,6	2,6	12,3	0,19	0,006	0,029	13,6
nº 2	ago 93	2150	7,4	25,9	114	55	419	5,8	206	327	695	11,7	2,7	12,5	0,20	0,007	0,028	10,6
nº 2	sep 93	2310	7,4	26,3	117	52	425	5,9	209	357	698	12,8	2,7	12,6	0,19	0,006	0,106	10,7
nº 2	oct 93	2520	7,5	26,1	119	52	430	5,9	209	362	699	11,6	2,6	12,9	0,21	0,008	0,096	8,5
nº 2	feb 94	2190	7,5	25	119	53	391	5,5	206	360	615	10,5	2,8	12,4	0,19	0,008	0,135	8,5
nº 2	mar 94	2370	7,4	24,8	134	56	424	6	207	364	654	9,3	2,9	12,3	0,20	0,007	0,072	10,8
nº 6	ene 92	1710	7,8	25	105	45	225	4,9	214	251	351	13,7	2,4	10,7	0,18	0,005	0,068	4,5
nº 6	feb 92	1700	7,6	25,5	103	44	256	4,7	212	244	377	11,9	2,3	11,6	0,17	0,004	0,042	7,1
nº 6	may 92	1820	7,8	27,5	88	46	255	4	206	246	407	12,5	2,5	11,5	0,18	0,006	0,093	4,2
nº 6	jun 92	1860	7,7	25,3	99	44	281	4	206	276	395	11,9	2,4	10,9	0,17	0,005	0,056	5,4
nº 6	jul 92	2050	7,4	25,3	101	44	279	4,1	206	268	393	10	2,4	11,1	0,18	0,005	0,031	11,0
nº 6	ago 92	1930	7,7	25,4	97	45	296	4	210	301	425	16,6	2,5	10,5	0,18	0,005	0,040	5,5
nº 6	sep 92	2100	7,7	25,6	92	47	306	4,3	206	270	421	12,3	2,4	10,4	0,18	0,005	0,026	5,4
nº 6	oct 92	2050	7,8	25,4	99	44	292	4,6	209	256	413	15	2,4	10,3	0,18	0,004	0,040	4,4
nº 6	nov 92	1920	7,7	25,4	94	47	298	4,4	212	272	410	13,1	2,4	10,5	0,19	0,005	0,029	5,6
nº 6	dic 92	1850	7,8	25,6	96	43	291	4,2	218	272	431	11,9	2,3	9,8	0,18	0,004	0,038	4,5
nº 6	mar 93	2160	7,5	25,5	94	47	241	4,9	215	221	375	11,5	2,0	9,5	0,16	0,003	0,036	9,1
nº 6	may 93	2060	7,6	25,5	97	41	238	5	218	263	367	13,5	2,3	9,8	0,18	0,004	0,048	7,3
nº 6	jun 93	2140	7,6	25,4	90	40	242	4,1	216	259	375	14	2,2	9,9	0,18	0,004	0,055	7,3
nº 6	jul 93	2020	7,5	26,7	89	50	243	4,2	210	226	411	10	2,3	10,5	0,18	0,005	0,033	8,7
nº 6	ago 93	1920	7,5	25,9	96	52	294	4,6	206	300	432	11,7	2,5	10,6	0,18	0,005	0,024	8,6
nº 6	sep 93	1990	7,6	26,4	101	43	290	4,3	213	280	435	12,1	2,5	10,4	0,18	0,005	0,025	7,0
nº 6	oct 93	2070	7,6	26,1	116	47	303	4,7	206	311	451	12,3	2,4	10,4	0,19	0,006	0,032	6,7
nº 6	nov 93	2120	7,6	26,1	103	48	309	4,6	212	287	464	12,2	2,4	10,3	0,19	0,005	0,043	5,8
nº 6	dic 93	1860	7,7	25,2	102	46	226	3,9	218	250	376	12,5	2,3	10,0	0,18	0,004	0,051	7,3
nº 6	feb 94	2010	7,6	25,4	94	45	266	4,3	214	267	400	11,7	2,4	11,0	0,19	0,005	0,030	7,2
nº 6	mar 94	1970	7,7	25,8	108	46	281	4,2	213	285	410	11,6	2,4	10,2	0,18	0,005	0,079	5,6
nº 9	ago 92	3350	7,5	25	140	72	541	7,5	191	390	920	19,5	3,5	12,7	0,24	0,060	0,065	7,7
nº 9	sep 92	3400	7,5	25,3	141	73	536	7,3	185	400	897	26,3	3,5	12,2	0,20	0,053	0,059	7,4
nº 9	jun 93	2320	7,5	24,6	118	63	490	6,4	194	413	780	23	3,4	12,1	0,22	0,045	0,117	8,0
nº 9	jul 93	2460	7,4	25,7	133	69	542	7,5	189	465	893	32,7	3,7	12,6	0,23	0,045	0,068	9,5
nº 9	ago 93	2650	7,4	25	147	82	548	7,1	195	452	916	28,8	3,6	12,3	0,24	0,048	0,051	9,9
nº 9	sep 93	2960	7,5	26,2	145	63	550	7,3	190	462	900	33,2	5,1	12,6	0,29	0,055	0,102	7,5
nº 9	oct 93	3060	7,4	25,3	137	69	551	7,5	190	465	899	32,8	3,7	10,6	0,24	0,046	0,057	9,6
nº 9	nov 93	3330	7,4	25,4	149	76	562	7,6	188	469	909	32,4	3,7	10,7	0,25	0,017	0,088	9,5
nº 9	dic 93	3200	7,5	24,5	155	78	542	7,5	192	461	889	26,4	3,6	12,1	0,24	0,015	0,076	7,7
nº 9	feb 94	3050	7,5	24,7	156	66	527	7,4	189	453	872	28,9	3,7	12,2	0,23	0,036	0,104	7,6
nº 9	mar 94	3170	7,4	24,8	158	72	587	7,5	191	464	864	31,3	3,7	12,1	0,24	0,043	0,072	9,7
nº 10	dic 91	1780	7,4	24,5	111	49	294	4,3	208	292	480	11,5	2,7	16	0,18	0,010	0,037	11,1
nº 10	ene 92	1800	7,4	24,7	114	43	318	4,5	208	300	501	11,7	2,6	15	0,17	0,004	0,021	11,1
nº 10	feb 92	1890	7,4	24,6	111	51	324	4,6	207	274	470	13,9	2,9	16	0,18	0,007	0,024	11,0
nº 10	mar 92	1890	7,6	24,4	112	51	330	4,6	207	321	550	10,7	2,7	15	0,19	0,009	0,040	6,9
nº 10	abr 92	1730	7,4	24,5	103	50	305	4,4	208	313	485	10,8	2,7	16	0,19	0,008	0,032	11,1
nº 10	may 92	2060	7,7	24,5	100	44	333	4,5	205	330	515	13,6	2,8	16	0,20	0,009	0,029	5,4
nº 10	jun 92	1990	7,5	24,4	122	56	329	4,7	200	334	493	14,9	3,0	15	0,19	0,009	0,029	8,4
nº 10	jul 92	2330	7,2	24,7	112	55	348	4,9	208	305	530	14,1	3,0	16	0,19	0,010	0,025	17,5
nº 10	ago 92	2100	7,4	24,6	101	48	346	4,6	210	291	565	10,9	2,7	16	0,18	0,009	0,046	11,1
nº 10	sep 92	2210	7,5	25,4	99	48	373	5	210	310	560	12,3	2,5	15	0,18	0,008	0,046	8,7
nº 10	oct 92	2220	7,5	24,8	107	52	361	5,1	208	300	562	13,5	2,8	16	0,19	0,009	0,064	8,7
nº 10	nov 92	2050	7,7	24,7	106	49	334	5	206	314	485	13,9	2,7	15	0,19	0,009	0,052	5,4
nº 10	ene 93	2090	7,5	24,6	114	49	316	4,6	215	311	519	15,8	2,7	15	0,18	0,010	0,114	9,0
nº 10	mar 93	1940	7,8	24,5	134	56	320	4,5	211	326	518	10,6	2,9	15	0,18	0,010	0,022	4,4
nº 10	abr 93	2010	7,4	24,8	101	49	319	4,6	211	265	518	10,3	2,6	14	0,19	0,005	0,020	11,2
nº 10	may 93	1930	7,4	24,6	105	49	343	4,4	209	312	503	12,6	2,7	15	0,18	0,072	0,031	11,1
nº 10	jun 93	2010	7,4	24,5	106	48	350	4,7	211	323	525	12,7	2,8	15	0,18	0,008	0,025	11,2

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	T °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	Sr mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Fe mg/l	CO2 mg/l
nº 10	jul 93	2460	7,4	25,7	110	56	351	5,1	202	349	555	16	3,0	16	0,20	0,009	0,031	10,5
nº 10	ago 93	1980	7,5	25,7	109	53	372	5	211	308	614	14,1	2,6	15	0,19	0,008	0,028	8,7
nº 10	sep 93	2110	7,5	26,4	107	49	374	5,2	211	317	600	14,6	2,7	15	0,18	0,009	0,023	8,6
nº 10	oct 93	2210	7,4	25,8	105	48	380	5,2	211	301	618	21,5	2,7	14	0,17	0,009	0,134	11,0
nº 10	nov 93	2310	7,5	26	116	54	393	5,2	214	318	628	14,3	2,7	15	0,18	0,010	0,056	8,7
nº 10	dic 93	2640	7,5	24,7	119	55	439	5,7	210	342	693	11,5	3,0	15	0,19	0,009	0,088	8,7
nº 10	ene 94	2100	7,4	24,8	120	56	357	5,4	204	341	536	10,1	3,0	16	0,19	0,019	0,035	10,7
nº 10	feb 94	2370	7,5	24,8	114	54	343	5,2	206	336	514	11,1	3,0	15	0,19	0,009	0,061	8,6
nº 10	mar 94	2220	7,5	24,8	124	53	388	5,3	209	312	498	11,8	3,0	15	0,18	0,008	0,046	8,7
nº 13	nov 91	1700	7,5	24,9	95	45	266	4,3	210	227	377	12,1	0,1	10,3	0,13	0,0043	0,005	8,9
nº 13	ene 92	1680	7,6	25,1	93	43	239	3,9	211	256	382	10,7	0,2	11,6	0,15	0,0042	0,071	7,1
nº 13	abr 92	1620	7,5	25	99	46	249	4,8	209	265	400	9,8	0,2	11,6	0,15	0,0043	0,058	8,9
nº 13	ago 92	1710	7,6	25,2	92	46	280	4,9	209	263	447	8,4	0,1	11,5	0,13	0,0048	0,054	7,0
nº 13	nov 92	1610	7,5	24,7	93	44	277	4,2	215	255	446	10,8	0,1	11,6	0,12	0,0045	0,082	9,1
nº 13	dic 92	1630	7,6	24,7	81	43	299	4,9	214	219	415	10,5	0,1	9,4	0,14	0,0007	0,091	7,2
nº 13	abr 93	1690	7,5	24,6	97	42	301	4,3	212	227	440	9,9	0,1	10,0	0,12	0,0008	0,056	9,0
nº 14	ene 92	1650	7,7	25,1	90	39	214	3,9	216	212	338	10,7	2,2	15,5	0,16	0,007	0,273	5,8
nº 14	feb 92	1550	7,6	25,1	90	40	223	3,6	219	204	360	6,6	2,0	15,0	0,15	0,007	0,180	7,4
nº 14	abr 92	1355	7,7	25	89	39	210	3,9	220	210	332	10,8	2,1	15,5	0,17	0,007	0,016	5,9
nº 14	may 92	1480	7,6	25,2	87	41	221	3,8	216	211	346	11,5	2,4	15,1	0,17	0,007	0,089	7,3
nº 14	jun 92	1590	7,7	25,4	77	43	234	3,5	220	203	357	9,8	2,2	14,7	0,16	0,006	0,071	5,9
nº 14	jul 92	1630	7,3	25	79	43	240	4,1	222	212	373	9,1	2,1	14,9	0,16	0,007	0,078	15,1
nº 14	sep 92	1560	7,5	25,2	94	41	239	4,4	218	200	364	10,1	2,3	15,0	0,16	0,007	0,112	9,3
nº 14	ene 93	1550	7,6	25,1	88	40	218	3,7	215	198	347	10,8	2,2	15,1	0,16	0,007	0,113	7,3
nº 14	mar 93	1520	7,7	25	98	47	237	4,2	221	255	347	13,6	2,5	15,5	0,19	0,009	0,078	5,9
nº 14	may 93	1479	7,4	25,4	86	42	235	3,8	218	234	355	12	2,3	15,0	0,17	0,007	0,134	11,7
nº 14	jun 93	1410	7,5	25	86	44	240	4,1	221	228	383	15,6	2,3	13,5	0,17	0,007	0,092	9,4
nº 14	jul 93	1570	7,5	26,3	84	43	260	3,9	218	227	390	11,9	2,1	14,6	0,16	0,007	0,091	9,1
nº 14	ago 93	1590	7,5	25,4	88	46	265	4,1	222	235	411	11,2	2,3	15,5	0,17	0,007	0,047	9,4
nº 14	sep 93	1410	7,5	25,9	91	40	260	4	219	232	407	11,8	2,3	15,1	0,17	0,008	0,045	9,2
nº 14	oct 93	1440	7,5	25,6	92	40	267	4,2	216	231	414	12,3	2,2	14,9	0,17	0,008	0,121	9,1
nº 14	nov 93	1660	7,5	24,7	101	45	271	4	214	242	415	10,4	2,3	14,9	0,18	0,008	0,145	9,1
nº 14	dic 93	1610	7,6	24,6	94	45	293	4,1	217	244	438	10,5	2,2	15,0	0,17	0,007	0,149	7,3
nº 14	feb 94	1584	7,6	25	91	44	270	4,1	218	220	420	9,4	2,2	15,0	0,15	0,007	0,123	7,3
nº 14	mar 94	1520	7,6	25,2	97	42	253	4,1	218	233	413	11	2,5	11,1	0,19	0,013	0,114	7,3
nº 15	abr 92	1558	7,7	24,2	78	36	271	3,6	244	170	370	9,7	1,7	12,0	0,18	0,004	0,055	6,6
nº 15	may 92	1514	7,7	24,2	78	34	241	3,9	244	144	354	9,7	1,7	13,0	0,14	0,006	0,036	6,7
nº 15	jun 92	1457	7,7	23,9	71	39	231	3,4	233	145	339	10,2	1,7	12,8	0,14	0,006	0,042	6,4
nº 15	jul 92	1619	7,4	24,3	72	38	265	3,1	244	178	381	10,9	1,7	10,5	0,15	0,003	0,017	13,3
nº 15	ago 92	1618	7,6	24,1	75	37	237	3,8	237	151	362	10,7	1,7	13,1	0,14	0,006	0,026	8,2
nº 15	sep 92	1550	7,6	24,2	81	37	228	3,8	237	158	354	11,3	1,8	13,5	0,15	0,007	0,023	8,2
nº 15	mar 93	1440	7,6	24	83	38	226	3,5	244	172	327	11,8	1,4	13,0	0,15	0,006	0,019	8,4
nº 15	may 93	1440	7,5	23,9	71	34	238	3,3	240	176	355	11,3	1,7	13,0	0,15	0,006	0,068	10,5
nº 15	jun 93	1430	7,6	24	79	33	245	3,4	240	178	369	11,6	1,8	13,5	0,16	0,006	0,038	8,3
nº 15	jul 93	1440	7,5	24,9	84	38	241	3,4	236	177	376	11,8	1,7	13,5	0,14	0,006	0,028	10,1
nº 15	ago 93	1510	7,5	24,5	82	38	240	3,4	239	186	376	12,7	1,7	13,2	0,13	0,007	0,021	10,3
nº 15	sep 93	1510	7,5	25,1	79	34	237	3,5	237	177	373	12,8	1,6	13,5	0,15	0,006	0,023	10,2
nº 15	oct 93	1547	7,6	24,7	77	36	231	3,5	234	177	366	13,1	1,7	13,7	0,16	0,007	0,079	8,0
nº 15	nov 93	1547	7,6	24,4	80	36	231	3,3	244	174	354	12,1	1,6	13,1	0,16	0,006	0,057	8,4
nº 15	dic 93	1600	7,6	23,4	75	36	235	3,3	239	172	358	13,1	1,7	13,0	0,14	0,006	0,046	8,3
nº 15	feb 94	1580	7,6	24	89	35	250	3,5	238	164	350	11	1,6	10,1	0,16	0,005	0,033	8,2
nº 15	mar 94	1646	7,5	23,7	81	35	254	3,5	237	166	350	10,5	1,8	9,9	0,17	0,010	0,061	10,4
nº 20	mar 92	2280	7,7	24,5	109	55	369	4,65	205	313	581	9,25	2,7	11,7	0,17	0,002	0,038	5,4
nº 20	may 92	2300	7,6	24,5	120	59	341	5,38	204	328	578	15,9	2,9	11,9	0,20	0,006	0,035	6,7
nº 20	jun 92	2710	7,4	24,6	123	56	405	5,55	205	332	690	10,8	3,1	11,5	0,19	0,006	0,042	10,7
nº 20	jul 92	2620	7,6	24,9	123	56	395	5,88	201	326	700	10,97	2,6	11,6	0,19	0,006	0,045	6,6
nº 20	ago 92	2690	7,5	25	129	53	400	5,19	207	316	706	15,2	2,9	12,1	0,18	0,003	0,034	8,5
nº 20	ago 93	2830	7,4	25,7	115	62	515	8,64	205	366	837	23,8	3,0	11,7	0,21	0,003	0,186	10,4
nº 20	oct 93	2670	7,4	25,4	127	57	473	6,37	206	382	752	23,3	3,1	10,1	0,21	0,003	0,139	10,6
nº 20	nov 93	2510	7,4	24,8	126	59	423	5,85	205	367	647	16,7	3,0	12,2	0,20	0,007	0,060	10,7
nº 20	dic 93	2380	7,5	25,8	124	59	424	5,72	202	358	681	14,9	2,9	11,7	0,19	0,006	0,116	8,2
nº 20	ene 94	2500	7,6	25,6	129	57	423	6,1	207	317	619	19,8	2,9	11,6	0,19	0,008	0,068	6,7
nº 20	feb 94	2340	7,5	25	125	58	410	5,95	202	352	688	15,05	3,0	12,1	0,18	0,006	0,052	8,3
nº 20	mar 94	2530	7,5	24,9	122	60	431	5,97	197	354	705	18,1	2,9	10,1	0,16	0,006	0,020	8,1
nº 25	ene 92	1084	7,8	23,4	64	29	170	2,6	218	151	201	4,2	0,9	11,1	0,10	0,008	0,152	4,9
nº 25	feb 92	1060	7,6	23,3	64	29	152	2,7	217	149	213	4,4	1,0	11,1	0,11	0,005	0,079	7,7
nº 25	may 92	1054	7,6	23,3	62	29	155	3	217	149	204	4,5	1,1	11,3	0,11	0,005	0,102	7,7
nº 25	jun 92	1065	7,7	23,2	66	29	161	2,6	214	150	204	4,2	1,0	10,7	0,10	0,005	0,088	6,0
nº 25	jul 92	1168	7,5	23,7	60	30	168	3	218	151	208	5	1,0	11,3	0,11	0,005	0,070	9,8
nº 25	sep 92	1150	7,7	23,1	63	28	175	2,7	214	157	214	4,1	1,1	10,8	0,11	0,005	0,186	6,1
nº 25	oct 92	1126	7,6	23,1	65	29	169	3	218	159	204	4,9	1,1	11,1	0,12	0,004	0,116	7,8
nº 25	nov 92	1101	7,6	23,2	60	29	160	2,7	214	157	208	4,4	1,1	10,7	0,11	0,005	0,039	7,6
nº 25	ago 93	949	7,5	24,1	66	32	158	2,9	215	164	227	3,3	0,9	10,0	0,10	0,005		



Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	T °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	Sr mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Fe mg/l	CO2 mg/l
nº 25	nov 93	1028	7,5	23,6	68	28	179	2,6	218	162	210	4,2	1,0	10,5	0,11	0,018	0,079	9,7
nº 25	dic 93	1078	7,6	23,8	66	31	165	2,7	214	167	204	4,4	1,1	11,2	0,12	0,004	0,196	7,6
nº 25	ene 94	1056	7,6	23,6	68	31	156	2,8	219	163	205	4,4	1,0	11,1	0,12	0,502	0,049	7,8
nº 25	feb 94	1051	7,8	22,6	68	30	149	2,9	216	151	200	5	1,0	10,9	0,12	0,008	0,075	4,9
nº 25	mar 94	1046	7,8	23,7	71	33	148	2,9	214	151	195	4,9	1,1	11,1	0,12	0,005	0,032	4,7
nº 27	nov 91	858	7,5	22,6	70	27	84	1,9	227	105	127	8,3	0,9	8,3	0,10	0,006	0,036	10,4
nº 27	dic 91	808	7,5	22,8	66	27	82	1,8	232	102	119	6,7	0,9	8,3	0,09	0,005	0,042	10,7
nº 27	ene 92	935	7,9	21,5	63	28	103	2,6	232	122	122	4,6	0,9	8,9	0,10	0,006	0,111	4,3
nº 27	feb 92	820	7,6	22	66	28	126	2,4	227	94	170	5,4	0,8	8,3	0,09	0,005	0,069	8,3
nº 27	may 92	853	7,5	23	67	27	90	1,9	230	93	136	6,7	0,9	9,8	0,10	0,004	0,014	10,5
nº 27	jun 92	876	7,6	22,9	66	27	101	1,7	226	95	133	7,5	0,9	10,0	0,11	0,003	0,027	8,2
nº 27	jul 92	921	7,5	22,8	71	26	83	1,7	231	107	120	6,5	1,0	8,4	0,11	0,013	0,046	10,6
nº 27	ago 92	893	7,5	23	69	27	87	1,7	230	107	130	9,7	1,1	8,1	0,10	0,013	0,042	10,5
nº 27	sep 92	896	7,6	23,4	66	26	87	2,1	227	107	138	5,8	0,8	7,2	0,08	0,004	0,014	8,2
nº 27	oct 92	926	7,7	23,6	82	28	86	1,8	233	107	128	3,8	0,7	8,7	0,10	0,014	0,019	6,6
nº 27	nov 92	814	7,6	22,8	65	27	88	1,8	223	108	128	6,8	0,7	8,3	0,11	0,013	0,015	8,1
nº 27	dic 92	866	7,7	22,7	61	26	92	1,6	225	104	130	5,8	1,2	12,0	0,15	0,020	0,097	6,5
nº 27	ene 93	785	7,6	22	70	27	82	1,5	223	100	118	7,4	0,7	7,9	0,10	0,014	0,129	8,2
nº 27	jun 93	846	7,5	23,6	90	28	88	1,8	228	107	149	7,6	0,8	8,4	0,10	0,015	0,030	10,2
nº 27	jul 93	865	7,7	23,9	70	28	94	1,8	231	109	143	7,4	1,0	7,3	0,09	0,011	0,043	6,5
nº 27	ago 93	828	7,3	23,7	63	28	85	1,9	229	110	125	7,4	0,7	7,8	0,09	0,014	0,007	16,5
nº 27	sep 93	842	7,6	23,9	66	26	86	1,8	227	110	128	10,5	0,7	8,3	0,10	0,014	0,073	8,1
nº 27	oct 93	850	7,5	23,4	69	27	87	1,7	230	110	131	11,8	1,0	9,7	0,09	0,005	0,016	10,4
nº 27	nov 93	866	7,5	23,6	73	29	87	1,6	232	101	128	6,5	1,1	8,1	0,10	0,013	0,050	10,5
nº 27	dic 93	899	7,7	23,5	73	29	87	1,4	232	104	131	5,9	1,1	8,2	0,10	0,014	0,510	6,6
nº 27	ene 94	917	7,6	22,7	68	28	99	1,8	232	107	138	6,6	1,0	7,7	0,09	0,021	0,028	8,4
nº 27	feb 94	928	7,6	22,7	67	27	86	1,8	232	107	108	6,6	0,7	8,1	0,10	0,016	0,016	8,5
nº 27	mar 94	911	7,5	24,3	68	28	89	1,9	230	107	122	6,6	0,7	8,3	0,10	0,015	0,009	10,3
nº 28	feb 92	795	7,5	22,7	65	27	81	1,7	229	93	128	6,7	0,8	8,1	0,09	0,004	0,069	10,5
nº 28	abr 92	793	7,8	22,2	64	29	86	1,7	227	95	136	7,7	0,9	9,6	0,10	0,003	0,037	5,2
nº 28	may 92	809	7,7	22,7	68	27	89	1,7	227	92	120	7,1	0,9	9,5	0,10	0,006	0,039	6,5
nº 28	jun 92	800	7,9	23	70	27	86	1,6	225	95	119	8,3	0,9	9,7	0,10	0,039	0,039	4,0
nº 28	jul 92	880	7,5	21,2	67	28	86	1,8	229	96	128	5,8	1,0	9,3	0,11	0,003	0,701	10,8
nº 28	ago 92	879	7,6	22,3	68	27	93	1,7	234	100	132	6,5	1,0	9,5	0,10	0,003	0,283	8,6
nº 28	sep 92	847	7,6	22,8	62	27	87	1,6	230	97	132	6,6	0,9	8,5	0,09	0,004	0,017	8,4
nº 28	oct 92	824	7,6	22,7	65	27	88	1,9	227	96	125	8,2	0,9	9,4	0,10	0,005	0,025	8,3
nº 28	nov 92	826	7,7	22,4	61	27	87	1,6	227	97	128	8,3	0,9	9,2	0,10	0,002	0,038	6,6
nº 28	dic 92	784	7,8	22,3	67	25	85	1,5	231	89	120	8,3	-	-	-	-	-	5,3
nº 28	ene 93	828	7,6	22,7	69	27	87	1,6	232	98	131	8,5	0,9	9,2	0,10	0,010	0,027	8,4
nº 28	jun 93	807	7,7	23,5	65	28	87	1,7	226	96	143	8,6	0,9	9,5	0,09	0,006	0,031	6,4
nº 28	jul 93	816	7,7	23,5	65	27	97	1,8	232	97	142	8,6	1,1	8,0	0,11	0,013	0,068	6,6
nº 28	ago 93	786	7,7	23,5	68	28	84	1,7	233	101	135	9	1,0	8,1	0,10	0,013	0,056	6,6
nº 28	sep 93	786	7,7	23,5	65	26	88	1,6	228	101	131	11,3	0,9	9,6	0,10	0,005	0,026	6,5
nº 28	oct 93	840	7,5	23,4	68	27	88	1,7	227	103	121	11,5	0,8	9,2	0,10	0,009	0,020	10,3
nº 28	nov 93	833	7,5	23,3	69	27	84	1,6	229	93	114	7,7	0,9	9,3	0,10	0,004	0,022	10,4
nº 28	dic 93	870	7,6	22,5	64	27	90	1,8	229	99	112	8,4	1,0	7,8	0,10	0,013	0,072	8,4
nº 28	ene 94	810	7,6	22,9	69	27	81	1,9	231	95	129	8,6	1,0	9,5	0,09	0,023	0,012	8,4
nº 28	mar 94	870	7,6	22,8	67	27	83	1,7	228	89	143	8,2	0,9	9,4	0,10	0,005	0,072	8,3
nº 38	dic 91	1289	7,5	24,3	88	38	190	3,9	221	217	263	14,7	2,4	12,9	0,19	0,004	0,040	9,6
nº 38	ene 92	1290	7,5	24,6	89	37	178	3,5	220	213	270	7,7	2,1	13,3	0,16	0,004	0,093	9,5
nº 38	feb 92	1279	7,6	24,6	88	37	165	3,3	222	208	256	13	2,0	13,4	0,16	0,004	0,065	7,6
nº 38	abr 92	1340	7,7	24,5	89	38	170	3	222	213	263	14	2,1	13,0	0,17	0,004	0,113	6,1
nº 38	may 92	1280	7,6	24,5	90	38	168	3	220	189	254	13,1	2,1	12,2	0,16	0,003	0,070	7,6
nº 38	jul 92	1290	7,8	24,8	77	37	201	3,7	222	190	262	13,2	2,1	12,3	0,17	0,002	0,066	4,8
nº 38	ago 92	1305	7,5	24,6	84	38	181	3,3	222	189	260	13,4	2,1	12,9	0,18	0,004	0,036	9,7
nº 38	sep 92	1298	7,1	24,8	86	37	202	3,4	225	191	262	13,4	2,0	11,4	0,16	0,002	0,024	24,6
nº 38	oct 92	1266	7,7	24,3	79	36	160	3,5	222	188	249	13,3	2,0	12,4	0,18	0,003	0,041	6,1
nº 38	nov 92	1287	7,6	24,3	70	35	182	3,3	220	187	262	14,1	1,9	12,6	0,18	0,000	0,052	7,7
nº 38	dic 92	1320	7,5	24,5	77	37	178	3,4	225	196	270	13,8	2,0	12,7	0,17	0,003	0,048	9,8
nº 38	abr 93	1345	7,5	24,4	89	36	177	3,8	222	218	266	13,3	2,1	13,5	0,18	0,004	0,023	9,7
nº 38	may 93	1249	7,5	24,7	83	35	195	3,4	223	215	269	14,3	2,4	11,4	0,17	0,013	0,073	9,7
nº 38	jun 93	1243	7,4	24,4	80	36	191	3,6	223	216	277	14,2	2,4	11,3	0,18	0,015	0,068	12,3
nº 38	jul 93	1238	7,5	25,4	85	34	184	3,3	222	214	274	14	2,1	12,9	0,16	0,004	0,029	9,5
nº 38	ago 93	1274	7,4	25,3	86	33	183	3,7	223	209	262	14,2	2,0	12,9	0,17	0,003	0,034	12,1
nº 38	sep 93	1260	7,5	25,5	81	37	164	3,3	222	203	250	14,3	2,0	13,0	0,16	0,003	0,030	9,6
nº 38	oct 93	1290	7,4	25,2	87	36	174	3,2	223	206	269	14,7	2,1	13,0	0,17	0,004	0,024	12,1
nº 38	ene 94	1275	7,5	23,8	92	38	182	3,8	225	211	257	12,3	2,1	12,4	0,16	0,007	0,040	9,9
nº 38	feb 94	1223	7,5	24,3	86	39	178	3,4	221	196	257	12,6	1,9	12,8	0,18	0,004	0,026	9,6
nº 38	mar 94	1210	7,5	25	86	38	179	3,3	224	195	256	12,6	2,0	12,5	0,18	0,004	0,037	9,7
nº 40	ene 92	1837	7,7	25	95	44	276	4,7	221	227	436	9,4	1,9	15	0,19	0,007	-	5,9
nº 40	feb 92	1920	7,6	14,8	86	44	275	4,7	223	240	404	10,3	2,0	15	0,19	0,008	-	8,9
nº 40	mar 92	1833	7,7	25	84	43	277	4,9	230	224	424	9,7	2,1	15	0,18	0,007	-	6,1
nº 40	abr 92	2140	7,7	23,2	75	43	278	4,7	221	220	407	9,4	2,1	15	0,19	0,008	-	6,1
nº 40	jun 92	1970	7,6	21,2	83	44	278	4,6	218	229	424	10,8	2,1	15	0,19	0,008	-	7,8
nº 40	jul 92	2370	7,															

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	T °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	Sr mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Fe mg/l	CO2 mg/l
n° 40	ago 92	2070	7,6	25,4	82	44	287	4,5	221	226	432	9,7	2,1	15	0,19	0,007	-	7,4
n° 40	sep 92	2300	7,7	25,5	76	42	274	4,7	221	228	420	8,6	2,1	15	0,19	0,007	-	5,9
n° 40	oct 92	2160	7,5	24,7	80	43	254	4,6	218	222	410	11,8	2,0	14	0,18	0,007	-	9,3
n° 40	nov 92	2170	7,6	24,5	84	44	251	4,8	221	217	408	10,2	2,0	15	0,19	0,007	-	7,5
n° 40	dic 92	2040	7,9	22,7	85	45	255	4,6	228	222	416	11,7	2,0	14	0,19	0,007	-	3,9
n° 40	ene 93	2150	7,6	24,1	86	44	257	4,6	224	223	412	10,2	2,0	14	0,19	0,008	-	7,6
n° 40	feb 93	1775	7,5	17,4	97	44	271	4,7	224	241	430	9,9	2,0	15	0,19	0,009	-	10,7
n° 40	mar 93	1870	7,1	24,5	97	44	266	4,7	232	244	427	9,3	2,1	14	0,18	0,007	-	25,0
n° 40	abr 93	2020	7,6	24,5	95	45	277	4,7	221	249	407	9,7	2,0	15	0,19	0,007	-	7,5
n° 40	may 93	2400	7,7	24,9	96	44	283	4,9	223	257	440	9,7	2,0	14	0,19	0,008	-	5,9
n° 40	jun 93	2140	7,7	23,5	78	46	288	4,9	221	257	444	10,9	2,3	15	0,19	0,009	-	6,0
n° 40	ago 93	2021	7,6	26,6	86	48	298	5,1	221	266	453	8,2	2,2	14	0,19	0,009	-	7,2
n° 40	sep 93	2190	7,5	25,7	80	44	331	5,3	211	264	476	9,6	2,1	14	0,19	0,007	-	8,8
n° 40	oct 93	2280	7,5	24,6	81	47	314	5,3	219	259	458	9,8	1,6	15	0,19	0,006	-	9,3
n° 40	nov 93	2200	7,6	23,9	91	49	330	5,1	219	261	477	9,4	2	14	0,19	0,008	-	7,4
n° 40	dic 93	2310	7,6	24,3	90	47	328	5,3	225	263	461	10	2,3	11	0,21	0,015	-	7,6
n° 40	ene 94	2380	7,6	22,9	92	48	327	5,5	218	260	467	9,3	2,1	15	0,19	0,012	-	7,5
n° 40	feb 94	2340	7,6	23,4	91	47	333	5,6	214	253	506	8,3	2,1	14	0,19	0,007	-	7,3
n° 40	mar 94	2330	7,7	23,9	91	45	323	5,4	217	269	497	8,7	2,1	14	0,18	0,008	-	5,8
n° 44	may 92	2160	7,4	25,8	155	50	349	5,7	195	468	518	7,8	3,5	18	0,20	0,007	0,038	10,0
n° 44	jun 92	2060	7,5	25,9	136	49	340	5,6	197	469	495	7,8	3,5	17	0,20	0,006	0,034	8,1
n° 44	jul 92	2360	7,4	26	145	52	347	5,8	197	468	514	7,3	3,5	18	0,21	0,007	0,037	10,1
n° 44	ago 92	2190	7,5	25,9	149	50	344	5,6	201	470	527	7,9	3,5	18	0,21	0,007	0,030	8,2
n° 44	sep 92	2330	7,7	25,6	137	52	361	5,8	196	466	525	6,9	3,7	19	0,21	0,006	0,036	5,0
n° 44	oct 92	2280	7,5	26,1	133	50	371	5,7	202	469	520	7,9	3,8	18	0,19	0,007	0,038	8,2
n° 44	nov 92	2250	7,5	26,2	143	50	358	5,8	201	476	540	7,9	3,7	18	0,21	0,006	0,041	8,2
n° 44	dic 92	2250	7,6	26,2	138	50	365	6	206	477	531	8,3	3,5	17	0,20	0,007	0,031	6,6
n° 44	ene 93	2250	7,5	26,4	147	51	349	6,2	202	447	519	6,5	3,5	16	0,21	0,008	0,032	8,2
n° 44	feb 93	2200	7,4	25,3	130	52	346	6,3	195	450	514	6,3	3,4	18	0,20	0,007	0,008	10,2
n° 45	mar 93	2260	7,1	25,5	159	62	329	6,1	202	441	520	4,9	3,8	16	0,21	0,009	0,025	20,9
n° 45	abr 93	2330	7,4	25,7	163	52	352	6,1	207	438	575	7,4	4,1	15	0,20	0,008	0,024	10,6
n° 45	may 93	2510	7,4	25,8	150	53	356	6	201	443	584	7	3,7	16	0,22	0,007	0,026	10,3
n° 45	jun 93	2310	7,3	26	145	56	373	6	199	440	589	7,1	3,8	15	0,20	0,007	0,033	12,9
n° 45	jul 93	2310	7,3	26,6	136	62	377	6,2	202	445	610	7,3	3,8	16	0,21	0,007	0,015	12,9
n° 45	ago 93	2300	7,2	26,3	142	57	356	6	202	432	596	7,3	3,9	17	0,21	0,009	0,026	16,4
n° 45	oct 93	2490	7,4	25,8	148	51	344	5,9	198	431	552	8	3,7	16	0,20	0,009	0,043	10,2
n° 45	nov 93	2430	7,4	26,3	140	55	347	5,9	204	426	562	5,8	3,4	16	0,21	0,010	0,030	10,4
n° 45	dic 93	2380	7,4	26,3	139	55	349	5,8	209	424	558	7,7	4,0	16	0,20	0,008	0,033	10,7
n° 45	ene 94	2260	7,6	27,5	157	57	341	6,1	205	418	525	6,8	3,7	16	0,20	0,022	0,036	6,5
n° 45	mar 94	2490	7,4	25,3	139	54	346	6,1	200	413	574	6,6	3,9	15	0,21	0,008	0,044	10,4
n° 47	dic 91	2460	7,4	25,3	155	60	380	6	208	471	608	8,8	3,7	16	0,20	0,008	0,027	10,7
n° 47	ene 92	2420	7,4	25,3	163	60	375	6	210	466	638	9,6	3,8	15	0,20	0,009	0,025	10,8
n° 47	feb 92	2630	7,4	25,3	156	59	396	6,2	210	493	644	8,5	3,8	16	0,20	0,007	0,024	10,8
n° 47	mar 92	2490	7,4	25,2	151	59	386	6,3	210	479	625	9,6	3,7	16	0,20	0,008	0,019	10,8
n° 47	abr 92	2660	7,5	25,3	164	62	392	6,4	207	496	650	7,1	3,8	16	0,20	0,008	0,013	8,4
n° 47	may 92	2580	7,4	25,3	178	62	395	6,1	206	514	619	7,3	3,9	16	0,21	0,008	0,015	10,5
n° 47	jun 92	2630	7,5	25,4	164	58	394	6	206	494	655	9,6	4,1	16	0,20	0,008	0,014	8,4
n° 47	jul 92	2700	7,2	25,5	159	59	407	6	207	490	643	9,9	4,1	17	0,21	0,009	0,021	16,8
n° 47	ago 92	2570	7,3	25,4	163	57	378	6,4	207	486	626	8,2	4,1	17	0,21	0,009	0,019	13,4
n° 47	sep 92	2700	7,4	25,6	162	57	398	6,1	207	481	630	8,6	4,0	17	0,21	0,010	0,022	10,6
n° 47	oct 92	2690	7,5	25,5	162	56	403	6,2	205	519	645	8,2	4,1	17	0,21	0,008	0,027	8,3
n° 47	nov 92	2690	7,5	25,6	159	55	396	6	207	497	635	9,9	3,9	17	0,22	0,008	0,019	8,4
n° 47	dic 92	2690	7,4	25,4	151	53	392	5,9	207	488	618	9	3,8	17	0,22	0,008	0,026	10,7
n° 47	ene 93	2680	7,4	25,4	168	56	391	6	208	500	637	9,5	3,9	17	0,21	0,009	0,026	10,7
n° 47	feb 93	2500	7,5	25,4	163	58	404	6,1	207	518	640	8,4	3,9	17	0,21	0,008	0,016	8,4
n° 47	mar 93	2650	7,4	25	162	56	403	6,3	211	492	627	6,3	4,0	18	0,22	0,009	0,025	10,9
n° 47	abr 93	2560	7,3	25,4	165	58	410	6,4	212	513	650	7,3	3,9	17	0,23	0,010	0,020	13,7
n° 47	may 93	2800	7,3	25,5	171	58	407	6	209	508	660	5,9	4,2	18	0,22	0,011	0,021	13,5
n° 47	jun 93	2530	7,3	25,4	153	51	408	6	207	489	645	7,4	4,0	18	0,22	0,009	0,035	13,4
n° 47	jul 93	2550	7,3	26,3	156	65	420	6,2	208	491	659	7,7	4,1	17	0,22	0,008	0,018	13,2
n° 47	ago 93	2600	7,3	25,7	154	64	410	6,3	213	493	666	7,6	3,9	17	0,22	0,012	0,024	13,7
n° 47	sep 93	2610	7,3	25,8	163	57	412	6,4	208	510	642	7,6	4,0	18	0,22	0,009	0,022	13,4
n° 47	oct 93	2720	7,3	25,4	163	57	412	6,5	205	515	635	8,5	4,0	17	0,23	0,016	0,023	13,2
n° 47	nov 93	2770	7,3	25,5	168	62	398	6	211	489	641	7,2	3,7	17	0,22	0,009	0,017	13,6
n° 47	dic 93	2780	7,4	25,3	171	61	409	6,2	211	480	721	6,8	4,0	17	0,22	0,010	0,019	10,8
n° 47	ene 94	2840	7,4	25,1	178	59	411	6,4	210	500	656	7,3	3,9	17	0,23	0,008	0,017	10,8
n° 47	mar 94	2800	7,3	24,9	164	60	426	6,6	211	485	656	7,1	3,9	14	0,23	0,020	0,038	13,7
n° 48	feb 92	2320	7,4	25,4	170	60	375	6	206	451	588	8,9	4,1	16	0,22	0,007	0,016	10,6
n° 48	mar 92	2190	7,6	25,3	143	56	375	5,8	206	436	567	10,7	4,0	15	0,22	0,008	0,017	6,7
n° 48	abr 92	2320	7,5	25,3	146	56	387	6,1	203	446	587	8,3	4,0	16	0,22	0,009	0,018	8,3
n° 48	may 92	2360	7,4	25,4	142	54	373	6	204	456	587	8,5	4,3	16	0,22	0,009	0,018	10,5
n° 48	jun 92	2410	7,5	25,4	150	56	385	5,7	206	478	587	9,7	4,2	16	0,21	0,008	0,019	8,4
n° 48	jul 92	2500	7,3	25,5	149	54	395	5,9	203	476	581	9,7	4,2	16	0,22	0,008	0,012	13,2
n° 48	ago 92	2340	7,4	25,5	144	54	383	6	204	478	581	9,1	4,3	16	0,23	0,008	0,012	10,5
n° 48	sep 92	2490	7,4	25,6</														

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	T °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	Sr mg/l	SiO2 mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Fe mg/l	CO2 mg/l
nº 48	oct 92	2430	7,4	25,4	146	54	380	6,4	202	481	586	9,1	3,7	16	0,22	0,007	0,019	10,4
nº 48	nov 92	2500	7,4	25,4	143	53	379	5,9	206	487	572	9	4,1	17	0,22	0,008	0,047	10,6
nº 48	dic 92	2430	7,4	25,3	159	56	375	6,1	208	489	593	18,1	4,0	16	0,21	0,008	0,037	10,7
nº 48	ene 93	2630	7,4	25,3	174	59	384	6	207	464	602	9,4	3,7	15	0,20	0,007	0,049	10,6
nº 48	feb 93	2380	7,4	25,4	150	52	370	6	210	473	585	8,7	3,8	17	0,20	0,007	0,022	10,8
nº 48	mar 93	2360	7,5	25,5	159	54	364	6	211	482	587	7,4	4,0	17	0,22	0,008	0,020	8,6
nº 48	abr 93	2340	7,4	25,4	161	55	372	6	211	476	590	7,9	4,0	16	0,21	0,007	0,018	10,9
nº 48	may 93	2580	7,4	25,6	160	55	398	6	207	477	624	7,7	4,0	16	0,21	0,007	0,022	10,6
nº 48	jun 93	2240	7,3	25,5	143	51	390	5,8	206	468	599	12,6	4,0	16	0,20	0,007	0,049	13,4
nº 48	jul 93	2330	7,4	26,4	142	59	390	5,9	208	452	596	8,3	3,9	16	0,20	0,007	0,020	10,6
nº 48	ago 93	2550	7,3	25,6	136	63	376	6	203	459	617	8	3,8	16	0,20	0,007	0,023	13,2
nº 48	sep 93	2500	7,3	25,8	151	53	383	6	206	462	580	8,6	3,7	16	0,20	0,007	0,054	13,3
nº 48	oct 93	2560	7,4	25,4	141	53	388	6,1	204	464	600	8,9	3,8	14	0,16	0,007	0,002	10,5
nº 48	nov 93	2530	7,4	25,7	153	55	360	5,9	209	457	569	7,5	3,8	16	0,20	0,007	0,019	10,7
nº 48	dic 93	2480	7,4	25,2	148	56	353	5,8	209	453	551	8,4	3,9	16	0,20	0,007	0,018	10,8
nº 48	ene 94	2490	7,5	25,2	150	57	368	6,2	209	450	542	7,6	3,8	16	0,20	0,009	0,018	8,6
nº 48	feb 94	2590	7,5	25,9	152	55	357	6,1	204	443	592	7,3	3,6	15	0,20	0,007	0,018	8,3
nº 48	mar 94	2560	7,3	24,1	145	55	356	6,2	207	434	582	7,4	3,7	15	0,20	0,006	0,016	13,7
nº 50	nov 91	2440	7,3	25,3	146	57	388	5,9	207	449	615	10,1	3,5	17	0,23	0,008	0,025	13,5
nº 50	dic 91	2450	7,4	25,2	148	59	410	6,1	208	440	593	10,6	3,5	17	0,23	0,008	0,017	10,7
nº 50	ene 92	2470	7,4	25,2	165	60	399	6,3	210	438	593	9,6	3,5	17	0,23	0,008	0,026	10,8
nº 50	abr 92	2680	7,6	25,2	155	60	415	6,3	211	449	625	10,3	3,8	17	0,23	0,010	0,025	6,8
nº 50	may 92	2680	7,3	25,2	169	61	400	6,4	208	436	616	9,7	3,8	18	0,23	0,010	0,015	13,4
nº 50	jun 92	2670	7,4	25,3	153	57	422	6,1	208	464	627	9,3	4,0	18	0,23	0,010	0,019	10,7
nº 50	jul 92	2820	7,2	25,3	148	56	415	6	208	424	616	9,7	4,0	17	0,23	0,010	0,019	17,0
nº 50	ago 92	2660	7,3	25,3	160	58	427	6	209	430	624	7,4	4,0	17	0,22	0,009	0,022	13,5
nº 50	sep 92	2590	7,4	25	145	57	421	6,2	208	440	630	8,4	4,0	18	0,24	0,009	0,032	10,7
nº 50	oct 92	2620	7,4	25,5	165	56	419	6,2	208	445	625	9,3	4,0	17	0,23	0,010	0,038	10,6
nº 50	nov 92	2790	7,4	25,3	158	55	426	6,3	209	448	649	10,1	3,9	18	0,24	0,011	0,019	10,7
nº 50	ene 93	2730	7,4	25,3	150	57	407	6,1	207	450	644	8,9	3,8	18	0,22	0,010	0,045	10,6
nº 50	feb 93	2640	7,4	25,2	126	60	425	6,3	210	460	632	8	3,8	16	0,23	0,009	0,022	10,4
nº 50	mar 93	2640	7,5	25	173	57	441	6,3	211	468	633	5,4	4,1	18	0,24	0,010	0,060	8,6
nº 50	abr 93	2610	7,4	25,3	165	54	437	6,4	211	455	620	7,8	3,9	17	0,23	0,009	0,021	10,8
nº 50	may 93	2890	7,3	25,3	169	59	457	6,3	211	466	667	7,2	3,9	17	0,23	0,008	0,025	13,6
nº 50	jun 93	2570	7,3	25,3	153	61	421	6,2	210	478	674	7,6	4,0	17	0,24	0,010	0,022	13,6
nº 50	jul 93	2640	7,3	26,2	149	64	434	6,3	208	480	667	8,1	4,1	18	0,23	0,009	0,021	13,3
nº 50	ago 93	2700	7,3	25,5	149	60	431	6,2	211	469	652	7,9	4,1	18	0,24	0,009	0,017	13,6
nº 50	sep 93	2710	7,3	25,8	163	56	435	6,3	211	482	649	7,8	4,3	18	0,24	0,011	0,039	13,5
nº 50	oct 93	2870	7,4	25,6	168	57	421	6,2	208	489	635	8,6	4,1	17	0,24	0,010	0,020	10,6
nº 50	nov 93	2870	7,3	25,7	167	63	423	6,1	211	478	628	6,7	4,1	18	0,23	0,010	0,019	13,5
nº 50	dic 93	2800	7,4	25,1	164	61	434	6,2	211	487	640	9,5	4,1	18	0,22	0,010	0,017	10,8
nº 50	ene 94	2790	7,5	25,2	166	60	434	6,2	211	487	664	12,8	3,9	17	0,24	0,027	0,016	8,5
nº 50	feb 94	2800	7,3	26	162	59	453	6,5	209	483	623	7,3	4,0	18	0,24	0,009	0,018	13,4
nº 50	mar 94	2890	7,3	24,7	165	63	425	6,2	211	473	648	7,4	3,9	17	0,24	0,010	0,013	13,7
nº 55	feb 92	935	7,5	22,1	103	25	123	1,6	235	120	183	9,3	1,2	8,9	0,08	0,006	0,017	10,7
nº 55	mar 92	858	7,4	22,1	88	25	126	1,7	235	121	194	10,2	1,2	7,5	0,08	0,006	0,007	13,6
nº 55	abr 92	950	7,6	22,1	87	25	124	1,6	234	125	186	10,3	1,3	7,5	0,08	0,006	0,009	8,5
nº 55	may 92	988	7,8	22,3	85	25	123	1,8	235	122	182	8,1	1,2	7,2	0,07	0,005	0,013	5,3
nº 55	jun 92	948	7,8	22,3	95	25	111	1,6	235	119	184	8,8	1,1	7,5	0,08	0,007	0,012	5,3
nº 55	jul 92	1021	7,5	22,1	90	26	127	1,6	235	122	186	8,7	1,2	7,2	0,08	0,005	0,075	16,7
nº 55	ago 92	975	7,5	22,2	99	26	110	1,6	233	121	185	10,1	1,2	7,8	0,08	0,006	0,015	10,6
nº 55	sep 92	956	7,6	22,1	91	25	114	1,6	235	122	181	9,6	1,2	7,3	0,08	0,005	0,015	8,5
nº 55	oct 92	1025	7,6	22,2	96	25	107	1,7	235	122	185	9,5	1,2	8,5	0,10	0,005	0,021	8,5
nº 55	nov 92	987	7,6	22,3	87	25	110	1,7	236	126	185	10,8	1,2	7,5	0,10	0,008	0,014	8,6
nº 55	dic 92	990	7,8	22	84	25	117	1,6	239	123	181	12	1,2	8,4	0,08	0,010	0,018	5,5
nº 55	ene 93	1002	7,5	22,2	89	25	122	1,6	235	108	177	10,7	1,3	8,0	0,09	0,005	0,018	10,7
nº 55	feb 93	945	7,6	22,3	93	25	126	1,7	232	130	174	10,9	1,2	7,6	0,09	0,005	0,019	8,4
nº 55	mar 93	1002	7,7	22,3	77	25	117	1,6	237	130	170	10,4	1,1	8,4	0,09	0,006	0,009	6,8
nº 55	abr 93	940	7,6	22,2	94	26	124	1,6	235	132	180	8,2	1,3	8,4	0,10	0,009	0,023	8,5
nº 55	may 93	1145	7,5	22,3	92	26	131	1,5	236	135	199	10,6	1,3	7,5	0,10	0,005	0,018	10,7
nº 55	jun 93	1014	7,4	22,2	96	23	119	1,7	236	135	200	10,7	1,3	8,2	0,09	0,006	0,014	13,6
nº 55	jul 93	969	7,5	22,6	97	22	114	1,7	235	135	199	10,8	1,4	7,9	0,08	0,007	0,011	10,7
nº 55	ago 93	846	7,4	22,8	94	25	110	1,7	234	133	193	10,5	1,3	7,7	0,09	0,007	0,010	13,3
nº 55	sep 93	849	7,5	23,1	95	25	117	1,5	228	139	190	14	1,3	8,2	0,08	0,007	0,005	10,3
nº 55	oct 93	944	7,4	21,8	98	26	128	1,5	233	138	190	13,8	1,3	7,3	0,08	0,008	0,008	13,4
nº 55	nov 93	938	7,5	22	91	26	125	1,5	232	134	183	10,3	1,3	7,6	0,10	0,006	0,010	10,6
nº 55	dic 93	919	7,5	21,9	98	26	114	1,5	225	135	186	10,5	1,2	7,8	0,09	0,008	0,011	10,4
nº 55	ene 94	979	7,5	21,8	93	25	127	1,6	227	124	184	9,9	1,2	7,4	0,08	0,007	0,016	10,3
nº 55	mar 94	962	7,4	22,4	97	25	132	1,7	232	123	177	9,9	1,3	8,3	0,10	0,008	0,014	13,3





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## PRINCIPALES RELACIONES IÓNICAS (ACUÍFERO DE CREVILLENTE)

Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
n° 2	nov 91	0,90	2,55	4,64	1,82	0,98	2,51	0,67	1,21	0,012
n° 2	feb 92	0,83	2,18	4,25	1,95	0,94	2,55	0,67	1,30	0,012
n° 2	abr 92	0,76	2,35	4,42	1,88	1,00	2,54	0,64	1,20	0,011
n° 2	may 92	0,85	2,52	4,84	1,92	1,00	2,52	0,64	1,23	0,012
n° 2	jun 92	0,78	2,54	4,91	1,93	0,98	2,54	0,61	1,17	0,012
n° 2	jul 92	0,79	2,51	4,77	1,90	0,98	2,56	0,63	1,20	0,012
n° 2	ago 92	0,77	2,61	5,37	2,06	1,00	2,57	0,58	1,18	0,012
n° 2	sep 92	0,88	2,56	5,36	2,10	1,00	2,52	0,65	1,37	0,013
n° 2	oct 92	0,76	2,76	5,58	2,02	1,04	2,54	0,60	1,21	0,011
n° 2	nov 92	0,83	3,65	5,34	1,46	0,98	2,51	0,67	0,98	0,013
n° 2	ene 93	0,64	2,69	5,24	1,95	1,05	2,58	0,55	1,08	0,000
n° 2	feb 93	0,84	2,77	5,36	1,94	1,04	2,53	0,61	1,18	0,000
n° 2	may 93	0,78	2,89	5,14	1,78	1,02	2,55	0,73	1,30	0,013
n° 2	jun 93	0,90	2,78	5,26	1,89	1,04	2,53	0,73	1,38	0,013
n° 2	jul 93	0,88	2,76	5,75	2,09	1,11	2,55	0,67	1,39	0,012
n° 2	ago 93	0,80	2,88	5,81	2,02	1,07	2,55	0,59	1,20	0,011
n° 2	sep 93	0,73	2,64	5,74	2,17	1,06	2,58	0,58	1,27	0,010
n° 2	oct 93	0,71	2,61	5,74	2,20	1,05	2,58	0,57	1,26	0,010
n° 2	feb 94	0,73	2,31	5,14	2,22	1,02	2,56	0,57	1,26	0,011
n° 2	mar 94	0,68	2,43	5,42	2,23	1,00	2,61	0,51	1,13	0,010
n° 6	ene 92	0,70	1,89	2,82	1,49	1,01	2,57	0,67	1,00	0,010
n° 6	feb 92	0,71	2,09	3,06	1,46	0,95	2,56	0,68	0,99	0,010
n° 6	may 92	0,87	2,24	3,39	1,52	1,03	2,49	0,77	1,17	0,013
n° 6	jun 92	0,74	1,93	3,29	1,70	0,91	2,51	0,68	1,16	0,011
n° 6	jul 92	0,72	1,98	3,28	1,65	0,91	2,52	0,67	1,10	0,011
n° 6	ago 92	0,76	1,91	3,48	1,82	0,93	2,53	0,71	1,29	0,012
n° 6	sep 92	0,83	2,11	3,51	1,67	0,89	2,50	0,73	1,22	0,012
n° 6	oct 92	0,73	2,19	3,40	1,55	0,92	2,53	0,69	1,08	0,011
n° 6	nov 92	0,82	2,04	3,32	1,63	0,89	2,54	0,74	1,21	0,012
n° 6	dic 92	0,73	2,14	3,40	1,59	0,96	2,57	0,75	1,18	0,011
n° 6	mar 93	0,83	2,29	3,00	1,31	1,01	2,55	0,75	0,98	0,010
n° 6	may 93	0,70	1,89	2,90	1,53	1,00	2,58	0,74	1,13	0,011
n° 6	jun 93	0,74	1,96	2,98	1,52	1,00	2,55	0,79	1,20	0,011
n° 6	jul 93	0,93	2,46	3,37	1,37	1,10	2,51	0,77	1,06	0,012
n° 6	ago 93	0,88	1,95	3,60	1,85	0,95	2,51	0,70	1,30	0,012
n° 6	sep 93	0,70	2,10	3,50	1,67	0,97	2,56	0,69	1,15	0,011
n° 6	oct 93	0,67	1,96	3,75	1,92	0,96	2,56	0,59	1,12	0,009
n° 6	nov 93	0,76	2,19	3,76	1,72	0,97	2,56	0,68	1,16	0,011
n° 6	dic 93	0,74	2,04	2,96	1,46	1,08	2,59	0,70	1,02	0,010
n° 6	feb 94	0,79	2,03	3,21	1,59	0,97	2,55	0,75	1,18	0,012
n° 6	mar 94	0,70	1,95	3,31	1,70	0,95	2,58	0,65	1,10	0,010
n° 9	ago 92	0,84	3,19	8,29	2,60	1,10	2,54	0,45	1,16	0,011
n° 9	sep 92	0,85	3,03	8,35	2,75	1,08	2,51	0,43	1,18	0,011
n° 9	jun 93	0,88	2,55	6,91	2,71	1,03	2,50	0,54	1,46	0,013
n° 9	jul 93	0,85	2,60	8,12	3,13	1,07	2,51	0,47	1,46	0,013
n° 9	ago 93	0,91	2,74	8,09	2,95	1,08	2,57	0,43	1,28	0,011
n° 9	sep 93	0,72	2,63	8,14	3,09	1,06	2,54	0,43	1,33	0,016
n° 9	oct 93	0,83	2,61	8,13	3,11	1,06	2,52	0,45	1,41	0,012
n° 9	nov 93	0,84	2,62	8,30	3,17	1,05	2,55	0,41	1,31	0,011
n° 9	dic 93	0,83	2,61	7,94	3,05	1,06	2,58	0,41	1,24	0,011
n° 9	feb 94	0,70	2,61	7,93	3,04	1,07	2,57	0,40	1,21	0,011
n° 9	mar 94	0,75	2,52	7,78	3,09	0,95	2,58	0,40	1,22	0,011
n° 10	dic 91	0,73	2,22	3,96	1,78	1,06	2,56	0,61	1,09	0,011
n° 10	ene 92	0,62	2,26	4,13	1,83	1,02	2,56	0,60	1,10	0,010
n° 10	feb 92	0,76	2,32	3,90	1,68	0,94	2,55	0,61	1,03	0,012
n° 10	mar 92	0,74	2,32	4,57	1,97	1,08	2,55	0,61	1,20	0,011
n° 10	abr 92	0,79	2,10	4,01	1,91	1,03	2,54	0,66	1,26	0,012
n° 10	may 92	0,72	2,11	4,32	2,05	1,00	2,51	0,67	1,38	0,013
n° 10	jun 92	0,76	1,99	4,23	2,12	0,97	2,54	0,54	1,14	0,011

Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
nº 10	jul 92	0,81	2,35	4,38	1,86	0,99	2,56	0,61	1,14	0,012
nº 10	ago 92	0,77	2,63	4,62	1,76	1,06	2,54	0,68	1,20	0,012
nº 10	sep 92	0,79	2,44	4,58	1,88	0,97	2,54	0,69	1,30	0,012
nº 10	oct 92	0,81	2,54	4,64	1,83	1,01	2,55	0,64	1,17	0,012
nº 10	nov 92	0,76	2,09	4,06	1,94	0,94	2,53	0,64	1,24	0,012
nº 10	ene 93	0,71	2,25	4,15	1,84	1,06	2,60	0,62	1,14	0,011
nº 10	mar 93	0,69	2,14	4,22	1,97	1,05	2,63	0,52	1,02	0,010
nº 10	abr 93	0,80	2,64	4,22	1,60	1,05	2,55	0,69	1,09	0,012
nº 10	may 93	0,77	2,18	4,13	1,89	0,95	2,55	0,66	1,24	0,012
nº 10	jun 93	0,75	2,19	4,28	1,95	0,97	2,56	0,65	1,27	0,012
nº 10	jul 93	0,83	2,15	4,73	2,20	1,02	2,52	0,60	1,32	0,012
nº 10	ago 93	0,80	2,70	5,00	1,85	1,07	2,57	0,63	1,17	0,011
nº 10	sep 93	0,76	2,56	4,90	1,91	1,04	2,56	0,65	1,24	0,012
nº 10	oct 93	0,75	2,78	5,04	1,81	1,05	2,55	0,66	1,20	0,012
nº 10	nov 93	0,76	2,67	5,05	1,89	1,04	2,60	0,61	1,15	0,011
nº 10	dic 93	0,76	2,74	5,68	2,07	1,02	2,58	0,58	1,20	0,012
nº 10	ene 94	0,77	2,12	4,52	2,13	0,97	2,55	0,56	1,19	0,011
nº 10	feb 94	0,78	2,07	4,29	2,08	0,97	2,55	0,59	1,23	0,012
nº 10	mar 94	0,71	2,16	4,11	1,90	0,83	2,59	0,55	1,05	0,011
nº 13	nov 91	0,78	2,25	3,09	1,37	0,92	2,53	0,72	0,99	0,001
nº 13	ene 92	0,75	2,02	3,11	1,54	1,04	2,53	0,74	1,14	0,001
nº 13	abr 92	0,77	2,04	3,29	1,61	1,04	2,53	0,70	1,12	0,001
nº 13	ago 92	0,81	2,30	3,67	1,60	1,03	2,52	0,74	1,18	0,001
nº 13	nov 92	0,77	2,36	3,56	1,51	1,04	2,55	0,76	1,15	0,001
nº 13	dic 92	0,87	2,56	3,33	1,30	0,90	2,52	0,86	1,13	0,001
nº 13	abr 93	0,71	2,62	3,56	1,36	0,95	2,54	0,72	0,98	0,001
nº 14	ene 92	0,71	2,15	2,69	1,25	1,02	2,55	0,79	0,99	0,011
nº 14	feb 92	0,72	2,39	2,83	1,19	1,05	2,56	0,80	0,94	0,010
nº 14	abr 92	0,72	2,14	2,59	1,21	1,02	2,57	0,81	0,98	0,011
nº 14	may 92	0,78	2,22	2,75	1,24	1,01	2,54	0,81	1,01	0,013
nº 14	jun 92	0,92	2,38	2,79	1,17	0,99	2,54	0,94	1,10	0,013
nº 14	jul 92	0,89	2,37	2,88	1,21	1,01	2,56	0,92	1,12	0,012
nº 14	sep 92	0,71	2,46	2,87	1,17	0,99	2,57	0,76	0,88	0,011
nº 14	ene 93	0,74	2,37	2,77	1,17	1,03	2,54	0,80	0,94	0,011
nº 14	mar 93	0,79	1,84	2,70	1,47	0,95	2,59	0,74	1,08	0,012
nº 14	may 93	0,80	2,05	2,80	1,37	0,98	2,55	0,83	1,13	0,012
nº 14	jun 93	0,84	2,27	2,98	1,31	1,03	2,57	0,84	1,11	0,012
nº 14	jul 93	0,84	2,33	3,07	1,32	0,97	2,55	0,85	1,12	0,011
nº 14	ago 93	0,86	2,36	3,18	1,34	1,01	2,58	0,83	1,12	0,012
nº 14	sep 93	0,72	2,37	3,20	1,35	1,01	2,57	0,79	1,07	0,012
nº 14	oct 93	0,72	2,42	3,29	1,36	1,00	2,55	0,77	1,05	0,011
nº 14	nov 93	0,73	2,32	3,34	1,44	0,99	2,56	0,69	1,00	0,010
nº 14	dic 93	0,79	2,43	3,47	1,43	0,97	2,56	0,76	1,08	0,011
nº 14	feb 94	0,79	2,58	3,30	1,28	1,01	2,57	0,79	1,01	0,011
nº 14	mar 94	0,71	2,40	3,25	1,36	1,06	2,58	0,74	1,00	0,012
nº 15	abr 92	0,77	2,94	2,61	0,89	0,89	2,68	1,02	0,91	0,010
nº 15	may 92	0,72	3,33	2,50	0,75	0,95	2,68	1,02	0,77	0,010
nº 15	jun 92	0,90	3,16	2,50	0,79	0,95	2,60	1,08	0,85	0,011
nº 15	jul 92	0,86	2,90	2,69	0,93	0,93	2,67	1,11	1,03	0,011
nº 15	ago 92	0,80	3,23	2,62	0,81	0,99	2,64	1,04	0,84	0,010
nº 15	sep 92	0,75	3,03	2,56	0,85	1,01	2,65	0,97	0,82	0,010
nº 15	mar 93	0,74	2,57	2,30	0,89	0,94	2,70	0,96	0,86	0,008
nº 15	may 93	0,78	2,73	2,54	0,93	0,97	2,64	1,11	1,03	0,011
nº 15	jun 93	0,69	2,81	2,64	0,94	0,98	2,66	0,99	0,93	0,010
nº 15	jul 93	0,75	2,88	2,74	0,95	1,01	2,65	0,92	0,87	0,009
nº 15	ago 93	0,76	2,74	2,70	0,99	1,02	2,67	0,95	0,94	0,009
nº 15	sep 93	0,71	2,85	2,70	0,95	1,02	2,64	0,98	0,93	0,009
nº 15	oct 93	0,77	2,80	2,69	0,96	1,03	2,62	1,00	0,96	0,010
nº 15	nov 93	0,73	2,75	2,50	0,91	0,99	2,69	1,00	0,91	0,009
nº 15	dic 93	0,79	2,82	2,57	0,91	0,99	2,65	1,05	0,95	0,010
nº 15	feb 94	0,64	2,89	2,53	0,88	0,91	2,67	0,87	0,77	0,008
nº 15	mar 94	0,72	2,85	2,54	0,89	0,90	2,65	0,96	0,86	0,010
nº 20	mar 92	0,83	2,51	4,87	1,94	1,02	2,53	0,62	1,20	0,011
nº 20	may 92	0,81	2,39	4,87	2,04	1,10	2,56	0,56	1,14	0,011
nº 20	jun 92	0,75	2,81	5,78	2,06	1,11	2,57	0,55	1,12	0,012
nº 20	jul 92	0,75	2,91	5,98	2,06	1,15	2,55	0,54	1,10	0,010

Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
n° 20	ago 92	0,67	3,02	5,86	1,94	1,14	2,59	0,53	1,02	0,010
n° 20	ago 93	0,88	3,09	7,02	2,27	1,05	2,55	0,58	1,32	0,012
n° 20	oct 93	0,74	2,66	6,26	2,35	1,03	2,59	0,53	1,25	0,011
n° 20	nov 93	0,77	2,38	5,42	2,27	0,99	2,58	0,54	1,22	0,011
n° 20	dic 93	0,78	2,57	5,78	2,25	1,04	2,56	0,53	1,20	0,011
n° 20	ene 94	0,73	2,64	5,15	1,95	0,95	2,59	0,53	1,02	0,010
n° 20	feb 94	0,77	2,64	5,86	2,22	1,09	2,56	0,53	1,17	0,011
n° 20	mar 94	0,81	2,70	6,14	2,28	1,06	2,53	0,53	1,21	0,011
n° 25	ene 92	0,74	1,80	1,58	0,88	0,76	2,49	1,13	0,99	0,007
n° 25	feb 92	0,75	1,93	1,69	0,87	0,91	2,49	1,11	0,97	0,007
n° 25	may 92	0,76	1,86	1,62	0,87	0,85	2,48	1,15	1,00	0,008
n° 25	jun 92	0,73	1,84	1,64	0,89	0,82	2,47	1,07	0,95	0,007
n° 25	jul 92	0,81	1,86	1,64	0,88	0,80	2,48	1,19	1,05	0,008
n° 25	sep 92	0,74	1,85	1,72	0,93	0,79	2,47	1,12	1,05	0,008
n° 25	oct 92	0,73	1,73	1,61	0,93	0,78	2,50	1,10	1,02	0,007
n° 25	nov 92	0,80	1,79	1,67	0,93	0,84	2,46	1,17	1,09	0,008
n° 25	ago 93	0,78	1,87	1,82	0,97	0,93	2,48	1,06	1,03	0,006
n° 25	sep 93	0,81	1,65	1,61	0,98	0,82	2,46	1,13	1,10	0,008
n° 25	oct 93	0,71	1,66	1,70	1,02	0,86	2,44	1,00	1,02	0,007
n° 25	nov 93	0,69	1,75	1,66	0,95	0,76	2,50	1,06	1,00	0,007
n° 25	dic 93	0,78	1,65	1,64	0,99	0,80	2,47	1,06	1,06	0,007
n° 25	ene 94	0,74	1,70	1,61	0,95	0,85	2,51	1,05	1,00	0,007
n° 25	feb 94	0,72	1,80	1,59	0,89	0,87	2,49	1,03	0,92	0,007
n° 25	mar 94	0,76	1,75	1,56	0,89	0,85	2,49	0,99	0,88	0,007
n° 27	nov 91	0,63	1,63	0,96	0,59	0,98	2,57	1,06	0,62	0,006
n° 27	dic 91	0,67	1,58	0,88	0,56	0,94	2,59	1,15	0,64	0,006
n° 27	ene 92	0,74	1,36	0,90	0,67	0,77	2,58	1,20	0,80	0,006
n° 27	feb 92	0,71	2,43	1,29	0,53	0,87	2,55	1,14	0,60	0,006
n° 27	may 92	0,66	1,99	1,02	0,51	0,98	2,57	1,13	0,58	0,006
n° 27	jun 92	0,67	1,88	1,01	0,54	0,85	2,55	1,12	0,60	0,006
n° 27	jul 92	0,61	1,52	0,89	0,59	0,94	2,59	1,07	0,63	0,007
n° 27	ago 92	0,66	1,64	0,97	0,59	0,97	2,58	1,10	0,65	0,007
n° 27	sep 92	0,65	1,74	1,05	0,60	1,03	2,55	1,13	0,68	0,006
n° 27	oct 92	0,55	1,62	0,94	0,58	0,96	2,63	0,93	0,54	0,004
n° 27	nov 92	0,69	1,60	0,98	0,61	0,94	2,53	1,13	0,69	0,005
n° 27	dic 92	0,70	1,69	0,99	0,59	0,92	2,53	1,21	0,71	0,009
n° 27	ene 93	0,63	1,59	0,91	0,57	0,93	2,54	1,04	0,59	0,004
n° 27	jun 93	0,51	1,89	1,12	0,59	1,09	2,62	0,83	0,50	0,004
n° 27	jul 93	0,66	1,77	1,07	0,60	0,99	2,58	1,09	0,65	0,007
n° 27	ago 93	0,73	1,54	0,94	0,61	0,95	2,56	1,19	0,72	0,005
n° 27	sep 93	0,66	1,56	0,97	0,62	0,96	2,55	1,13	0,70	0,005
n° 27	oct 93	0,65	1,61	0,98	0,61	0,98	2,58	1,10	0,67	0,007
n° 27	nov 93	0,64	1,71	0,94	0,55	0,95	2,60	1,04	0,57	0,007
n° 27	dic 93	0,64	1,71	0,97	0,57	0,97	2,60	1,04	0,59	0,007
n° 27	ene 94	0,67	1,74	1,02	0,59	0,90	2,59	1,11	0,65	0,007
n° 27	feb 94	0,67	1,36	0,80	0,59	0,81	2,59	1,14	0,67	0,005
n° 27	mar 94	0,66	1,54	0,91	0,59	0,89	2,58	1,11	0,65	0,005
n° 28	feb 92	0,68	1,86	0,96	0,51	1,02	2,57	1,16	0,60	0,006
n° 28	abr 92	0,75	1,95	1,03	0,53	1,02	2,55	1,17	0,62	0,007
n° 28	may 92	0,65	1,76	0,91	0,52	0,87	2,56	1,10	0,57	0,006
n° 28	jun 92	0,63	1,70	0,91	0,54	0,90	2,55	1,06	0,57	0,006
n° 28	jul 92	0,68	1,79	0,96	0,53	0,96	2,57	1,12	0,60	0,007
n° 28	ago 92	0,65	1,77	0,97	0,55	0,92	2,60	1,13	0,62	0,006
n° 28	sep 92	0,71	1,84	0,98	0,53	0,98	2,56	1,21	0,65	0,007
n° 28	oct 92	0,68	1,76	0,95	0,54	0,93	2,55	1,15	0,62	0,006
n° 28	nov 92	0,71	1,79	0,97	0,54	0,95	2,54	1,22	0,66	0,007
n° 28	dic 92	0,62	1,82	0,89	0,49	0,91	2,58	1,13	0,56	0,000
n° 28	ene 93	0,64	1,81	0,97	0,54	0,98	2,59	1,10	0,59	0,006
n° 28	jun 93	0,70	2,01	1,09	0,54	1,06	2,55	1,15	0,62	0,006
n° 28	jul 93	0,69	1,98	1,05	0,53	0,95	2,58	1,17	0,62	0,007
n° 28	ago 93	0,68	1,81	1,00	0,55	1,04	2,59	1,13	0,62	0,007
n° 28	sep 93	0,66	1,75	0,99	0,56	0,96	2,56	1,15	0,65	0,006
n° 28	oct 93	0,65	1,59	0,91	0,57	0,89	2,56	1,09	0,63	0,006
n° 28	nov 93	0,64	1,65	0,85	0,52	0,88	2,58	1,09	0,56	0,006
n° 28	dic 93	0,68	1,52	0,84	0,55	0,81	2,56	1,17	0,64	0,007

Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
n° 28	ene 94	0,64	1,84	0,96	0,52	1,03	2,58	1,09	0,57	0,006
n° 28	mar 94	0,67	2,18	1,07	0,49	1,11	2,56	1,13	0,56	0,006
n° 38	dic 91	0,71	1,64	2,04	1,25	0,90	2,57	0,82	1,03	0,013
n° 38	ene 92	0,69	1,71	2,11	1,23	0,98	2,57	0,81	1,00	0,011
n° 38	feb 92	0,69	1,66	1,99	1,19	1,00	2,58	0,83	0,98	0,010
n° 38	abr 92	0,71	1,67	2,03	1,22	1,00	2,58	0,82	1,00	0,011
n° 38	may 92	0,70	1,82	1,98	1,09	0,98	2,57	0,81	0,88	0,011
n° 38	jul 92	0,80	1,86	2,02	1,09	0,84	2,55	0,94	1,02	0,012
n° 38	ago 92	0,74	1,86	2,02	1,09	0,93	2,57	0,87	0,94	0,011
n° 38	sep 92	0,70	1,86	2,00	1,08	0,84	2,59	0,85	0,92	0,010
n° 38	oct 92	0,75	1,79	1,93	1,08	1,01	2,56	0,92	0,99	0,012
n° 38	nov 92	0,83	1,89	2,05	1,08	0,93	2,52	1,02	1,11	0,013
n° 38	dic 92	0,80	1,86	2,06	1,10	0,98	2,57	0,96	1,06	0,012
n° 38	abr 93	0,67	1,65	2,06	1,25	0,97	2,58	0,82	1,02	0,011
n° 38	may 93	0,70	1,69	2,07	1,22	0,90	2,58	0,88	1,08	0,013
n° 38	jun 93	0,74	1,73	2,13	1,23	0,94	2,57	0,92	1,13	0,014
n° 38	jul 93	0,65	1,74	2,12	1,22	0,96	2,57	0,85	1,04	0,011
n° 38	ago 93	0,63	1,70	2,02	1,19	0,93	2,58	0,85	1,02	0,011
n° 38	sep 93	0,75	1,67	1,94	1,16	0,99	2,56	0,90	1,05	0,011
n° 38	oct 93	0,69	1,76	2,07	1,18	1,00	2,58	0,84	0,99	0,011
n° 38	ene 94	0,68	1,65	1,96	1,19	0,92	2,60	0,81	0,96	0,011
n° 38	feb 94	0,74	1,78	2,00	1,12	0,94	2,57	0,84	0,95	0,010
n° 38	mar 94	0,73	1,77	1,96	1,11	0,93	2,59	0,85	0,94	0,010
n° 40	ene 92	0,76	2,60	3,38	1,30	1,03	2,59	0,76	0,99	0,009
n° 40	feb 92	0,85	2,28	3,11	1,37	0,95	2,58	0,85	1,17	0,011
n° 40	mar 92	0,85	2,56	3,17	1,24	0,99	2,62	0,90	1,11	0,011
n° 40	abr 92	0,94	2,50	3,16	1,26	0,95	2,54	0,96	1,22	0,013
n° 40	jun 92	0,87	2,50	3,34	1,33	0,99	2,54	0,86	1,15	0,012
n° 40	jul 92	0,90	2,45	3,33	1,36	1,02	2,55	0,92	1,25	0,012
n° 40	ago 92	0,89	2,59	3,35	1,29	0,98	2,56	0,89	1,15	0,012
n° 40	sep 92	0,91	2,49	3,26	1,31	0,99	2,55	0,95	1,25	0,013
n° 40	oct 92	0,89	2,50	3,23	1,29	1,04	2,54	0,89	1,15	0,011
n° 40	nov 92	0,86	2,55	3,17	1,24	1,05	2,56	0,86	1,07	0,011
n° 40	dic 92	0,87	2,54	3,13	1,24	1,06	2,61	0,88	1,09	0,011
n° 40	ene 93	0,83	2,50	3,16	1,27	1,04	2,58	0,85	1,08	0,011
n° 40	feb 93	0,74	2,41	3,30	1,37	1,03	2,61	0,76	1,04	0,009
n° 40	mar 93	0,74	2,37	3,17	1,34	1,04	2,65	0,78	1,05	0,010
n° 40	abr 93	0,78	2,21	3,17	1,44	0,95	2,59	0,76	1,09	0,010
n° 40	may 93	0,76	2,31	3,38	1,46	1,01	2,61	0,76	1,12	0,010
n° 40	jun 93	0,98	2,34	3,46	1,48	1,00	2,55	0,93	1,38	0,014
n° 40	ago 93	0,92	2,31	3,53	1,53	0,98	2,56	0,84	1,29	0,012
n° 40	sep 93	0,91	2,44	3,89	1,59	0,93	2,49	0,86	1,38	0,012
n° 40	oct 93	0,95	2,39	3,60	1,50	0,94	2,54	0,89	1,33	0,009
n° 40	nov 93	0,88	2,47	3,74	1,51	0,94	2,57	0,79	1,20	0,010
n° 40	dic 93	0,86	2,37	3,52	1,48	0,91	2,60	0,82	1,22	0,012
n° 40	ene 94	0,86	2,43	3,68	1,52	0,93	2,57	0,77	1,17	0,010
n° 40	feb 94	0,86	2,70	4,06	1,50	0,99	2,54	0,77	1,16	0,011
n° 40	mar 94	0,82	2,49	3,93	1,58	1,00	2,56	0,78	1,23	0,011
n° 44	may 92	0,53	1,50	4,56	3,05	0,96	2,59	0,41	1,26	0,010
n° 44	jun 92	0,60	1,43	4,32	3,02	0,94	2,56	0,47	1,44	0,012
n° 44	jul 92	0,59	1,49	4,48	3,02	0,96	2,58	0,45	1,35	0,011
n° 44	ago 92	0,56	1,52	4,50	2,97	0,99	2,61	0,44	1,32	0,011
n° 44	sep 92	0,63	1,52	4,60	3,02	0,94	2,55	0,47	1,42	0,012
n° 44	oct 92	0,62	1,50	4,42	2,95	0,91	2,58	0,50	1,47	0,013
n° 44	nov 92	0,58	1,53	4,62	3,01	0,98	2,60	0,46	1,39	0,012
n° 44	dic 92	0,60	1,51	4,44	2,95	0,94	2,61	0,49	1,44	0,012
n° 44	ene 93	0,57	1,57	4,43	2,82	0,96	2,61	0,45	1,26	0,011
n° 44	feb 93	0,65	1,55	4,54	2,94	0,96	2,53	0,49	1,44	0,012
n° 45	mar 93	0,64	1,59	4,41	2,77	1,02	2,64	0,42	1,16	0,011
n° 45	abr 93	0,52	1,78	4,78	2,69	1,06	2,67	0,42	1,12	0,012
n° 45	may 93	0,58	1,78	4,99	2,80	1,06	2,61	0,44	1,23	0,011
n° 45	jun 93	0,64	1,81	5,09	2,81	1,02	2,59	0,45	1,27	0,012
n° 45	jul 93	0,74	1,85	5,20	2,81	1,05	2,58	0,48	1,36	0,013
n° 45	ago 93	0,66	1,86	5,06	2,71	1,08	2,60	0,47	1,27	0,013
n° 45	oct 93	0,57	1,73	4,79	2,76	1,04	2,59	0,44	1,21	0,011
n° 45	nov 93	0,64	1,78	4,74	2,66	1,05	2,60	0,48	1,27	0,011



Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
n° 45	dic 93	0,65	1,78	4,59	2,58	1,03	2,63	0,49	1,27	0,013
n° 45	ene 94	0,59	1,70	4,39	2,59	1,00	2,65	0,43	1,11	0,011
n° 45	mar 94	0,64	1,88	4,93	2,62	1,07	2,58	0,47	1,24	0,013
n° 47	dic 91	0,64	1,75	5,02	2,88	1,04	2,66	0,44	1,27	0,011
n° 47	ene 92	0,60	1,85	5,23	2,82	1,10	2,69	0,42	1,19	0,011
n° 47	feb 92	0,62	1,77	5,28	2,99	1,05	2,67	0,44	1,32	0,011
n° 47	mar 92	0,64	1,76	5,11	2,90	1,05	2,66	0,46	1,32	0,011
n° 47	abr 92	0,62	1,77	5,40	3,05	1,07	2,67	0,41	1,26	0,011
n° 47	may 92	0,57	1,63	5,17	3,17	1,02	2,70	0,38	1,20	0,010
n° 47	jun 92	0,58	1,79	5,47	3,05	1,08	2,67	0,41	1,25	0,011
n° 47	jul 92	0,61	1,77	5,34	3,01	1,02	2,66	0,43	1,29	0,012
n° 47	ago 92	0,58	1,74	5,21	2,99	1,07	2,67	0,42	1,24	0,011
n° 47	sep 92	0,58	1,77	5,23	2,95	1,03	2,67	0,42	1,23	0,011
n° 47	oct 92	0,57	1,68	5,41	3,22	1,04	2,66	0,41	1,33	0,012
n° 47	nov 92	0,57	1,73	5,27	3,05	1,04	2,66	0,43	1,30	0,011
n° 47	dic 92	0,58	1,71	5,13	3,00	1,02	2,65	0,45	1,35	0,011
n° 47	ene 93	0,54	1,72	5,25	3,05	1,06	2,69	0,41	1,24	0,011
n° 47	feb 93	0,59	1,67	5,31	3,18	1,03	2,67	0,42	1,33	0,011
n° 47	mar 93	0,57	1,72	5,11	2,97	1,01	2,69	0,43	1,26	0,011
n° 47	abr 93	0,58	1,71	5,26	3,07	1,03	2,70	0,42	1,30	0,011
n° 47	may 93	0,56	1,76	5,42	3,08	1,05	2,70	0,40	1,24	0,011
n° 47	jun 93	0,54	1,78	5,35	3,00	1,02	2,65	0,44	1,33	0,012
n° 47	jul 93	0,69	1,81	5,43	2,99	1,02	2,66	0,44	1,31	0,012
n° 47	ago 93	0,69	1,83	5,37	2,94	1,05	2,68	0,45	1,33	0,012
n° 47	sep 93	0,58	1,70	5,31	3,12	1,01	2,68	0,42	1,31	0,011
n° 47	oct 93	0,57	1,67	5,32	3,19	1,00	2,66	0,41	1,32	0,011
n° 47	nov 93	0,61	1,77	5,22	2,95	1,04	2,70	0,41	1,22	0,010
n° 47	dic 93	0,59	2,03	5,87	2,89	1,14	2,71	0,40	1,17	0,011
n° 47	ene 94	0,54	1,78	5,38	3,03	1,03	2,72	0,39	1,17	0,010
n° 47	mar 94	0,60	1,83	5,33	2,92	1,00	2,70	0,42	1,23	0,011
n° 48	feb 92	0,58	1,76	4,91	2,78	1,02	2,68	0,40	1,11	0,011
n° 48	mar 92	0,64	1,76	4,74	2,69	0,98	2,62	0,47	1,27	0,013
n° 48	abr 92	0,63	1,78	4,96	2,79	0,98	2,61	0,46	1,27	0,013
n° 48	may 92	0,63	1,74	4,96	2,85	1,02	2,61	0,47	1,34	0,014
n° 48	jun 92	0,61	1,66	4,90	2,95	0,99	2,64	0,45	1,33	0,013
n° 48	jul 92	0,59	1,65	4,92	2,98	0,95	2,62	0,45	1,33	0,013
n° 48	ago 92	0,62	1,64	4,91	2,99	0,98	2,61	0,46	1,38	0,014
n° 48	sep 92	0,66	1,66	4,99	3,01	0,96	2,59	0,48	1,45	0,013
n° 48	oct 92	0,61	1,65	4,98	3,03	1,00	2,61	0,45	1,38	0,012
n° 48	nov 92	0,61	1,59	4,77	3,01	0,98	2,62	0,47	1,42	0,013
n° 48	dic 92	0,58	1,64	4,90	2,99	1,02	2,67	0,43	1,28	0,011
n° 48	ene 93	0,56	1,76	5,00	2,85	1,02	2,70	0,39	1,11	0,010
n° 48	feb 93	0,57	1,67	4,79	2,87	1,02	2,66	0,46	1,31	0,012
n° 48	mar 93	0,56	1,65	4,78	2,91	1,04	2,68	0,43	1,26	0,011
n° 48	abr 93	0,57	1,68	4,81	2,87	1,03	2,69	0,43	1,23	0,011
n° 48	may 93	0,57	1,77	5,19	2,93	1,02	2,66	0,42	1,24	0,011
n° 48	jun 93	0,59	1,73	5,01	2,89	1,00	2,62	0,47	1,36	0,013
n° 48	jul 93	0,69	1,78	4,91	2,76	0,99	2,63	0,48	1,33	0,013
n° 48	ago 93	0,77	1,82	5,22	2,87	1,06	2,59	0,49	1,41	0,013
n° 48	sep 93	0,58	1,70	4,83	2,84	0,98	2,64	0,45	1,28	0,011
n° 48	oct 93	0,62	1,75	5,07	2,90	1,00	2,60	0,47	1,37	0,012
n° 48	nov 93	0,59	1,68	4,68	2,78	1,03	2,66	0,45	1,25	0,011
n° 48	dic 93	0,62	1,65	4,53	2,76	1,01	2,65	0,46	1,27	0,012
n° 48	ene 94	0,62	1,63	4,46	2,74	0,95	2,65	0,46	1,25	0,012
n° 48	feb 94	0,60	1,81	4,98	2,76	1,07	2,63	0,44	1,22	0,011
n° 48	mar 94	0,62	1,81	4,83	2,66	1,06	2,63	0,47	1,25	0,012
n° 50	nov 91	0,64	1,85	5,11	2,76	1,03	2,63	0,46	1,28	0,011
n° 50	dic 91	0,66	1,82	4,89	2,68	0,94	2,65	0,46	1,24	0,011
n° 50	ene 92	0,60	1,83	4,85	2,65	0,96	2,69	0,42	1,11	0,010
n° 50	abr 92	0,64	1,88	5,09	2,71	0,98	2,67	0,45	1,21	0,011
n° 50	may 92	0,60	1,91	5,09	2,66	1,00	2,69	0,40	1,07	0,010
n° 50	jun 92	0,61	1,83	5,17	2,83	0,96	2,66	0,45	1,26	0,012
n° 50	jul 92	0,63	1,96	5,08	2,59	0,96	2,65	0,46	1,19	0,012
n° 50	ago 92	0,59	1,96	5,13	2,61	0,95	2,68	0,43	1,12	0,011
n° 50	sep 92	0,65	1,94	5,19	2,68	0,97	2,64	0,47	1,26	0,013
n° 50	oct 92	0,55	1,90	5,15	2,71	0,97	2,68	0,41	1,12	0,011



Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
nº 50	nov 92	0,58	1,96	5,33	2,72	0,99	2,67	0,43	1,18	0,011
nº 50	ene 93	0,63	1,94	5,34	2,76	1,02	2,64	0,45	1,25	0,012
nº 50	feb 93	0,78	1,86	5,17	2,78	0,97	2,60	0,55	1,52	0,014
nº 50	mar 93	0,54	1,83	5,16	2,82	0,93	2,71	0,40	1,13	0,011
nº 50	abr 93	0,54	1,84	5,05	2,74	0,92	2,70	0,42	1,15	0,011
nº 50	may 93	0,58	1,93	5,43	2,81	0,95	2,70	0,41	1,15	0,011
nº 50	jun 93	0,65	1,91	5,52	2,90	1,04	2,67	0,45	1,30	0,012
nº 50	jul 93	0,71	1,88	5,50	2,93	1,00	2,65	0,46	1,34	0,013
nº 50	ago 93	0,67	1,88	5,31	2,82	0,98	2,66	0,46	1,31	0,013
nº 50	sep 93	0,56	1,82	5,29	2,91	0,97	2,69	0,42	1,23	0,012
nº 50	oct 93	0,56	1,76	5,25	2,99	0,98	2,69	0,41	1,21	0,011
nº 50	nov 93	0,62	1,78	5,12	2,88	0,96	2,70	0,41	1,19	0,011
nº 50	dic 93	0,61	1,78	5,21	2,94	0,95	2,69	0,42	1,24	0,011
nº 50	ene 94	0,60	1,84	5,41	2,93	0,99	2,70	0,42	1,22	0,011
nº 50	feb 94	0,60	1,74	5,13	2,94	0,89	2,68	0,42	1,24	0,011
nº 50	mar 94	0,63	1,85	5,27	2,84	0,99	2,70	0,42	1,19	0,011
nº 55	feb 92	0,41	2,07	1,34	0,65	0,96	2,68	0,75	0,49	0,005
nº 55	mar 92	0,47	2,17	1,42	0,65	1,00	2,65	0,87	0,57	0,006
nº 55	abr 92	0,48	2,01	1,37	0,68	0,97	2,64	0,88	0,60	0,007
nº 55	may 92	0,49	2,01	1,33	0,66	0,96	2,65	0,91	0,60	0,006
nº 55	jun 92	0,43	2,09	1,35	0,64	1,07	2,67	0,81	0,52	0,005
nº 55	jul 92	0,47	2,06	1,36	0,66	0,95	2,66	0,86	0,57	0,006
nº 55	ago 92	0,43	2,07	1,36	0,66	1,09	2,67	0,77	0,51	0,005
nº 55	sep 92	0,45	2,00	1,32	0,66	1,03	2,66	0,85	0,56	0,006
nº 55	oct 92	0,43	2,05	1,35	0,66	1,12	2,67	0,80	0,53	0,006
nº 55	nov 92	0,48	1,98	1,35	0,68	1,09	2,66	0,89	0,61	0,006
nº 55	dic 92	0,49	1,99	1,30	0,65	1,00	2,67	0,93	0,61	0,007
nº 55	ene 93	0,47	2,22	1,29	0,58	0,94	2,65	0,87	0,51	0,007
nº 55	feb 93	0,45	1,81	1,29	0,71	0,90	2,65	0,82	0,58	0,006
nº 55	mar 93	0,53	1,77	1,23	0,70	0,94	2,64	1,01	0,70	0,006
nº 55	abr 93	0,45	1,84	1,32	0,72	0,94	2,66	0,82	0,59	0,006
nº 55	may 93	0,47	1,99	1,45	0,73	0,98	2,67	0,84	0,61	0,006
nº 55	jun 93	0,40	2,00	1,46	0,73	1,09	2,68	0,81	0,59	0,006
nº 55	jul 93	0,38	2,00	1,46	0,73	1,13	2,67	0,79	0,58	0,007
nº 55	ago 93	0,43	1,97	1,42	0,72	1,13	2,66	0,82	0,59	0,006
nº 55	sep 93	0,43	1,85	1,43	0,77	1,05	2,63	0,79	0,61	0,006
nº 55	oct 93	0,44	1,86	1,40	0,75	0,96	2,66	0,78	0,59	0,006
nº 55	nov 93	0,46	1,85	1,35	0,73	0,95	2,65	0,83	0,61	0,006
nº 55	dic 93	0,43	1,87	1,42	0,76	1,06	2,62	0,75	0,57	0,006
nº 55	feb 94	0,44	2,01	1,39	0,69	0,94	2,62	0,80	0,55	0,006
nº 55	mar 94	0,42	1,95	1,31	0,67	0,87	2,66	0,79	0,53	0,006

## ANÁLISIS QUÍMICOS II (ACUÍFERO DE CREVILLENTE)

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	t °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	B mg/l	NH4 mg/l	Fe -	SiO2 -
nº 1	Ene 80	1194	7,6	-	72,1	41,3	80,1	2,9	61	223	184,3	16,9	-	-	-	-	-
nº 2	Sep 93	2221	7,71	-	113,4	55,4	434,2	6,2	253,8	172,6	743	7,1	0,01	0,22	0,29	0	8,13
nº 2	May 92	2328	7,53	-	118,6	75,4	394,1	5,7	233,1	418,5	626,8	16,8	0	0,25	0,79	0,04	11,93
nº 2	Jun 91	2427	8,04	-	111	66,2	100,8	5,9	219,7	436,5	616,8	24,7	0	0,07	0	0	2,47
nº 2	Jul 90	2250	7,15	25,3	136	51	337	6	242	354	582	-	-	-	-	-	-
nº 2	Mar 89	2364	7,58	-	121	52	447,6	5,5	228,2	328,4	631,7	38,5	0	0,22	0	0,07	10,78
nº 2	Ene 88	3100	7,7	-	160	65	460	8	202	260	873	7	-	-	-	-	-
nº 2	Sep 85	2370	8,3	-	97,8	51,6	334	4,5	219,7	270,1	517,6	15,2	0,1	0,23	0	-	-
nº 2	Abr 82	1401	7,5	-	116,2	65,7	160,3	3,3	231,9	277,7	262,3	26,3	0,1	-	-	-	-
nº 2	Dic 81	1343	7,5	-	104,2	75,4	167	3,6	219,7	293,4	283,6	18,5	0	-	-	-	-
nº 2	Ago 81	1624	7,55	-	100,2	53,5	173,7	3,8	219,7	285,2	304,9	12,2	0	-	-	-	-
nº 2	Ene 80	1402	7,6	-	52,1	80,2	153,6	3,4	219,6	277,7	262,3	13,8	0	-	-	-	-
nº 3	May 92	3783	7,64	-	138,7	100	681,4	8,2	249	430,4	1151,4	38,5	0	0,26	0,11	0,34	12,54
nº 3	Jun 91	3626	8,04	-	132,3	79,3	634,6	8,7	211,1	441,6	1040,1	34,9	0	0,15	0	0	2,3
nº 3	Mar 89	2746	7,6	-	137,1	62,7	541,1	6,9	208,7	397	785,6	42,1	0	0,23	0	1,83	10,02
nº 3	Oct 84	1935	7,85	-	93	50,8	253,8	4,7	261,2	223,1	411,2	15,2	0	-	0,27	-	-
nº 3	Abr 82	2177	7,7	-	124,2	90	354	4,8	231,9	562,8	531,8	21,6	0	-	-	-	-
nº 3	Ago 81	2687	7,8	-	104,2	75,4	360,7	5,3	219,7	354,9	553	12,2	0	-	-	-	-
nº 3	Ene 80	1408	7,6	-	48	80,2	153,6	2,9	219,6	270,2	262,3	13,8	0	-	-	-	-
nº 4	Feb 80	1662	8,05	-	96,1	51	193,7	3,7	207,4	277,7	283,6	0	0,6	-	-	-	-
nº 5	May 92	3710	7,62	-	155,5	106	627,9	8,3	219,7	418,5	1118,8	55,8	0	0,3	0,65	0,18	-
nº 5	Jun 91	3574	8,04	-	131,1	85,8	601,2	8,7	203,8	387	1035	31,4	0	0,17	0	0	2,38
nº 5	Jul 90	3960	7,2	24,8	134	66	574	9	223	483	1008	-	-	-	-	-	-
nº 5	Sep 86	3820	7,96	-	147,9	82,4	761,5	7,9	239,2	515	1208,1	38,5	0	0,26	0	0,02	13,09
nº 5	Sep 85	3940	7,9	-	127,1	69,6	641,3	7,4	249	327	992,6	23,1	0	0,24	0	-	-
nº 5	Oct 84	3850	7,6	-	116,6	72,7	627,9	6,9	249	309,5	1013,9	18,8	0	-	0,18	-	-
nº 5	Oct 84	4030	7,8	-	120,2	63,2	734,8	7,2	244,1	327	1063,5	18,3	0	-	0,12	-	-
nº 5	Ago 81	2616	7,65	-	120,2	55,9	320,6	5,3	219,7	336,5	545,9	15,3	0	-	-	-	-
nº 5	Ene 80	2094	7,7	-	48	104,5	240,4	3,8	219,6	327,1	425,4	13,8	0	-	-	-	-
nº 6	Oct 94	2320	7,54	-	128	65	364	5,5	190	407	593	10,1	<0,01	-	<0,05	-	-
nº 6	Sep 93	1556	7,84	-	103,4	51,1	287,2	4,8	277	182,2	465,1	7,5	0	0,2	0,28	0	-
nº 6	Jun 91	1812	8,13	-	96,2	59,6	267,2	4,5	212,3	327,9	391,4	29,7	0	0,1	0	0	3,2
nº 6	Jul 90	1800	7,26	25,4	126	47	223	4	253	270	392	-	-	-	-	-	-
nº 6	Oct 84	2050	7,65	-	84,2	55,9	287,2	4	253,8	235,7	446,7	15,2	0	-	0,15	-	-
nº 6	Sep 85	2760	8,15	-	107,4	61	414,2	5,1	242,9	293,1	623,9	19,9	0	0,26	0	-	-
nº 7	Dic 81	1289	7,8	-	100,2	60,8	140,3	3	207,5	270,2	248,2	20	0	-	-	-	-
nº 7	Feb 80	1151	8,7	-	60,1	43,7	133,6	7,7	109,8	210,8	191,4	18,5	0	-	-	-	-
nº 8	Oct 84	2770	7,5	-	136,3	70,5	387,4	5,5	236,8	327	623,9	23,1	0	-	0,13	-	-
nº 8	Ene 80	1662	7,8	-	48	92,4	153,6	3,1	219,6	293,3	283,6	16,9	0	-	-	-	-
nº 9	Sep 93	2711	7,76	-	117,4	63	594,5	9,5	270,9	215,1	962,8	19,6	0,01	0,24	0,31	0	6,59
nº 9	Jun 91	2839	7,02	-	143,9	105,3	454,2	6,6	197,7	509	736,7	36,7	0	0,14	0	0,01	5,84
nº 9	Jul 90	2970	7,23	23,9	144	69	370	5	216	493	690	-	-	-	-	-	-
nº 9	Sep 86	2850	7,93	-	141,9	80,3	554,4	6,8	229,4	515	784,2	33,1	0	0,24	0	0,03	12,88
nº 9	Sep 85	3190	8,1	-	130,7	82,4	440,9	6	238	345,8	694,8	28	0,08	0,28	0	-	-
nº 9	Oct 84	2830	7,9	-	125	72,5	414,7	5,5	224,5	318,1	626	24,9	0	-	0,91	-	-
nº 9	Abr 82	2641	7,3	-	136,6	63,2	400,8	5,2	219,7	365,9	602,7	26,3	0,2	-	-	-	-
nº 9	Ago 81	2239	7,6	-	112,2	65,7	287,2	4,4	219,7	318,4	425,4	15,3	0	-	-	-	-
nº 9	Dic 78	1240	7,3	-	92,1	55,9	133,6	2,5	219,6	255,8	234	21,6	0	-	-	-	-
nº 10	Oct 94	2480	7,42	-	124	66	389,9	5,6	188	341,8	678	15,1	<0,01	-	<0,05	-	-
nº 10	Sep 93	1901	7,73	-	89	38,2	107,5	6,2	266	141,5	626	8,8	0	0,09	0,27	0	6,25
nº 10	May 92	2117	7,57	-	124,2	80,5	307,3	4,8	209,9	381,1	520,4	23,1	0	0,24	0,28	0	12,58
nº 10	Jun 91	2231	7,99	-	116,6	73,7	354	5,2	230,7	427,4	526,1	28	0	0,11	0	0	2,85
nº 10	Jul 90	2200	7,1	24	119	58	292	5	234	38	504	-	-	-	-	-	-
nº 10	Mar 89	1923	7,62	-	125	46,2	327,3	4,8	244,1	270,5	467,2	33,1	0	0,19	0	0,07	11,16
nº 10	Sep 85	2200	7,9	-	94,2	51,8	287,2	4,4	255,1	262,9	467,9	15,2	0	0,16	0	-	-
nº 10	Oct 84	1990	7,5	-	84,2	53,5	274,4	3,8	241,6	235,7	397	14,5	0	-	1,88	-	-
nº 10	Dic 83	1633	7,2	-	100,2	104,6	227,1	3,7	219,7	365,9	361,8	7,8	0	0,05	0	-	-
nº 10	Ago 81	1679	7,55	-	96,2	63,2	180,4	3,4	219,7	293,4	283,6	16,9	0	-	-	-	-
nº 10	Ene 80	1343	7,7	-	48	82,6	142,2	2,7	219,6	249	248,1	16,9	0	-	-	-	-
nº 11	Nov 85	2470	-	-	121,8	60,1	347,4	4,7	229,4	318,1	517	16,8	-	-	-	-	-
nº 11	Sep 83	2150	-	-	92	44	294	4	244	182	422	35	-	-	-	-	-
nº 11	Abr 82	2302	7,6	-	132,3	65,7	320,6	5	207,5	387,8	524,7	24,7	0	-	-	-	-
nº 11	Dic 81	2092	7,75	-	108,2	80,3	314	4,7	207,5	365,9	460,9	20	0	-	-	-	-
nº 11	Ago 81	2593	7,6	-	120,2	82,7	267,2	5,3	207,5	399	482,1	18,5	0	-	-	-	-
nº 11	May 81	2800	-	-	154	72	359	4	195	149	291	9	-	-	-	-	-

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	t °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Cl mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	B mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	Fe	SiO <sub>2</sub>
nº 11	Abr 80	1700	-	-	94	40	264	4	177	197	348	13	-	-	-	-	-
nº 11	Ene 80	2149	7,7	-	52,1	114,3	207	4,2	195,2	355,8	404,2	20	0	-	-	-	-
nº 11	Oct 79	2000	-	-	116	48	218	4	189	315	369	9	-	-	-	-	-
nº 12	Jul 83	2000	7,4	-	116	48	218	4	189	315	369	9	-	-	-	-	-
nº 12	Abr 80	1850	7,3	-	94	4	264	4	177	197	348	13	-	-	-	-	-
nº 12	May 81	2750	7,5	-	154	72	359	4	165	490	543	-	-	-	-	-	-
nº 12	Dic 81	2150	7,4	-	114	42	304	4	207	221	447	16	-	-	-	-	-
nº 12	Jul 83	2150	7,8	-	92	44	294	4	244	182	422	35	-	-	-	-	-
nº 13	Sep 93	1544	7,84	-	94,2	51,3	293,9	4,9	280,7	165,6	465,8	7,1	0	0,2	0,27	0	5,37
nº 13	May 92	1660	7,7	-	99,8	61	253,8	4,1	236,8	326,4	390	31,4	0	0,21	0,21	0,04	11,93
nº 13	Jul 91	1822	7,98	-	111,4	68,6	227,1	5,1	227	311	415,5	31,4	0	0,12	0	0	7,45
nº 13	Mar 88	2017	7,98	-	116,2	43,8	334	4,8	305,1	207,1	483,5	7,8	0	0,09	0	0,1	11,7
nº 13	Sep 85	2205	8,1	-	94,6	53,7	287,2	4,2	253,8	262,9	467,9	16,8	0	0,16	0	-	-
nº 13	Ago 81	1285	7,65	-	88,2	58,4	126,9	2,9	231,9	249	226,9	15,3	0	-	-	-	-
nº 13	Ene 80	1212	7,5	-	36	99,7	106,8	2,2	219,6	301,5	198,5	20	0	-	-	-	-
nº 14	Oct 94	1708	7,54	-	98	51	261	4,4	199	237,2	430	11,7	<0,01	-	<0,05	-	-
nº 14	Sep 93	1380	7,82	-	88,6	45,2	267,2	4,5	270,9	148,9	410,5	6,4	0	0,19	0,26	0	6,42
nº 14	May 92	1552	7,75	-	103,4	63,5	227,1	3,9	255,1	304	363	13,7	0	0,2	0,09	0,06	11,74
nº 14	Jun 91	1582	8,08	-	91,8	50,6	200,4	4,1	229,4	222,4	341,7	24,7	0	0,12	0	0	3,28
nº 14	Jul 90	1462	7,22	25,3	113	40	171	3	238	207	354	-	-	-	-	-	-
nº 14	Mar 88	2131	7,83	-	113,8	47,4	387,4	5,1	333,2	220,3	513,3	7,8	0	0,12	0	0,2	11,42
nº 14	Sep 85	1975	8,15	-	93	45,2	247,2	3,7	245,3	235,7	368,7	16,8	0	0,19	0	-	-
nº 14	Oct 84	1843	7,7	-	72,1	51,1	247,2	3,6	256,3	211	387,8	12,2	0	-	0	-	-
nº 14	Abr 82	1216	7,6	-	100,2	73	160,3	2,9	231,9	387,8	241,1	23,2	0	-	-	-	-
nº 14	Ago 81	1343	7,6	-	120,2	31,6	153,6	3,9	219,7	255,9	255,2	13,8	0	-	-	-	-
nº 15	Sep 93	1232	7,53	-	79,4	42,3	233,8	4,7	281,9	103,8	367,3	9,5	0,01	0,25	0,27	0	7,25
nº 15	May 92	1534	7,16	-	93,8	59,3	220,4	3,7	259,9	235,3	377,9	15,2	0	0,22	0,55	0	10,73
nº 15	Jun 91	1769	8,08	-	77,4	64,4	240,5	4,1	234,3	207,4	427,5	31,4	0	0,02	0	0	1,85
nº 15	Jul 90	1454	-	24,4	112	36	140	3	248	207	273	-	-	-	-	-	-
nº 15	Sep 85	2280	8,1	-	100,2	52	354	4,9	263,6	255,8	503,4	16,8	0	0,19	0	-	-
nº 15	Oct 84	1108	7,45	-	77,8	36	107,3	2,8	273,4	148,1	184,3	16,3	0	-	0,15	-	-
nº 15	Ago 81	1115	7,65	-	100,2	36,5	93,5	2,7	231,9	194	156	13,8	0	-	-	-	-
nº 17	Feb 80	3100	7,6	-	92,1	70,5	467,6	9,5	122	424	659,5	36,6	0,13	-	-	-	-
nº 20	Jul 91	2818	8,07	-	130,7	112,8	400,8	6,3	206,2	462,3	775,6	29,7	0,25	0,11	0	0	9,17
nº 20	Jul 90	2400	7,2	24,4	133	51	268	5	238	322	545	-	-	-	-	-	-
nº 20	Sep 85	2470	8,25	-	121,8	60,1	347,4	4,7	229,4	318,1	517,6	16,8	0	0,23	0	-	-
nº 20	Oct 84	1954	7,45	-	104,2	48,6	240,7	4,1	259,9	255,8	407,7	14,3	0	-	0,12	-	-
nº 20	Abr 82	1465	7,7	-	112,2	55,9	227,1	4,1	195,3	318,4	361,6	23,2	0,1	-	-	-	-
nº 20	Ago 81	1895	7,6	-	100,2	60,8	187	4,2	219,7	309,6	333,2	15,3	0	-	-	-	-
nº 20	Sep 85	2470	8,25	-	121,8	60,1	347,4	4,7	229,4	318,1	517,6	16,8	0	0,23	0	-	-
nº 21	Oct 79	1550	-	-	92	34	184	3	201	216	245	9	-	-	-	-	-
nº 21	Abr 80	1500	-	-	82	29	230	3	195	197	245	11	-	-	-	-	-
nº 21	Sep 80	1300	-	-	96	30	179	2	195	67	291	11	-	-	-	-	-
nº 21	May 82	2000	-	-	104	49	294	3	213	221	447	15	-	-	-	-	-
nº 21	Sep 83	2150	-	-	78	41	239	4	189	173	351	28	-	-	-	-	-
nº 21	Mar 84	1450	-	-	80	28	205	2	195	149	291	13	-	-	-	-	-
nº 21	Oct 84	2150	-	-	164	36	246	4	207	310	390	29	-	-	-	-	-
nº 21	Mar 85	1770	-	-	160	24	207	4	195	210	355	17	-	-	-	-	-
nº 21	Sep 85	2470	8,25	-	121,8	60,1	347,4	4,7	229,4	318,1	517,6	16,8	-	-	-	-	-
nº 21	Nov 85	1975	-	-	120	60	253	4	201	110	570	8	-	-	-	-	-
nº 21	Abr 86	2775	-	-	200	84	310	4	257	230	600	50	-	-	-	-	-
nº 25	Sep 93	867	7,9	-	65,7	29,2	173,7	3,8	270,9	148,9	217,7	2,7	0	0,16	0,31	0	5,13
nº 25	May 92	1050	7,89	-	74,5	40,4	123,6	2,6	228,2	159	204,2	13,7	0	0,04	0	0,09	9,68
nº 25	Jun 91	1932	7,58	-	92,6	96,1	227,1	6,8	249	251,9	472,2	16,8	0,18	0,36	0	0	2,75
nº 25	Mar 88	1028	7,42	-	81,8	24,8	173,7	3,3	285,6	136,4	186,5	4,9	0	0,03	0	0,03	9,55
nº 25	Sep 86	1140	8,01	-	54,5	29,9	253,8	3,9	246,5	244,3	241,8	13,7	0,16	0,2	0	0,02	-
nº 25	May 79	948	8	-	64,1	43,7	68	3,7	268,4	162,7	92,1	0	0,6	-	-	-	-
nº 27	Sep 93	658	7,79	-	65,7	34	106,9	2,5	285,6	113,6	138,3	5,1	0	0,14	0,2	0	4,23
nº 27	May 92	826	7,66	-	69,7	32,3	80,2	1,8	234,3	104,5	135,4	21,5	0	0,07	0	0	8,67
nº 27	Jun 91	747	8,04	-	66,5	30,6	64,8	1,7	222,1	88,7	113,4	19,9	1,65	0,14	0	0	-
nº 27	Jul 90	912	7,78	-	83	24	74	0,5	252	76	168	-	-	-	-	-	-
nº 27	Mar 88	803	7,65	-	60,1	12,2	126,9	2,2	246,5	54,7	126,9	4,9	0,25	0,09	0	0,01	8,48
nº 27	Sep 86	741	8,03	-	70,5	30,2	120,2	2,9	253,8	159,1	127,6	18,3	0,14	0,2	0	0,01	8,69
nº 27	Sep 85	760	8,08	-	60,9	25,3	66,8	1,7	261,2	104,9	95	10,7	0	0,17	0	-	-
nº 27	Jul 85	751	7,25	-	46,5	32,1	65,5	1,8	249	97	94,3	7,8	0	0,05	0	-	-
nº 28	Sep 93	643	7,88	-	62,5	34,5	113,6	2,4	311,2	99,9	136,8	5,3	0	0,13	0,26	0	5
nº 28	May 92	795	7,74	-	68,9	31,6	70,1	1,7	233,1	92,3	128,3	18,3	0	0,07	0	0	8,35
nº 28	Jun 91	777	8	-	66,5	32,6	66,8	2	234,3	87	124,1	18,3	0	0,1	0	0	1,33
nº 28	Sep 86	951	7,89	-	63,3	30,9	187	4,5	256,3	212,8	190,7	16,8	0	0,22	0	0,02	-
nº 28	Abr 82	805	7,5	-	84,2	38,9	100,2	1,8	231,9	172,7	127,6	18,5	0	-	-	-	-
nº 28	Ago 81	895	7,6	-	80,2	38,9	80,2	1,9	244,1	148,4	106,4	12,2	0	-	-	-	-

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	t °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	B mg/l	NH4 mg/l	Fe -	SiO2 -
nº 28	May 79	806	7	-	56,1	41,3	65,4	3,8	244	139	85	0	0,6	-	-	-	-
nº 38	Abr 88	1710	7,58	-	105	47,2	247,2	4,2	268,5	262,9	301,3	13,7	-	-	-	-	-
nº 38	Ago 81	1718	6,65	-	108,2	55,9	193,7	4,1	219,7	318,4	312	10,7	0	-	-	-	-
nº 40	Jun 85	1550	8	-	200	72	8	4	213	200	401	-	-	0,2	-	-	-
nº 40	Jul 86	2120	7,8	-	75	50	350	5	190	260	460	0	-	0,2	-	-	-
nº 40	nov 90	1900	7,2	-	75	45	295	5	195	250	420	9	<0,02	<0,1	0,04	0,25	13,5
nº 40	Nov 91	2210	7,4	-	95	60	245	3	125	250	495	13	<0,02	0,28	<0,02	0,34	14,4
nº 40	Jul 90	1860	7,17	-	121	43	212	4,5	252	290	441	-	-	-	-	-	-
nº 40	Jun 92	1828	7,9	-	90	50	320	5	215	250	430	20	<0,02	-	0,05	-	-
nº 40	Oct 92	1797	7,1	-	140	40	260	<1	210	245	415	15	<0,02	0,18	<0,02	0,34	9,98
nº 40	Nov 93	2240	7,6	26,2	60	-	290	4	220	215	490	10	<0,02	0,18	0,07	0,43	12,02
nº 45	Abr 88	2587	7,32	-	143,5	66,4	440,9	6	323,4	302,5	650,9	4,9	-	-	0,14	-	-
nº 46	Nov 75	-	-	-	112	51	287	4	215	316	425	8	-	-	-	-	-
nº 48	Jul 80	-	-	-	200	46	833	4	220	269	1485	8	-	-	-	-	-
nº 48	Nov 75	-	-	-	112	51	287	4	215	316	425	8	-	-	-	-	-
nº 50	Jul 86	2770	7,7	-	160	50	440	6	195	430	590	2	-	0,2	-	-	-
nº 50	Oct 85	2710	8	-	145,1	56,4	387,4	5,3	213,6	345,8	570,7	10,7	0,07	0,22	0	-	-
nº 50	Abr 82	2066	7,7	-	144,3	46,2	320,6	5,5	219,7	365,9	460,9	21,6	0	-	-	-	-
nº 50	Ago 81	2346	7,9	-	140,3	41,3	280,6	4,7	219,7	355,9	446,7	12,2	0	-	-	-	-
nº 50	Jul 90	2700	7,45	-	151	52	252	5,5	230	511	553	-	-	-	-	-	-
nº 55	Jul 90	1005	7,24	22,4	113	24	79	2	252	95	176	-	-	-	-	-	-
nº 73	Oct 94	2470	7,67	-	156	63	375	6,1	166	469,3	592	8	<0,01	-	<0,05	-	-
nº 92	Oct 92	530	6,5	16	90	30	15	1	285	135	20	5	<0,02	<0,01	<0,02	0,24	5,11



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



## ANÁLISIS QUÍMICOS I (ACUÍFERO DEL CID)

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	t °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Cl mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Sr mg/l	Si mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Fe mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l
nº 1	nov 91	2360	7,4	25	151	75	295	5,4	195	166	677	37	4,6	-	-	-	-	10,1
nº 1	dic 91	2275	7,4	24,8	157	76	294	5,4	196	159	662	35	4,6	11,7	0,32	0,060	0,045	10,1
nº 1	ene 92	2293	7,8	24,9	156	79	300	5,4	197	157	676	35	4,4	11,5	0,31	0,058	0,046	4,0
nº 1	mar 92	2200	7,6	24,9	164	82	343	5,5	197	174	773	40	4,7	11,2	0,32	0,063	0,166	6,3
nº 1	abr 92	2540	7,3	24,6	169	83	297	5,6	198	163	706	36	4,5	10,5	0,30	0,060	0,043	12,9
nº 1	may 92	2465	7,4	24,5	154	76	304	5,2	198	158	662	34	4,3	10,4	0,30	0,057	0,036	10,3
nº 1	jun 92	2450	7,3	24,8	160	78	311	5,2	198	165	708	35	4,4	10,0	0,30	0,059	0,031	12,9
nº 1	jul 92	2432	7	24,8	149	75	317	5,3	198	154	685	66	4,8	10,5	0,30	0,061	0,339	25,9
nº 1	ago 92	2410	7,2	25,1	150	76	295	5,3	198	165	735	36	4,6	10,4	0,31	0,059	0,032	16,2
nº 1	sep 92	2460	7,3	25,3	163	77	290	5,1	195	171	724	35	4,2	9,9	0,26	0,052	0,053	12,6
nº 1	oct 92	2365	7,5	25	154	72	261	5,2	198	159	705	27	4,7	9,9	0,31	0,061	0,032	8,1
nº 1	nov 92	2415	7,3	24,6	156	76	334	5,6	197	153	724	35	4,8	10,0	0,31	0,059	0,031	12,9
nº 1	dic 92	2400	7,3	24,8	157	77	295	5,7	198	167	731	37	4,7	10,0	0,31	0,061	0,031	12,9
nº 1	ene 93	2500	7,3	24,7	170	79	295	5,7	195	168	739	36	4,7	10,0	0,31	0,061	0,038	12,7
nº 1	feb 93	2512	7	24,8	171	80	282	5,6	197	169	754	34	4,8	10,0	0,31	0,062	0,038	25,6
nº 1	mar 93	2586	7	24,9	183	82	286	5,7	202	172	746	40	4,9	10,8	0,33	0,066	0,035	26,2
nº 1	abr 93	2595	7,3	24,8	179	82	315	5,9	201	154	787	33	5,7	12,2	0,35	0,067	0,098	13,0
nº 1	may 93	2550	7,2	24,7	176	82	333	5,6	201	172	815	33	4,8	10,2	0,31	0,062	0,034	16,4
nº 1	jun 93	2520	7,3	25	184	80	358	5,9	202	179	816	37	4,9	10,5	0,32	0,064	0,034	13,0
nº 1	jul 93	2550	7,4	25,5	186	82	312	5,8	195	187	836	46	4,8	10,2	0,32	0,063	0,037	9,9
nº 1	ago 93	2585	7,3	25,5	197	90	312	5,9	197	175	801	37	5,0	10,3	0,33	0,065	0,037	12,5
nº 1	sep 93	2575	7,3	25,4	178	85	305	5,8	200	183	842	43	4,9	10,2	0,33	0,063	0,033	12,8
nº 1	oct 93	2625	7,3	25,4	179	84	294	5,8	198	181	811	40	4,9	10,2	0,33	0,066	0,032	12,7
nº 1	nov 93	2570	7,3	24,6	209	89	305	5,7	200	175	807	38	5,0	10,0	0,33	0,066	0,035	12,8
nº 1	dic 93	2585	7,4	24,9	202	86	287	5,5	200	174	772	32	5,0	10,6	0,33	0,065	0,035	10,2
nº 1	ene 94	2760	7,3	24,7	209	92	308	6,1	202	183	872	39	5,2	10,5	0,33	0,075	0,045	12,9
nº 1	feb 94	2750	7,4	25,2	186	86	321	6	197	188	825	40	5,2	10,4	0,33	0,069	0,038	10,0
nº 1	mar 94	2795	7,3	25,4	196	87	311	6,1	199	187	833	39	5,4	11,5	0,35	0,074	0,039	12,7
nº 2	may 93	1222	7,5	23,7	89	33	107	3,5	212	59	269	8,4	1,9	8,9	0,10	0,038	0,020	9,4
nº 2	jun 93	1305	7,4	23,9	92	33	100	3,8	208	57	273	9	1,9	8,8	0,10	0,036	0,024	11,6
nº 2	jul 93	1305	7,7	24,6	88	32	107	4	203	59	275	11,8	1,9	9,2	0,12	0,034	0,030	5,6
nº 2	ago 93	1102	7,5	24,4	88	34	101	3,9	212	59	248	10,1	2,0	9,7	0,12	0,042	0,031	9,3
nº 2	sep 93	1175	7,5	24,5	95	35	98	3,3	206	63	273	12,7	2,1	9,9	0,11	0,041	0,028	9,0
nº 2	nov 93	1283	7,6	23,2	98	35	109	3,5	214	62	279	8,1	2,0	9,1	0,10	0,037	0,023	7,6
nº 2	dic 93	1122	7,6	23,9	96	34	102	3,1	210	65	256	9,5	1,9	9,4	0,11	0,038	0,028	7,4
nº 2	ene 94	1425	7,5	23,6	106	39	117	3,6	211	62	290	8,7	2,2	9,2	0,10	0,045	0,032	9,3
nº 2	feb 94	1385	7,6	23,7	107	37	120	3,7	213	58	295	8	2,2	8,8	0,10	0,039	0,025	7,4
nº 2	mar 94	1360	7,5	24	109	38	101	3,5	210	55	302	8,4	2,3	9,9	0,11	0,040	0,029	9,2
nº 5	dic 91	4840	7,3	25	266	117	522	8,6	183	302	1493	59	7,3	14,9	0,21	0,069	-	11,2
nº 8	jun 92	3915	7,4	24,5	206	100	352	8,9	195	178	940	23	6,1	16,6	0,32	0,060	0,030	9,9





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## PRINCIPALES RELACIONES IÓNICAS (ACUÍFERO DEL CID)

Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	CO3H/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
nº 1	nov 91	0,82	5,53	5,97	1,08	1,49	2,58	0,42	0,46	0,014
nº 1	dic 91	0,80	5,64	5,82	1,03	1,46	2,60	0,41	0,42	0,013
nº 1	ene 92	0,83	5,83	5,90	1,01	1,46	2,61	0,41	0,42	0,013
nº 1	mar 92	0,82	6,00	6,74	1,12	1,46	2,63	0,39	0,44	0,013
nº 1	abr 92	0,81	5,86	6,13	1,05	1,54	2,64	0,38	0,40	0,012
nº 1	may 92	0,81	5,65	5,75	1,02	1,41	2,61	0,42	0,43	0,013
nº 1	jun 92	0,80	5,79	6,14	1,06	1,47	2,62	0,41	0,43	0,013
nº 1	jul 92	0,83	6,01	5,94	0,99	1,40	2,59	0,44	0,43	0,015
nº 1	ago 92	0,84	6,02	6,38	1,06	1,61	2,60	0,43	0,46	0,014
nº 1	sep 92	0,78	5,73	6,38	1,11	1,62	2,61	0,39	0,44	0,012
nº 1	oct 92	0,77	6,00	6,12	1,02	1,75	2,61	0,42	0,43	0,014
nº 1	nov 92	0,80	6,38	6,33	0,99	1,40	2,60	0,41	0,41	0,014
nº 1	dic 92	0,80	5,91	6,34	1,07	1,61	2,61	0,41	0,44	0,014
nº 1	ene 93	0,77	5,95	6,53	1,10	1,62	2,63	0,38	0,41	0,013
nº 1	feb 93	0,77	6,05	6,57	1,09	1,73	2,64	0,38	0,41	0,013
nº 1	mar 93	0,73	5,87	6,35	1,08	1,69	2,69	0,36	0,39	0,012
nº 1	abr 93	0,75	6,90	6,73	0,97	1,62	2,68	0,37	0,36	0,015
nº 1	may 93	0,77	6,43	6,97	1,08	1,59	2,67	0,38	0,41	0,012
nº 1	jun 93	0,72	6,15	6,93	1,13	1,48	2,70	0,36	0,41	0,012
nº 1	jul 93	0,72	6,04	7,38	1,22	1,74	2,66	0,34	0,42	0,012
nº 1	ago 93	0,75	6,19	6,99	1,13	1,66	2,70	0,33	0,37	0,012
nº 1	sep 93	0,78	6,21	7,25	1,17	1,79	2,67	0,37	0,43	0,013
nº 1	oct 93	0,77	6,05	7,03	1,16	1,79	2,67	0,36	0,42	0,012
nº 1	nov 93	0,70	6,25	6,95	1,11	1,71	2,74	0,31	0,35	0,011
nº 1	dic 93	0,70	5,99	6,65	1,11	1,74	2,72	0,32	0,36	0,011
nº 1	ene 94	0,72	6,45	7,40	1,15	1,84	2,75	0,32	0,36	0,011
nº 1	feb 94	0,76	5,94	7,18	1,21	1,66	2,68	0,35	0,42	0,013
nº 1	mar 94	0,73	6,03	7,20	1,19	1,74	2,71	0,33	0,40	0,013
nº 2	may 93	0,62	6,23	2,18	0,35	1,64	2,52	0,78	0,27	0,010
nº 2	jun 93	0,58	6,44	2,26	0,35	1,77	2,51	0,74	0,26	0,009
nº 2	jul 93	0,60	6,26	2,33	0,37	1,67	2,47	0,76	0,28	0,010
nº 2	ago 93	0,64	5,67	2,01	0,35	1,58	2,52	0,79	0,28	0,010
nº 2	sep 93	0,60	5,82	2,27	0,39	1,80	2,51	0,71	0,28	0,010
nº 2	nov 93	0,59	6,13	2,25	0,37	1,67	2,56	0,71	0,26	0,009
nº 2	dic 93	0,58	5,35	2,10	0,39	1,63	2,53	0,71	0,28	0,009
nº 2	ene 94	0,60	6,30	2,36	0,37	1,60	2,56	0,65	0,24	0,009
nº 2	feb 94	0,57	6,88	2,38	0,35	1,60	2,57	0,65	0,23	0,009
nº 2	mar 94	0,58	7,43	2,47	0,33	1,93	2,56	0,63	0,21	0,010
nº 8	jun 92	0,80	7,12	8,27	1,16	1,73	2,71	0,31	0,36	0,014
nº 5	dic 91	0,72	6,68	14,01	2,10	1,85	2,79	0,23	0,47	0,013



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ANÁLISIS QUÍMICOS II (ACUÍFERO DEL CID)

Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO3 mg/l
nº 1	24-May-91	2520	7	140	72	345	5,1	193	632	280	44
nº 2	Ago 1990	1139	7,6	93	26	91	4	171	261	-	-
nº 8	Abr 79	1850	7,7	122	46	216	4	226	426	149	-
nº 9	23-Jun-90	1750	8,18	125	54	132	5	107,4	581	40	5
nº 9	02-Ago-91	2850	7,9	-	-	-	-	-	965	-	19
nº 9	18-Feb-92	2477	7	280	104	232	-	85	1058	53	-
nº 9	06-May-93	2200	7,9	171	77	192	12	184	614	85	18
nº 13	02-Mar-77	1300	7,5	62	58,8	96,6	-	244	195,2	129,6	-
nº18	01-Jul-80	2100	7,2	132	40	294	3	220	543	163	22
nº18	23-Jul-83	5900	7,8	252	187	851	8	830	1349	586	41
nº 19	27-Jun-75	1400	7,4	100	68,4	185	-	286,7	345,8	206,4	-
nº 19	06-Abr-79	2800	7,7	154	67	336	8	226	749	202	-
nº 19	30-Sep-80	2200	6,9	130	42	225	3	220	458	67	15
nº 19	12-Mar-81	2000	7,1	120	42	269	3	220	529	48	26
nº 19	23-Jul-82	2650	7,4	140	108	373	4	274	756	149	14
nº 19	24-Sep-82	2300	7,5	128	55	327	3	238	625	139	14
nº 19	30-Sep-83	3000	7,4	178	60	428	4	220	866	158	24
nº 25	12-Jul-77	3625	7,2	172	228	380	13	220	1205	368	26



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

## ANÁLISIS QUÍMICOS I (ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR)

Pto.	Fecha	C	pH	t	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	NO3	Sr	Si	B	Ba	Fe	Zn	CO2
		uS/cm		°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
nº 1	nov 91	2040	6,9	37,3	355	80	100	3,7	195	1018	100	0	-	-	0,23	-	-	-	27,7
nº 1	dic 91	2170	7,0	38,1	349	81	108	3,5	197	1065	102	0	-	-	0,22	-	-	-	22,0
nº 1	ene 92	2050	7,1	37,7	354	80	109	3,3	187	1042	99	0,3	-	-	0,26	-	-	-	16,6
nº 1	feb 92	2050	7,3	37,5	343	81	113	3,3	195	1053	101	0,2	-	-	0,19	-	-	-	10,9
nº 1	mar 92	2060	7,2	38,1	348	82	100	3,6	198	1053	99	0,2	-	-	0,20	-	-	-	13,9
nº 1	abr 92	2190	7,2	38,1	330	86	103	3,6	195	1034	101	0,2	-	-	0,16	-	-	-	13,7
nº 1	may 92	2120	7,0	37,9	328	87	109	3,4	185	1066	102	0,5	-	-	0,19	-	-	-	20,8
nº 1	jun 92	2130	7,0	38,0	326	84	103	3,1	192	1014	105	0,4	-	-	0,22	-	-	-	21,6
nº 1	jul 92	2260	7,0	38,2	335	84	102	3,1	183	1002	105	0,1	-	-	0,19	-	-	-	20,5
nº 1	ago 92	2120	7,0	38,0	334	84	94	3	192	961	105	0,9	-	-	0,20	-	-	-	21,6
nº 1	sep 92	2140	6,9	38,4	334	77	93	3,8	188	1009	105	0,3	-	-	0,17	-	-	-	26,6
nº 1	oct 92	2190	7,0	38,3	339	79	93	3,7	190	1001	105	0,4	-	-	0,26	-	-	-	21,3
nº 1	nov 92	2100	7,1	38,2	329	77	93	3,8	188	998	107	0,5	-	-	0,22	-	-	-	16,8
nº 1	dic 92	2130	7,0	38,0	329	77	90	3,4	187	1018	100	0,3	-	-	0,22	-	-	-	21,1
nº 1	ene 93	2150	7,0	37,9	337	79	95	3,3	190	1057	104	0	14,9	23	0,18	0,014	0,117	0,036	21,3
nº 1	feb 93	2110	7,0	38,0	346	82	98	3,8	183	1066	99	0	14,4	22	0,17	0,014	0,043	0,030	20,5
nº 1	mar 93	2005	7,0	38,0	340	82	110	3,3	194	1069	98	0	14,3	23	0,18	0,016	0,042	0,039	21,7
nº 1	abr 93	2060	7,0	38,1	339	84	94	3,3	194	1066	104	0	14,7	23	0,17	0,009	0,114	0,035	21,7
nº 1	may 93	2040	7,0	38,3	324	86	106	3,5	194	1044	114	0	14,6	24	0,18	0,010	0,039	0,032	21,7
nº 1	jun 93	2120	7,0	38,5	315	81	96	3,4	192	1046	107	0	13,9	22	0,17	0,016	0,207	0,036	21,6
nº 1	jul 93	2040	6,9	38,4	337	81	94	3,4	186	1040	107	0	14,5	25	0,19	0,014	0,087	0,034	26,2
nº 1	ago 93	2010	7,1	39,5	333	80	101	3,4	188	1050	105	0	14,1	21	0,17	0,013	0,100	0,032	16,6
nº 1	sep 93	2020	7,0	38,7	330	80	95	3,4	187	1027	107	0	14,7	22	0,20	0,014	1,217	0,034	20,9
nº 1	oct 93	2150	7,0	38,6	335	80	98	3,5	188	1039	128	0	13,3	20	0,15	0,013	0,068	0,035	21,0
nº 1	nov 93	2100	6,9	38,2	339	80	100	3,4	190	1035	112	0	14,5	25	0,19	0,015	0,111	0,038	26,8
nº 1	dic 93	2150	7,0	38,4	336	78	96	3,6	195	1039	100	0	14,2	22	0,22	0,016	0,114	0,034	21,9
nº 1	ene 94	2120	7,0	37,5	341	81	93	3,4	195	1036	102	0	14,8	20	0,16	0,014	0,105	0,036	22,0
nº 1	feb 94	2140	7,0	37,7	338	81	100	3,5	187	1038	97	0	14,0	25	0,19	0,008	0,041	0,030	21,0
nº 1	mar 94	2170	7,2	38,0	339	79	98	3,5	186	1038	98	0	15,0	23	0,18	0,016	0,177	0,037	13,1
nº 2	nov 91	1579	7,3	27,6	240	70	56	2,4	187	727	66	0,3	-	-	0,11	-	-	-	11,9
nº 2	dic 91	1565	7,4	27,8	237	70	50	2,4	192	706	56	0	-	-	0,27	-	-	-	9,7
nº 2	ene 92	1530	7,7	27,1	232	70	56	2,5	185	724	54	0,5	-	-	0,11	-	-	-	4,7
nº 2	feb 92	1538	6,5	27,3	240	71	59	2,3	186	722	69	0,3	-	-	0,12	-	-	-	75,8
nº 2	mar 92	1570	7,4	27,7	242	74	65	2,8	187	710	68	0,2	-	-	0,13	-	-	-	9,4
nº 2	abr 92	1595	7,3	27,9	240	75	58	2,5	187	744	58	0	-	-	0,16	-	-	-	11,9
nº 2	may 92	1571	7,4	27,5	235	75	58	2,7	185	723	69	0,3	-	-	0,12	-	-	-	9,3
nº 2	jul 92	1566	7,2	28	227	69	50	2,6	185	691	60	0,4	-	-	0,12	-	-	-	14,9
nº 2	ago 92	1585	7,3	27,6	234	65	51	3,5	183	685	60	0,4	-	-	0,14	-	-	-	11,7
nº 2	sep 92	1557	7,4	27,7	222	66	55	3,7	190	696	60	0,1	-	-	0,13	-	-	-	9,6
nº 2	oct 92	1600	7,3	27,9	232	67	57	3,4	195	688	58	2,4	-	-	0,16	-	-	-	12,4
nº 2	nov 92	1581	7,4	27,4	229	63	50	2,9	187	695	60	0,3	-	-	0,11	-	-	-	9,5
nº 2	dic 92	1595	7,4	27,4	228	65	49	2,5	195	723	58	0,2	-	-	0,27	-	-	-	9,9
nº 2	ene 93	1574	7,3	26,9	233	68	53	2,4	185	725	54	0,4	14,2	17	0,12	0,018	-	-	11,9
nº 2	feb 93	1517	7,4	27,8	244	68	55	2,6	186	730	55	0	11,6	18	0,12	0,022	-	-	9,4
nº 2	mar 93	1552	7,5	27,4	236	67	52	2,6	191	735	60	0	11,8	18	0,14	0,021	-	-	7,7
nº 2	abr 93	1573	7,4	27,4	256	69	48	2,6	191	744	64	0	14,5	19	0,13	0,019	-	-	9,6
nº 2	may 93	1536	7,4	27,4	233	66	51	2,5	190	730	59	0,1	15,1	18	0,12	0,017	-	-	9,6
nº 2	jun 93	1500	7,3	27,2	242	67	51	2,5	187	739	62	0,1	11,5	17	0,16	0,021	-	-	12,0
nº 2	jul 93	1540	7,4	27,8	261	68	53	2,6	186	736	64	0,1	14,9	19	0,12	0,022	-	-	9,3
nº 2	ago 93	1538	7,4	29,1	239	66	53	2,6	188	748	59	0,1	11,5	18	0,15	0,028	-	-	9,3
nº 2	sep 93	1510	7,3	28,4	236	67	51	2,6	188	734	62	0,1	13,2	19	0,14	0,017	-	-	11,9
nº 2	oct 93	1520	7,3	27,4	245	66	57	2,5	188	749	59	0,1	13,5	18	0,14	0,019	-	-	12,0
nº 2	nov 93	1488	7,3	27,8	238	67	70	2,5	185	741	54	0,1	14,4	19	0,13	0,020	-	-	11,8
nº 2	dic 93	1478	7,3	27,5	238	71	55	2,5	188	734	69	0,5	11,4	17	0,14	0,021	-	-	12,0
nº 2	ene 94	1580	7,3	27,1	247	68	53	2,6	192	743	56	1,6	15,2	19	0,12	0,019	-	-	12,3
nº 2	feb 94	1608	7,4	27,1	237	65	54	2,7	186	740	67	0,8	15,2	20	0,13	0,018	-	-	9,5
nº 2	mar 94	1520	7,3	27,2	242	68	53	2,6	190	735	54	0,6	15,0	19	0,12	0,019	-	-	12,2
nº 4	nov 91	2012	6,8	37	328	85	92	3,5	189	1045	96	0	15,5	15	0,17	-	-	-	34,0
nº 5	nov 91	1528	6,9	25,4	235	60	56	2,7	187	652	54	1	-	-	0,17	-	-	-	31,2
nº 5	dic 91	1480	7,2	27,2	233	64	58	2,7	192	690	57	0,6	-	-	0,13	-	-	-	15,6
nº 5	ene 92	1500	7,3	28	223	66	55	2,1	192	672	56	0,8	-	-	0,08	-	-	-	12,3
nº 5	feb 92	1478	7,3	27,5	232	67	61	2,6	192	685	56	0,9	-	-	0,09	-	-	-	12,3
nº 5	abr 92	1496	7,5	27,9	242	64	58	2	187	680	56	0,8	-	-	0,11	-	-	-	7,5
nº 5	may 92	1507	7,4	28	221	66	56	2,6	187	670	56	0,8	-	-	0,13	-	-	-	9,5
nº 5	jun 92	1406	7,5	27,8	215	63	54	2,2	192	580	55	0,8	-	-	0,14	-	-	-	7,7



Pto.	Fecha	C uS/cm	pH	t °C	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO3 mg/l	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 mg/l	Sr mg/l	Si mg/l	B mg/l	Ba mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	CO2 mg/l
nº 5	jul 92	1517	7,3	27,9	221	62	62	2,4	185	650	55	2,7	-	-	0,15	-	-	-	11,8
nº 5	ago 92	1512	7,4	28,1	228	63	52	2,5	187	630	59	0,6	-	-	0,23	-	-	-	9,4
nº 5	sep 92	1520	7,4	28,3	217	59	53	3	187	637	55	0,5	-	-	0,12	-	-	-	9,5
nº 5	oct 92	1570	7,2	28,1	233	61	52	3,2	192	648	55	0,6	-	-	0,15	-	-	-	15,4
nº 5	nov 92	1569	7,2	28,1	223	64	49	3,7	187	650	52	0,7	-	-	0,27	-	-	-	15,1
nº 5	dic 92	1490	7,5	28,4	227	59	50	4	205	650	50	0,7	-	-	0,13	-	-	-	8,2
nº 5	ene 93	1420	7,2	27,7	232	61	51	2,6	189	686	50	0,9	13,4	18	0,11	0,017	0,054	-	15,3
nº 5	feb 93	1466	7,2	27	229	61	53	2,5	185	689	66	0,7	13,9	18	0,11	0,018	0,017	-	15,1
nº 5	mar 93	1544	7,2	28,4	231	60	50	2,5	191	672	59	0,6	13,9	17	0,12	0,019	0,015	-	15,3
nº 5	abr 93	1481	7,4	28	232	63	53	2,4	191	677	59	0,7	10,7	17	0,14	0,022	0,034	-	9,6
nº 5	may 93	1486	7,2	27,9	230	64	51	2,4	191	680	64	0	13,1	18	0,13	0,020	0,055	-	15,4
nº 5	jun 93	1381	7,3	28,1	236	56	50	2,3	192	616	59	0,6	14,2	17	0,12	0,019	0,041	-	12,2
nº 5	ago 93	1470	7,2	29,5	227	61	50	2,5	188	700	52	0,7	14,7	19	0,12	0,018	0,048	-	14,9
nº 5	sep 93	1445	7,2	28,8	226	62	52	2,4	190	692	55	0,8	14,6	19	0,11	0,016	0,005	-	15,2
nº 5	oct 93	1430	7,2	28,6	229	62	50	2,5	187	680	66	0,6	14,2	19	0,11	0,017	0,004	-	14,9
nº 5	nov 93	1420	7,2	28,3	231	64	57	2,4	190	695	52	0,5	13,7	18	0,11	0,019	0,027	-	15,2
nº 5	dic 93	1422	7,2	28,3	238	62	54	2,4	192	700	62	0,5	13,6	19	0,12	0,021	0,038	-	15,4
nº 5	ene 94	1440	7,3	27,8	230	61	53	2,6	190	685	62	0,8	15,2	19	0,12	0,018	0,029	-	12,1
nº 5	feb 94	1481	7,2	28,6	232	65	49	2,5	190	651	60	0,1	14,3	18	0,11	0,020	0,020	-	15,2
nº 5	mar 94	1478	7,2	27,1	227	61	50	2,6	190	686	56	0,8	12,7	19	0,12	0,016	0,030	-	15,5

## PRINCIPALES RELACIONES IÓNICAS (ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR)

Pto.	Fecha	Mg/Ca	Cl/SO4	Cl/HCO3	SO4/HCO3	Cl/Na	Kr	HCO3/Ca	SO4/Ca	Sr/Ca
nº 1	nov 91	0,37	0,13	0,88	6,63	0,65	3,00	0,18	1,19	-
nº 1	dic 91	0,38	0,13	0,89	6,87	0,61	3,00	0,19	1,27	-
nº 1	ene 92	0,37	0,13	0,91	7,08	0,59	2,97	0,17	1,23	-
nº 1	feb 92	0,39	0,13	0,89	6,86	0,58	2,98	0,19	1,28	-
nº 1	mar 92	0,39	0,13	0,86	6,76	0,64	3,00	0,19	1,26	-
nº 1	abr 92	0,43	0,13	0,89	6,74	0,64	2,96	0,19	1,31	-
nº 1	may 92	0,44	0,13	0,95	7,32	0,61	2,92	0,18	1,35	-
nº 1	jun 92	0,42	0,14	0,94	6,71	0,66	2,94	0,19	1,30	-
nº 1	jul 92	0,41	0,14	0,99	6,96	0,67	2,92	0,18	1,25	-
nº 1	ago 92	0,41	0,15	0,94	6,36	0,72	2,95	0,19	1,20	-
nº 1	sep 92	0,38	0,14	0,96	6,82	0,73	2,94	0,18	1,26	-
nº 1	oct 92	0,38	0,14	0,95	6,70	0,73	2,95	0,18	1,23	-
nº 1	nov 92	0,39	0,14	0,98	6,75	0,75	2,93	0,19	1,26	-
nº 1	dic 92	0,39	0,13	0,92	6,92	0,72	2,92	0,19	1,29	-
nº 1	ene 93	0,39	0,13	0,94	7,07	0,71	2,95	0,19	1,31	0,020
nº 1	feb 93	0,39	0,13	0,93	7,40	0,66	2,94	0,17	1,28	0,019
nº 1	mar 93	0,40	0,12	0,87	7,00	0,58	2,97	0,19	1,31	0,019
nº 1	abr 93	0,41	0,13	0,92	6,98	0,71	2,97	0,19	1,31	0,020
nº 1	may 93	0,44	0,15	1,01	6,84	0,70	2,94	0,20	1,34	0,021
nº 1	jun 93	0,42	0,14	0,96	6,92	0,72	2,92	0,20	1,38	0,020
nº 1	jul 93	0,40	0,14	0,99	7,11	0,74	2,94	0,18	1,28	0,020
nº 1	ago 93	0,40	0,14	0,96	7,10	0,67	2,94	0,19	1,32	0,019
nº 1	sep 93	0,40	0,14	0,98	6,98	0,73	2,93	0,19	1,30	0,020
nº 1	oct 93	0,39	0,17	1,17	7,02	0,84	2,94	0,18	1,29	0,018
nº 1	nov 93	0,39	0,15	1,01	6,92	0,73	2,95	0,18	1,27	0,020
nº 1	dic 93	0,38	0,13	0,88	6,77	0,67	2,97	0,19	1,29	0,019
nº 1	ene 94	0,39	0,13	0,90	6,75	0,71	2,98	0,19	1,27	0,020
nº 1	feb 94	0,39	0,13	0,89	7,05	0,63	2,94	0,18	1,28	0,019
nº 1	mar 94	0,38	0,13	0,91	7,09	0,65	2,94	0,18	1,28	0,020
nº 2	nov 91	0,48	0,12	0,60	4,94	0,76	2,75	0,26	1,26	-
nº 2	dic 91	0,49	0,11	0,50	4,67	0,73	2,76	0,27	1,24	-
nº 2	ene 92	0,50	0,10	0,50	4,97	0,63	2,72	0,26	1,30	-
nº 2	feb 92	0,49	0,13	0,64	4,93	0,76	2,74	0,25	1,25	-
nº 2	mar 92	0,50	0,13	0,62	4,83	0,67	2,75	0,25	1,22	-
nº 2	abr 92	0,51	0,10	0,53	5,06	0,64	2,75	0,26	1,29	-
nº 2	may 92	0,52	0,13	0,64	4,97	0,77	2,73	0,26	1,28	-
nº 2	jun 92	0,50	0,12	0,56	4,75	0,78	2,71	0,27	1,27	-
nº 2	ago 92	0,46	0,12	0,56	4,76	0,76	2,72	0,26	1,22	-
nº 2	sep 92	0,49	0,12	0,54	4,66	0,71	2,72	0,28	1,30	-
nº 2	oct 92	0,47	0,11	0,51	4,48	0,65	2,77	0,28	1,23	-
nº 2	nov 92	0,45	0,12	0,55	4,72	0,78	2,73	0,27	1,26	-
nº 2	dic 92	0,47	0,11	0,51	4,71	0,76	2,76	0,28	1,32	-
nº 2	ene 93	0,48	0,10	0,50	4,98	0,66	2,73	0,26	1,29	0,028
nº 2	feb 93	0,46	0,10	0,51	4,99	0,65	2,75	0,25	1,25	0,022
nº 2	mar 93	0,47	0,11	0,54	4,89	0,75	2,76	0,27	1,30	0,023
nº 2	abr 93	0,44	0,12	0,57	4,95	0,86	2,80	0,25	1,21	0,026
nº 2	may 93	0,47	0,11	0,53	4,88	0,75	2,75	0,27	1,31	0,030
nº 2	jun 93	0,45	0,11	0,57	5,02	0,79	2,75	0,25	1,27	0,022
nº 2	jul 93	0,43	0,12	0,59	5,03	0,78	2,79	0,23	1,17	0,026
nº 2	ago 93	0,45	0,11	0,54	5,06	0,72	2,75	0,26	1,30	0,022
nº 2	sep 93	0,46	0,11	0,57	4,96	0,79	2,74	0,26	1,29	0,026
nº 2	oct 93	0,45	0,11	0,54	5,06	0,67	2,76	0,25	1,28	0,025
nº 2	nov 93	0,46	0,10	0,50	5,09	0,50	2,74	0,25	1,30	0,028
nº 2	dic 93	0,49	0,13	0,63	4,96	0,81	2,75	0,26	1,29	0,022
nº 2	ene 94	0,45	0,10	0,50	4,92	0,68	2,78	0,25	1,25	0,028
nº 2	feb 94	0,45	0,12	0,62	5,06	0,80	2,74	0,26	1,30	0,029
nº 2	mar 94	0,46	0,10	0,49	4,92	0,66	2,76	0,26	1,27	0,028
nº 4	nov 91	0,42	0,12	0,87	7,03	0,67	2,93	0,19	1,33	0,022
nº 5	nov 91	0,42	0,11	0,49	4,43	0,62	2,74	0,26	1,16	-
nº 5	dic 91	0,45	0,11	0,51	4,57	0,63	2,75	0,27	1,23	-



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**ANEJO III**



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

### DETERMINACIONES ISOTÓPICAS (ACUÍFERO DE CREVILLENTE)

Pto.	Fecha	O-18	N-15	S-34	C-13
nº 2	30-May-93	-5,75	-0,18	14,72	-5,75
nº 2	06-Oct-93	-6,83	-	13,06	-6,46
nº 2	09-Nov-93	-7,05	-	12,01	-
nº 2	06-Feb-94	-7,07	6,37	15,29	-6,66
nº 6	30-May-93	-6,65	-2,97	15,33	-6,65
nº 6	13-Nov-93	-	1,07	12,28	-6,79
nº 6	11-Sep-93	-7	-	11,64	-
nº 6	06-Oct-93	-6,78	3,5	11,91	-
nº 6	06-Nov-93	-7,13	-	-	-6,82
nº 6	04-Dic-93	-6,99	6,87	12,67	-7,03
nº 6	30-Ene-94	-6,92	3,82	9,85	-6,93
nº 6	01-Feb-94	-6,91	4,96	15,21	-9,86
nº 6	06-Feb-94	-7,05	9,58	10,97	-6,68
nº 6	06-Mar-94	-6,89	50,3	11,19	-6,83
nº 6	13-Abr-94	-7,09	1,76	9,51	-6,36
nº 6	05-May-94	-	-	-	-5,89
nº 6	06-Oct-93	-	-	-	-
nº 10	30-May-93	-4,86	1,03	9,89	-4,86
nº 10	27-Nov-93	-7,17	2,73	10,63	-6,42
nº 10	18-Dic-93	-7	1,95	6,91	-6,84
nº 10	08-Ene-94	-6,95	5,88	5,04	-6,85
nº 10	06-Feb-94	-	-	-	-
nº 10	06-Mar-94	-6,87	0,49	4,78	-6,49
nº 10	15-Abr-94	-7,04	7,48	9,82	-6,31
nº 10	04-May-94	-	-	-	-6,16
nº 25	11-Sep-93	-7,71	-	-	-
nº 27	06-Oct-93	-7,25	-	-	-8,83
nº 27	06-Nov-93	-7,24	3,52	10,25	-8,61
nº 27	04-Dic-93	-7,46	2,05	9,11	-8,42
nº 27	08-Ene-94	-7,24	17,51	5,79	-8,72
nº 27	14-Feb-94	-7,33	3,38	11,03	-8,53
nº 27	06-Mar-94	-7,55	3,96	10,75	-8,87
nº 27	03-Abr-94	-6,68	6,48	9,08	-8,77
nº 50	30-May-93	-5,51	1,22	12,56	-5,51
nº 47	11-Sep-93	-7,37	-	12,56	-
nº 50	06-Oct-93	-7,33	3,44	9,16	-7,05
nº 50	06-Nov-93	-7,28	5,28	10,7	-6,54
nº 50	12-Dic-93	-7,36	6,33	13,55	-6,09
nº 50	13-Ene-94	-7,26	2,15	9,52	-6,62
nº 50	23-Feb-94	-6,78	10,07	12,17	-6,56
nº 50	15-Mar-94	-7,27	2,96	5,94	-6,57
nº 50	16-Abr-94	-6,91	0,62	-	-6,75
nº 50	21-May-94	-	-	-	-6,5
nº 55	30-May-93	-9,27	-2,96	14,08	-9,27
nº 55	06-Oct-93	-6,89	4,11	7,45	-9,83
nº 55	20-Nov-93	-7,12	5,24	3,67	-9,89
nº 55	04-Dic-93	-7,01	4,32	14,29	-
nº 55	14-Feb-94	-6,98	12,94	9,18	-9,52
nº 55	06-Mar-94	-7,13	1,59	13,75	-6,42
nº 55	15-Abr-94	-6,96	16,37	13,33	-9,88
nº 55	04-May-94	-	-	-	-8,53

Valores en ‰





Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**DETERMINACIONES ISOTÓPICAS  
(ACUÍFERO DEL CID)**

Pto.	Fecha	O-18	N-15	S-34	C-13
nº 1	30-May-93	-7,39	4,83	7,63	-7,38
nº 1	11-Sep-93	-6,78	-	0,99	-
nº 1	09-Oct-93	-6,68	2,78	3,35	-7,84
nº 1	06-Nov-93	-6,85	-	0,63	-6,71
nº 1	04-Dic-93	-6,96	0,52	2,93	-7,86
nº 1	13-Ene-94	-6,91	-	0,83	-7,66
nº 1	01-Feb-94	-6,66	-0,94	1,82	-7,67
nº 1	06-Mar-94	-6,55	1,2	2,92	-7,46
nº 1	02-Abr-94	-6,28	26,5	3,18	-7,77
nº 1	05-May-94	-	-	-	-7,45
nº 2	30-May-93	-	2,72	-	-7,54

Valores en ‰



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

**DETERMINACIONES ISOTÓPICAS  
(ACUÍFERO DEL CABEÇÓ D'OR)**

<i>Pto.</i>	<i>Fecha</i>	<i>O-18</i>	<i>S-34</i>	<i>C-13</i>
nº 1	30-May-93	-7,29	13,81	-2,53
nº 1	10-Sep-94	-7,47	-	-
nº 1	08-Oct-93	-7,65	11,47	-3,98
nº 1	02-Nov-93	-7,15	13,35	-2,68
nº 1	21-Dic-93	-7,56	11,76	-3,39
nº 1	20-Ene-94	-7,38	14,58	-4,1
nº 1	16-Feb-94	-7,11	11	-3,02
nº 1	10-Mar-94	-7,31	16	-3,5
nº 1	09-Abr-94	-7,06	10,63	-3,63
nº 1	06-May-94	-	-	-3,72

Valores en ‰