



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

ESTUDIO DE LA INTRUSION MARINA

EN ACUIFEROS COSTEROS DE

MURCIA Y ALICANTE

TOMO 1/3. MEMORIA



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

33186

SUPER PROYECTO	AGUAS SUBTERRANEAS		Nº	9005 Art.60
PROYECTO AGREGADO			Nº	78.0320
TITULO PROYECTO	PROYECTO PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE CONTAMINACION DE ACUIFEROS POR ACTIVIDADES AGRICOLAS, INDUSTRIALES Y URBANAS (1988-89-90)			
Nº PLANIFICACION	65/89	Nº DIVISION AGUAS, G.A.		4/88
FECHA EJECUCION	INICIO	7-10-88	FINALIZACION	7-10-90

INFORME (Titulo):	ESTUDIO DE LA INTRUSION MARINA EN ACUIFEROS COSTEROS DE MURCIA Y ALICANTE			
CUENCA(S) HIDROGRAFICA(S)	SEGURA Y JUCAR			
COMUNIDAD(S) AUTONOMAS	MURCIA Y VALENCIA			
PROVINCIAS	MURCIA Y ALICANTE			

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUCCION	1
2. TRABAJOS REALIZADOS	4
3. METODOLOGIA	6
4. AGUILAS-CALA REONA	10
4.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	10
4.2. PIEZOMETRIA	13
4.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	17
4.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA	25
4.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	29
5. COPE-CALA BLANCA	31
5.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	31
5.2. PIEZOMETRIA	33
5.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	38
5.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA	46
5.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	50

	<u>Pág.</u>
6. CAMPO DE CARTAGENA	51
6.1. GENERALIDADES	51
6.2. CUATERNARIO DEL CAMPO DE CARTAGENA	54
6.2.1. Marco hidrogeológico	54
6.2.2. Piezometría	55
6.2.3. Estudio hidroquímico	61
6.2.4. Situación de la intrusión marina	66
6.3. PLIOCENO DEL CAMPO DE CARTAGENA	71
6.3.1. Geometría del acuífero	71
6.3.2. Piezometría	72
6.3.3. Estudio hidroquímico	76
6.3.4. Situación de la intrusión marina	81
6.4. ANDALUCIENSE DEL CAMPO DE CARTAGENA	89
6.4.1. Geometría del acuífero	89
6.4.2. Piezometría	90
6.4.3. Estudio hidroquímico	92
6.4.4. Situación de la intrusión marina	98
6.5. SIERRA DE CARTAGENA	102
6.6. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	106
7. ACUIFERO DE CABO ROIG	109
7.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	109
7.2. PIEZOMETRIA	112

	<u>Pág.</u>
7.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	118
7.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA	126
7.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	133
8. TORREVIEJA	135
8.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	135
8.2. PIEZOMETRIA	137
8.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	140
8.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA	146
8.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	149
9. SAN JUAN-CAMPELLO	151
9.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	151
9.2. PIEZOMETRIA	154
9.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	158
9.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA	164
9.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	166
10. VILLAJYOYOSA	168
10.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	168
10.2. PIEZOMETRIA	170
10.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	174

	<u>Pág.</u>
10.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA.....	178
10.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	179
11. BENIDORM-ALTEA	181
11.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO	181
11.2. PIEZOMETRIA	185
11.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO	189
11.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA	194
11.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA	196
12. REDES DE CONTROL DE LA INTRUSION MARINA	198
13. NIVELACION DE PUNTOS ACUIFEROS Y PUNTOS DE NUEVO INVENTARIO	204
14. RESUMEN Y CONCLUSIONES	206

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

INDICE DE CUADROS

	<u>Pág.</u>
Cuadro 2.1 Distribución por acuíferos, del número de medidas - piezométricas realizadas y muestras recogidas	5
Cuadro 4.1 Acuífero Aguilas-Cala Reona. Relación de medidas - piezométricas	14
Cuadro 4.2 Acuífero Aguilas-Cala Reona. Características de los puntos muestreados	18
Cuadro 5.1 Acuífero Cope-Cala Blanca. Relación de medidas pie- zométricas	34
Cuadro 5.2 Acuífero Cope-Cala Blanca. Características de pun- tos muestreados	39
Cuadro 6.1 Acuífero Cuaternario (Campo de Cartagena). Relación de medidas piezométricas	56
Cuadro 6.2 Acuífero Plioceno + Cuaternario (Campo de Cartagena). Relación de medidas piezométricas	58
Cuadro 6.3 Acuífero Andaluciense + Plioceno + Cuaternario (Cam- po de Cartagena). Relación de medidas piezométricas.	59
Cuadro 6.4 Acuífero Cuaternario (Campo de Cartagena). Caracte- rísticas de los puntos muestreados	62
Cuadro 6.5 Acuífero Plioceno (Campo de Cartagena). Relación de medidas piezométricas	73

	<u>Pág.</u>
Cuadro 6.6 Acuífero Plioceno + Bético (Campo de Cartagena). Relación de medidas piezométricas	74
Cuadro 6.7 Acuífero Plioceno (Campo de Cartagena). Características de los puntos muestreados	77
Cuadro 6.8 Acuífero Plioceno + Cuaternario (Campo de Cartagena). Características de los puntos muestreados	78
Cuadro 6.9 Acuífero Andaluciense (Campo de Cartagena). Relación de medidas piezométricas	91
Cuadro 6.10 Acuífero Andaluciense (Campo de Cartagena). Características de los puntos muestreados	93
Cuadro 6.11 Acuífero Andaluciense + Plioceno + Cuaternario (Campo de Cartagena). Características de los puntos muestreados	95
Cuadro 6.12 Sierra de Cartagena. Relación de medidas piezométricas	104
Cuadro 6.13 Sierra de Cartagena características de los puntos muestreados	105
Cuadro 7.1 Acuífero Cabo Roig. Relación de medidas piezométricas	113
Cuadro 7.2 Acuífero Cabo Roig. Características de los puntos muestreados	119
Cuadro 8.1 Acuífero de Torre Vieja. Relación de medidas piezométricas	138
Cuadro 8.2. Acuífero de Torre Vieja. Características de los puntos muestreados	141

	<u>Pág.</u>
Cuadro 9.1 Acuífero San Juan-Campello. Relación de medidas piezométricas	155
Cuadro 9.2 Acuífero San Juan-Campello. Características de los puntos muestreados	160
Cuadro 10.1 Acuífero de Villajoyosa. Relación de medidas piezométricas	171
Cuadro 10.2 Acuífero de Villajoyosa. Características de los puntos muestreados	175
Cuadro 11.1 Acuífero Benidorm-Altea. Relación de medidas piezométricas	186
Cuadro 11.2 Acuífero Benidorm-Altea. Características de los puntos muestreados	190
Cuadro 13.1 Relación de puntos de nuevo inventario por Hojas Topográficas (1:50.000)	204
Cuadro 13.2 Relación de puntos nivelados	205

INDICE DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 Situación de los acuíferos costeros estudiados	2
Figura 4.1 Geometría del acuífero Aguilas-Cala Reona	11
Figura 4.2 Acuífero Aguilas-Cala Reona. Isopiezas Febrero-Marzo 1989	15
Figura 4.3 Acuífero Aguilas-Cala Reona. Isopiezas Septiembre - 1989	16
Figura 4.4 Acuífero Aguilas-Cala Reona. Isocloruros Febrero-Marzo 1989	21
Figura 4.5 Acuífero Aguilas-Cala Reona. Isocloruros Septiembre 1989	22
Figura 4.6 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido en cloruros (en mg/l), en el acuífero Aguilas-Cala Reona	28
Figura 5.1 Geometría del acuífero Cope-Cala Blanca	32
Figura 5.2 Acuífero Cope-Cala Blanca. Isopiezas Febrero-Marzo-1989	35
Figura 5.3 Acuífero Cope-Cala Blanca. Isopiezas Septiembre 1989.	36
Figura 5.4 Acuífero Cope-Cala Blanca. Isocloruros Febrero-Marzo 1989	42

	<u>Pág.</u>
Figura 5.5 Acuífero Cope-Cala Blanca. Isocloruros Septiembre 1989	43
Figura 5.6 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido en cloruros (en mg/l), en el acuífero Cope Cala Blanca, sector meridional ..	48
Figura 5.7 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido en cloruros (en mg/l), en el acuífero Cope-Cala Blanca, sector septentrional.	49
Figura 6.1 Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Evolución piezometría - cloruros en el punto 2738-40094	69
Figura 6.2 Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Evolución piezometría - cloruros en el punto 2838-10010	70
Figura 6.3 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido en cloruros (en mg/l), en el acuífero Plioceno del Campo de Cartagena, sector nororiental	83
Figura 6.4 Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Mapa de salinidad del agua	86
Figura 6.5 Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Mapa de relación cloruros/bicarbonatos	87
Figura 6.6 Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Evolución - del contenido en cloruros	88
Figura 6.7 Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Evolución del contenido en cloruros en el punto 2738-40053 ..	101
Figura 7.1 Geometría del acuífero Cabo Roig	110

	<u>Pág.</u>
Figura 7.2 Acuífero Cabo Roig. Isopiezas Abril 1989	116
Figura 7.3 Acuífero Cabo Roig. Isopiezas Agosto 1989	117
Figura 7.4 Acuífero Cabo Roig. Isocloruros Abril 1989	122
Figura 7.5 Acuífero Cabo Roig. Isocloruros Agosto 1989	123
Figura 7.6 Esquema interpretativo de la interfase en reposo en el acuífero de Cabo Roig (contenido en cloruros en mg/l)	128
Figura 7.7 Esquema interpretativo de la formación de conos salinos bajo las captaciones en el acuífero de Cabo Roig (contenido en cloruros en mg/l)	129
Figura 7.8 Zonas afectadas por la intrusión marina en el acuífero Cabo Roig	132
Figura 9.1 Límites del acuífero San Juan-Campello	152
Figura 9.2 Acuífero San Juan-Campello. Isopiezas Abril-Mayo 1989.	156
Figura 9.3 Acuífero San Juan-Campello. Isopiezas Agosto 1989 ..	157
Figura 9.4 Acuífero San Juan-Campello. Isocloruros Abril-Mayo - 1989	161
Figura 9.5 Acuífero San Juan-Campello. Isocloruros Agosto-Septiembre 1989	162
Figura 10.1 Geometría del acuífero de Villajoyosa	169
Figura 10.2 Acuífero de Villajoyosa. Isopiezas Abril-Mayo 1989 .	172
Figura 10.3 Acuífero de Villajoyosa. Isopiezas Agosto-Septiembre 1989	173

	<u>Pág.</u>
Figura 10.4 Acuífero de Villajoyosa. Isocloruros Abril-Mayo 1989.	176
Figura 10.5 Acuífero de Villajoyosa. Isocloruros Agosto-Septiembre 1989	177
Figura 11.1 Límites del acuífero Benidorm-Altea	182
Figura 11.2 Esquema hidrogeológico de los acuíferos de Sierra - Helada y Benidorm-Altea	184
Figura 11.3 Acuífero Benidorm-Altea. Isopiezas Abril-Mayo 1989.	187
Figura 11.4 Acuífero Benidorm-Altea. Isopiezas Agosto-Septiembre.	188
Figura 11.5 Acuífero Benidorm-Altea. Isocloruros Abril-Mayo 1989.	192
Figura 11.6 Acuífero Benidorm-Altea. Isocloruros Agosto-Septiembre 1989	193

INDICE DE PLANOS

- Plano nº 1. Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Isopiezas Abril-Mayo 1989.
- Plano nº 2. Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Isopiezas Septiembre 1989.
- Plano nº 3. Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Isocloruros Abril-Mayo 1989.
- Plano nº 4. Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Isocloruros Septiembre 1989
- Plano nº 5. Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Límite del acuífero e isohipsas de muro de la zona estudiada.
- Plano nº 6. Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Isopiezas - Abril-Mayo 1989.
- Plano nº 7. Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Isopiezas - Agosto-Septiembre 1989.
- Plano nº 8. Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Isocloruros Abril-Mayo 1989.
- Plano nº 9. Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Isocloruros Septiembre 1989.
- Plano nº 10. Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Límites del acuífero de muro de la zona estudiada.
- Plano nº 11. Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Isopiezas Abril-Mayo 1989.

- Plano nº 12. Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Isopiezas Septiembre 1989.
- Plano nº 13. Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Isocloruros Abril-Mayo 1989.
- Plano nº 14. Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Isocloruros Septiembre 1989.
- Plano nº 15. Acuífero de Torre Vieja. Límite del acuífero e isohipsas del muro.
- Plano nº 16. Acuífero de Torre Vieja. Isopiezas Abril 1989.
- Plano nº 17. Acuífero de Torre Vieja. Isopiezas Agosto 1989.
- Plano nº 18. Acuífero de Torre Vieja. Isocloruros Abril 1989.
- Plano nº 19. Acuífero de Torre Vieja. Isocloruros Agosto-Septiembre 1989.
- Plano nº 20. Redes de control de la intrusión marina.

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I Análisis químicos.

ANEXO II Listado de Resultados del Programa de Análisis Discriminante.

ANEXO III Fichas de los puntos de nuevo inventario.

1. INTRODUCCION

Este estudio se enmarca dentro del "Proyecto para la realización de estudios de contaminación de acuíferos por actividades agrícolas, industriales y urbanas" desarrollado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Dicho organismo viene realizando en los últimos años una intensa investigación para obtener un mejor conocimiento de los procesos de degradación de la calidad natural del agua subterránea, con el fin de extraer líneas directrices de solución.

La intrusión del agua del mar en acuíferos costeros es un tema ya tratado en gran número de estudios y publicaciones, tanto por el ITGE como por otros Organismos; puesto que se trata de un problema de gran envergadura, se hace necesario continuar las investigaciones, como la que ahora se realiza, encaminada a poder obtener métodos y tecnologías que puedan ser utilizados allí donde exista este tipo de contaminación.

Los acuíferos costeros son generalmente los más necesitados de una gestión adecuada pues, además de que presentan como se ha dicho, un alto riesgo de afección a la calidad de sus aguas, están ubicados en zonas de demandas intensas, como consecuencia del desarrollo industrial, agrícola, urbano y turístico.

Dentro de las provincias de Murcia y Alicante, se tenía conocimiento, a través de los proyectos de Infraestructura que el ITGE desarrolla anualmente, de que ciertos acuíferos costeros presentaban indicios racionales de intrusión marina. El primer objetivo ha sido abordar el estudio en dichos acuíferos con el fin de conocer el grado de afección y posteriormente evaluar el

impacto que ella ha originado principalmente en los sectores agrícola y turístico. Los acuíferos investigados han sido: Aguilas-Cala Reona, Cope-Cala Blanca, Campo de Cartagena, Cabo Roig, Torrevieja, San Juan-Campello, Villajoyosa y Benidorm-Altea (fig. 1.1).

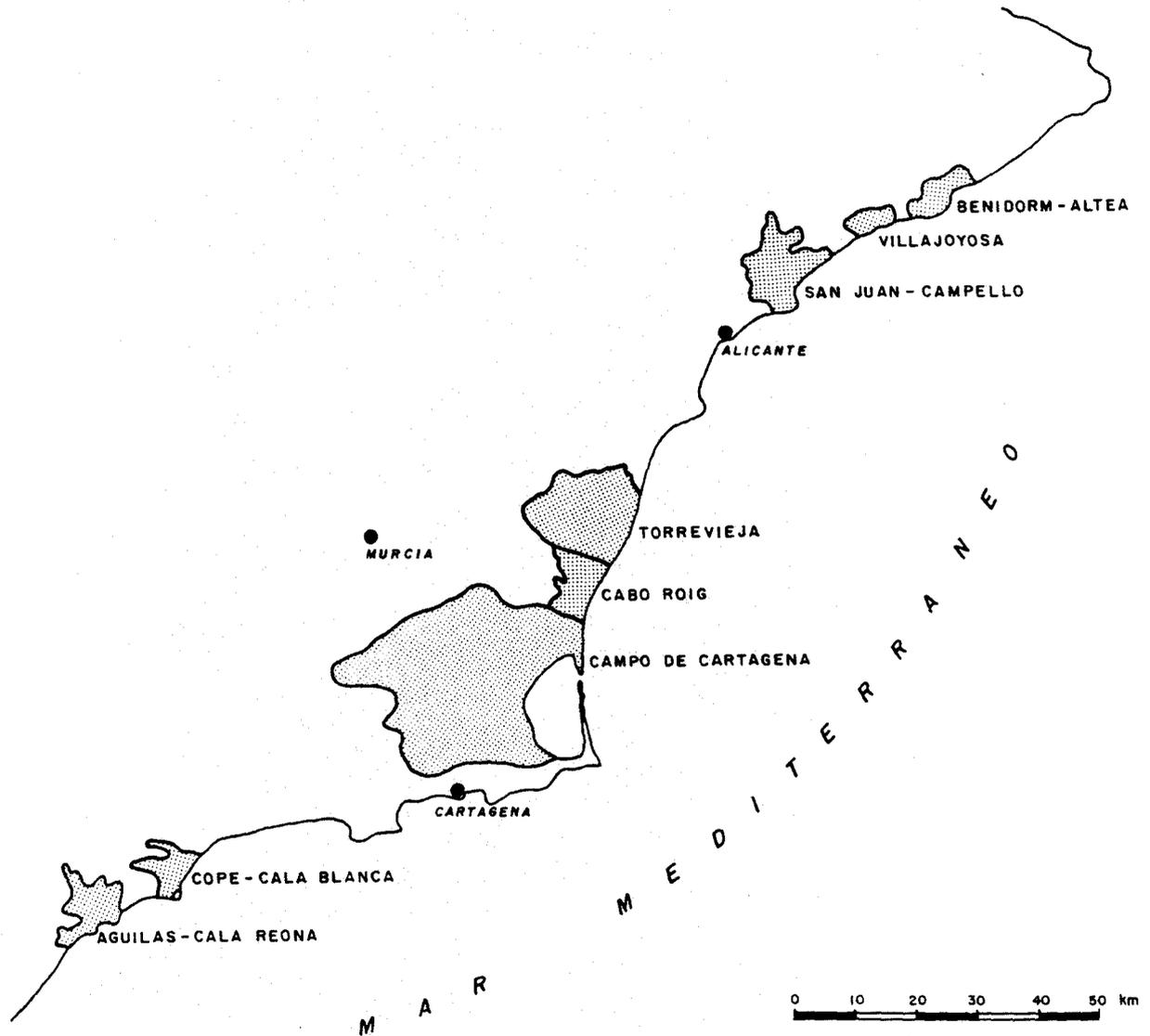


Fig. 1.1. Situación de los acuíferos costeros estudiados.

El presente estudio ha sido realizado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España, con la colaboración de la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, S.A., en calidad de contratista. El personal técnico que ha intervenido en su ejecución ha sido el siguiente:

Por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España,
(ITGE):

- Ramón Aragón Rueda
Geólogo. Responsable de la Oficina del ITGE en Murcia.
Director Técnico del Estudio.

Por la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA):

- Tomás Rodríguez Estrella
Doctor en Ciencias Geológicas
Responsable del Equipo colaborador
- Rafael Sánchez Medrano
Ingeniero de Minas
- Vicente Mora Cuenca
Ingeniero Técnico de Minas

2. TRABAJOS REALIZADOS

Previamente a este estudio se han llevado a cabo una serie de campañas de Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.), contempladas en otros proyectos, cuyo objetivo ha sido obtener un conocimiento lo más exacto posible de la geometría en profundidad de estos acuíferos costeros de Murcia y Alicante.

Los trabajos que se han llevado a cabo durante la realización de este proyecto, pueden clasificarse en dos grupos: por un lado, la recogida de datos en el campo y por otro, el tratamiento de éstos en gabinete, previa recopilación de la información hidrogeológica necesaria correspondiente a cada uno de los acuíferos considerados.

Respecto a los trabajos de campo, éstos han consistido en la recogida de muestras de agua y la medida de niveles piezométricos en dos campañas con un intervalo de tiempo entre las mismas de 4 a 6 meses. En total se han efectuado 276 medidas de nivel piezométrico, 159 de las cuales se realizaron en el período de aguas altas (final del invierno, comienzo de la primavera) y 117 en el período de aguas bajas (final del verano). Igualmente se han recogido un total de 323 muestras, correspondiendo 159 a la primera campaña de muestreo (período de aguas altas) y 164 a la segunda (al final del estiaje).

La distribución del número de medidas piezométricas y de muestras recogidas, por acuíferos, puede verse en el cuadro nº 2.1.

Cuadro 2.1. Distribución, por acuíferos del número de medidas piezométricas realizadas y muestras recogidas.

ACUIFERO	Nº Medidas Piezométricas		Nº Muestras Recogidas	
	1ª Campaña	2ª Campaña	1ª Campaña	2ª Campaña
AGUILAS - CALA REONA	10	10	10	10
COPE - CALA BLANCA	6	6	14	11
CAMPO DE CARTAGENA	81	58	78	71
CABO ROIG	26	14	26	31
TORREVIEJA	16	8	10	12
SAN JUAN - CAMPELLO	6	9	6	12
VILLAJOSYA	5	5	6	5
BENIDORM - ALTEA	9	7	9	9
TOTAL	159	117	159	164
	276		323	

Por último, durante esta fase del trabajo se ha inventariado un total de 20 nuevos puntos acuíferos y se ha realizado una nivelación de precisión sobre 5 puntos.

Con los datos tomados en ambas campañas y la recopilación de información general referente a los acuíferos objeto de estudio (Geología, Hidrogeología, evoluciones piezométricas y de calidad, datos de población y regadíos, etc.) se ha procedido al estudio detallado de cada uno de ellos, en todos los aspectos relacionados con el fenómeno de intrusión, y se ha reflejado la información resultante en planos, gráficos, figuras, cuadros, anexos, así como en el texto de este informe.

3. METODOLOGIA

En el presente trabajo se ha aplicado la metodología habitual utilizada en este tipo de investigación, que trata de detectar y caracterizar el fenómeno de la intrusión marina en acuíferos costeros. En este sentido han resultado de gran interés los estudios realizados en otros acuíferos españoles, recogidos en el Simposio Internacional sobre Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros (TIAC, 1988), organizado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

Esta metodología básicamente ha consistido en la definición geométrica de los acuíferos implicados en el proceso de la intrusión marina (especialmente la morfología del muro impermeable), la reconstrucción y análisis de las superficies piezométricas del acuífero en aguas altas y aguas bajas y un estudio hidroquímico muy completo para determinar la relación existente en cada caso entre las aguas del acuífero y el agua del mar. Con estos datos, se ha concluido con la emisión de un dictamen para cada acuífero frente a la intrusión marina, delimitando las zonas más afectadas y estableciendo las hipótesis más probables para la morfología de la interfase. También se ha evaluado la incidencia del fenómeno en los sectores agrícola y turístico, de tanta importancia en estos acuíferos del litoral del Sureste español. Por último, en base a los resultados obtenidos en cada acuífero, se ha propuesto una red de vigilancia de la intrusión marina en aquellos puntos que se han estimado más idóneos para observar la evolución del proceso.

Para alcanzar un adecuado conocimiento de la contaminación por intrusión marina en los acuíferos considerados, es necesario conocer lo mejor posible la geometría de los mismos.

Para ello, el ITGE llevó a cabo en el año 1988 cuatro campañas de Geofísica eléctrica (modalidad Sondeo Eléctrico Vertical) en los acuíferos Aguilas-Cala Reona, Cope-Cala Blanca, Torrevieja y Villajoyosa, dado que en los mismos no se había realizado ningún estudio específico, en cuanto a su definición geométrica se refiere. Asimismo, estaba prevista la realización de campañas similares en los acuíferos de San Juan-Campello y Benidorm-Altea, pero no se pudieron llevar a cabo por dificultades de orden práctico (en estas zonas existen grandes áreas de suelo urbanizado); por ello no ha sido posible la definición geométrica, en profundidad, de estos acuíferos.

Los resultados de los trabajos geofísicos realizados, recogidos en perfiles geoelectrónicos, han sido interpretados geológicamente en base al conocimiento específico de cada acuífero, teniendo en cuenta para ello, tanto las columnas de sondeos existentes como la interpretación fotogeológica llevada a cabo, con el fin de detectar las fracturas neotectónicas que afectan a los rellenos postectónicos del litoral; todo ello ha contribuido al conocimiento de la geometría de estos acuíferos que no se tenía anteriormente.

Por otra parte, en los acuíferos del Campo de Cartagena y de Cabo Roig, el ITGE llevó a cabo, en 1989, la realización de proyectos específicos en orden a definir su geometría, los cuales han resultado de gran ayuda para el tema que se investiga.

La geometría de los acuíferos se ha reflejado mediante planos de isohipsas del muro impermeable, con especificación de los diversos límites y afloramientos de rocas permeables e impermeables.

Respecto al estudio de la superficie piezométrica, de las dos campañas de medidas realizadas se han construido sus correspondientes mapas de isopiezas, uno referente al período de aguas altas y otro al de aguas bajas, al objeto de poder comparar

la evolución de los niveles, especialmente en las zonas costeras, en un período semestral; asimismo, se ha puesto especial interés en la observación de la dirección del flujo preferente y en las cotas negativas.

En algunas ocasiones se han medido niveles dinámicos en las captaciones, al objeto de evaluar las depresiones producidas y su posible influencia en el flujo subterráneo. En todos los casos se han tenido en cuenta las evoluciones de la superficie piezométrica en los puntos piezométricos en los que se dispone de medidas durante los últimos años.

El estudio hidroquímico se ha efectuado en base a las dos campañas de muestreo realizadas simultáneamente a las de medida de nivel piezométrico, al objeto también de detectar variaciones estacionales en la hidroquímica de los acuíferos. Se han hecho determinaciones en los siguientes parámetros: Cl⁻, SO₄⁼CO₃H⁻, CO₃⁼, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, TSD, así como conductividad a 20°C, temperatura en campo, DQO, ph, ión amonio, nitritos, Boro, Cobre, Zinc, fosfatos y sílice. También se han calculado la Dureza total, el índice SAR y las relaciones iónicas de mayor interés para el estudio de la intrusión marina como son: rMg/rCa, rCl/rCO₃H, r SO₄/rCl e índice de cambio de bases (i.c.b.).

Para el estudio del estado del acuífero frente a la intrusión marina, se han tenido en cuenta variaciones tanto espaciales como temporales en los parámetros más indicativos de intrusión y se han confeccionado los mapas de isocloruros, correspondientes a ambos períodos de muestreo en cada acuífero. Asimismo, se tomaron, allí donde fue posible, muestras con hidrocaptor en sondeos a distintas profundidades, al objeto de determinar la variación en vertical de estos parámetros y poder definir la morfología de la interfase agua dulce-agua salada.

Un aspecto a resaltar de gran importancia en este estudio ha sido la comparación entre las cotas de fondo de obra

de las captaciones y los parámetros indicativos de intrusión marina a la hora de establecer la posibilidad de relación entre el agua del mar y la del acuífero en cuestión.

En los puntos en los que se disponía de datos hidroquímicos a lo largo de los últimos años se han estudiado las evoluciones de los parámetros indicativos de intrusión marina; en aquellos casos en que además existían evoluciones de nivel piezométrico se ha estudiado también la relación piezometría-contenido en cloruros en el tiempo.

Por último, en base a los datos obtenidos y los resultados del estudio, se han valorado en cada caso las circunstancias que más han podido influir en el proceso de intrusión a corto plazo.

4. AGUILAS-CALA REONA

4.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

Situado en el extremo Sur de la provincia de Murcia, junto al límite con la de Almería, este acuífero ocupa la zona costera existente entre la playa de El Hornillo, 1 km al Este de Aguilas, y el paraje de Cala Reona, sobre una extensión superficial de 35 km².

El acuífero está formado por calcarenitas y areniscas de edad pliocena, que se encuentran recubiertos por materiales cuaternarios (conglomerados y gravas principalmente) de permeabilidad y espesor variable. La potencia máxima que pueden alcanzar estos materiales conjuntamente se sitúa sobre los 130 m en algunas zonas muy próximas a la costa. El impermeable de base del acuífero está constituido por materiales Permo-Triásicos del Complejo Alpujárride (micaesquistos, filitas, cuarcitas y metaconglomerados) que aflora a lo largo de toda la parte septentrional, así como por las margas del Mioceno superior, aflorantes en el sector suroccidental, limítrofe con la provincia de Almería.

Los límites del acuífero (ver figura 4.1) quedan definidos de la siguiente manera:

A lo largo de toda la zona septentrional situada entre la playa de El Hornillo en el extremo Este y el paraje de Los Canales en la parte Oeste, el límite viene determinado por el contacto entre los materiales Plio-Cuaternarios y el impermeable de base del Complejo Alpujárride. Desde Los Canales hacia Cañada Brusca y desde aquí hasta el extremo suroccidental del acuífero, ya en la provincia de Almería, el límite está definido por el

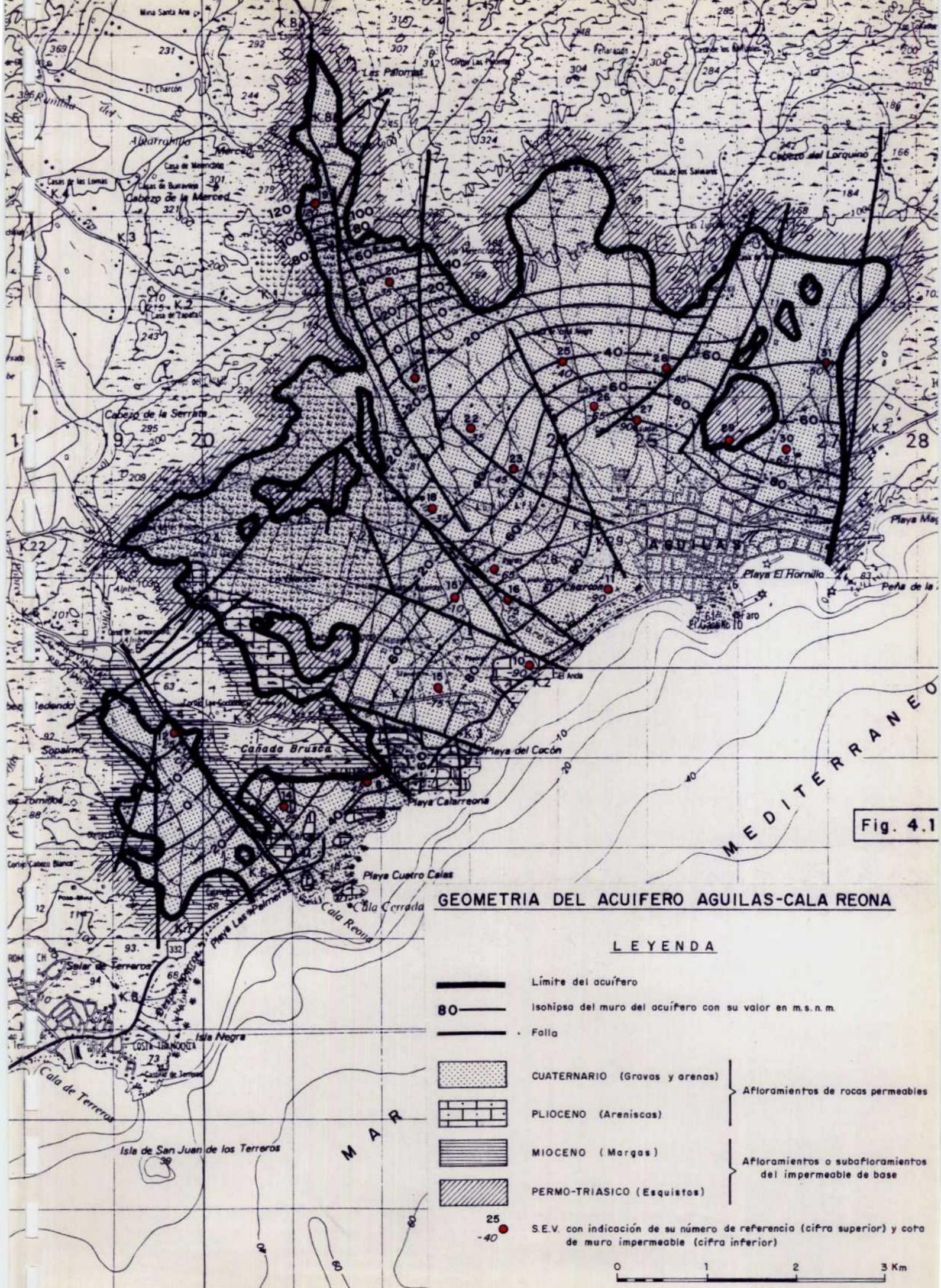
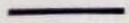
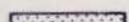
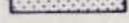


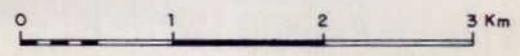
Fig. 4.1

GEOMETRIA DEL ACUIFERO AGUILAS-CALA REONA

LEYENDA

-  Límite del acuífero
 -  Isohipsa del muro del acuífero con su valor en m.s.n.m.
 -  Falla
 -  CUATERNARIO (Gravos y arenas)
 -  PLIOCENO (Areniscas)
 -  MIOCENO (Margas)
 -  PERMO-TRIASICO (Esquistos)
- } Afloramientos de rocas permeables
 } Afloramientos o subafloramientos del impermeable de base

25 ● S.E.V. con indicación de su número de referencia (cifra superior) y cota de muro impermeable (cifra inferior)



contacto entre los materiales del Alpujárride y las margas del Mioceno superior, en una zona de umbral que desconecta las areniscas del Plioceno de la parte de Aguilas con los materiales de la misma edad situados en la zona de Terreros, en Almería. Es en esta zona suroccidental donde los afloramientos de areniscas son más abundantes. Por último, toda la zona entre Cala Reona y la playa del Hornillo, a lo largo de unos 9 km, corresponde a la línea de costa con el Mar Mediterráneo.

En cuanto a espesores se refiere, los materiales cuaternarios son muy variables de unas zonas a otras, pudiendo oscilar entre los 5 m y varias decenas. Según la interpretación de la geofísica realizada, apoyada por algunas columnas de sondeos mecánicos, en la zona de Las Majadas, 1,5 km al Norte de Aguilas, el relleno de materiales cuaternarios puede llegar a los 80 m, y lo mismo ocurre en una zona de la Rambla del Cañarete, entre la Casa de Rabal y la Casa de la Tejera.

Las areniscas del Plioceno, sin embargo, mantienen un espesor bastante constante en torno a los 70-80 m, mostrando un ligero aumento de potencia hacia la costa, donde alcanzan los 100 m. Hay que indicar que las areniscas del Plioceno únicamente afloran en la parte suroccidental del acuífero y que su extensión bajo los materiales del Cuaternario no es bien conocida.

En líneas generales, en toda la zona existe un complejo sistema de fracturas que afectan tanto a los materiales béticos del impermeable de base como a los de relleno que constituyen el acuífero (algunas de estas fallas coinciden con la traza superficial de las principales ramblas, como las de Charcón y Cañarete), de forma que los espesores del Terciario y Cuaternario pueden estar condicionados localmente por surcos y umbrales provocados por la acción de estas fracturas. Así, pueden observarse algunas zonas levantadas delimitadas por fallas, como la situada a unos 2 km al Oeste de la rambla del Charcón, donde el acuífero tiene una potencia de tan solo 40 ó 50 m.

La mayor parte de la superficie correspondiente al muro del acuífero se encuentra por debajo de la cota cero. Según puede observarse en la figura 4.1, la isohipsa de valor cero, en los lugares en que ha podido determinarse, se sitúa a una distancia mínima de 4 km del mar. En la propia línea de costa, el muro del acuífero se sitúa por debajo de la cota -100 m.r.m.

4.2. PIEZOMETRIA

Se han realizado dos campañas de medidas de nivel piezométrico correspondientes a los meses de Febrero y Septiembre de 1989, sobre un total de 10 puntos en cada campaña.

Con los resultados obtenidos se han confeccionado los planos de isopiezas correspondientes a cada período (figuras 4.2 y 4.3), las medidas se reflejan también en el cuadro nº 4.1.

Como se observa en los planos de isopiezas, el flujo subterráneo es del interior hacia la costa con un máximo, en las inmediaciones de la Casa del Portazgo (extremo septentrional del acuífero), de 125 m y un mínimo, en las proximidades de la costa de 5 m. Estos valores se mantienen prácticamente constantes tanto en el mes de Febrero como en el de Septiembre.

La morfología de las isopiezas, paralelas a la costa, refleja que el agua subterránea circula descargándose hacia el mar, con unos gradientes que oscilan entre el 6 y 12 por mil. Se observa, sin embargo, una marcada convexidad en las isopiezas en torno al área de mayor concentración de captaciones, que muestra el efecto de drenaje provocado por la explotación.

La variación en la cota piezométrica observada al comparar los dos períodos, no se corresponde con la que cabría esperar al pasar de la estación húmeda al final de la estación seca. La mayoría de los puntos medidos en Septiembre muestran una elevación del nivel piezométrico entre 1 y 1,5 m con relación a

ACUIFERO AGUILAS - CALA REONA
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

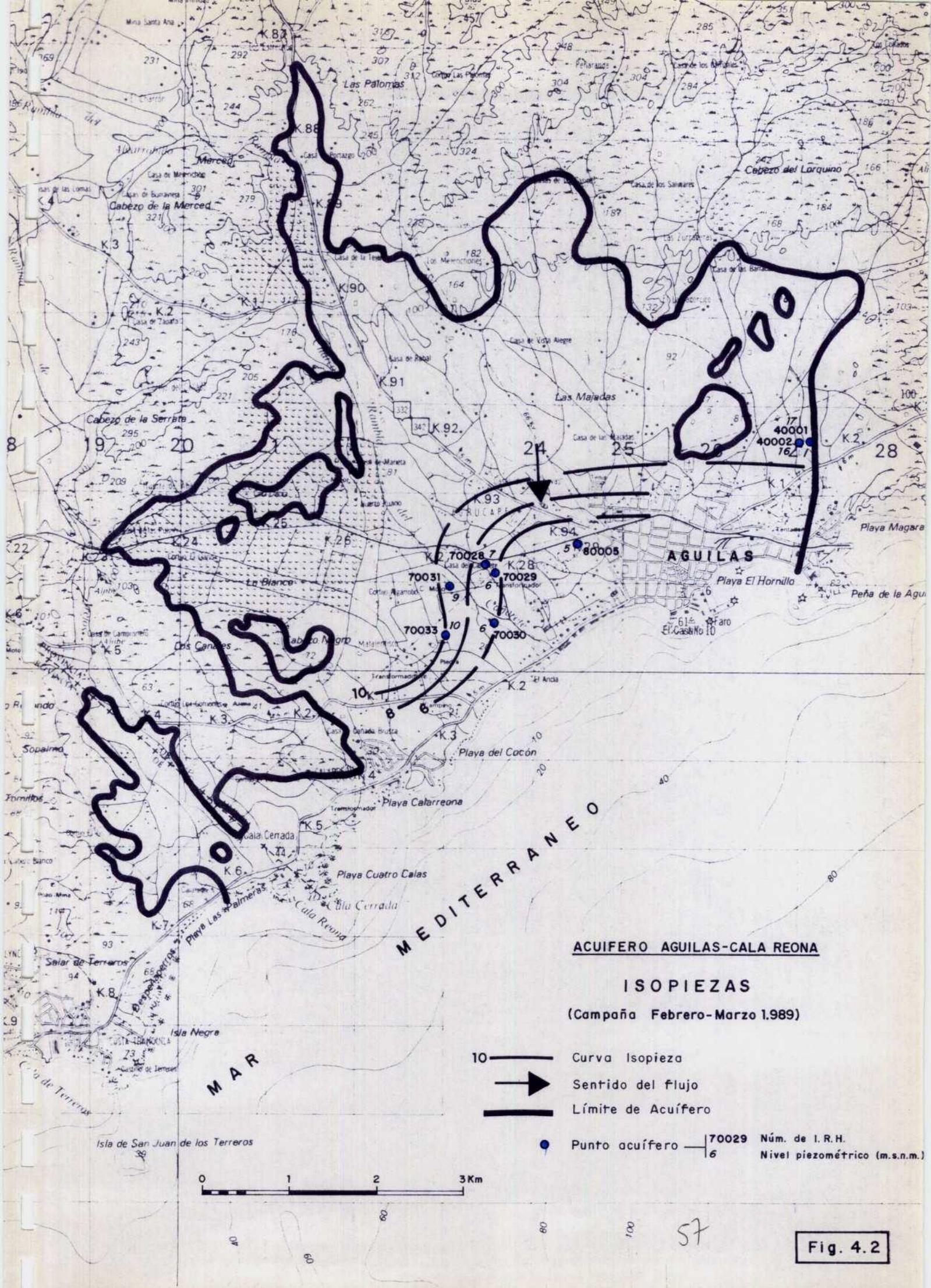
CLAVE DEL ACUIFERO:GE27

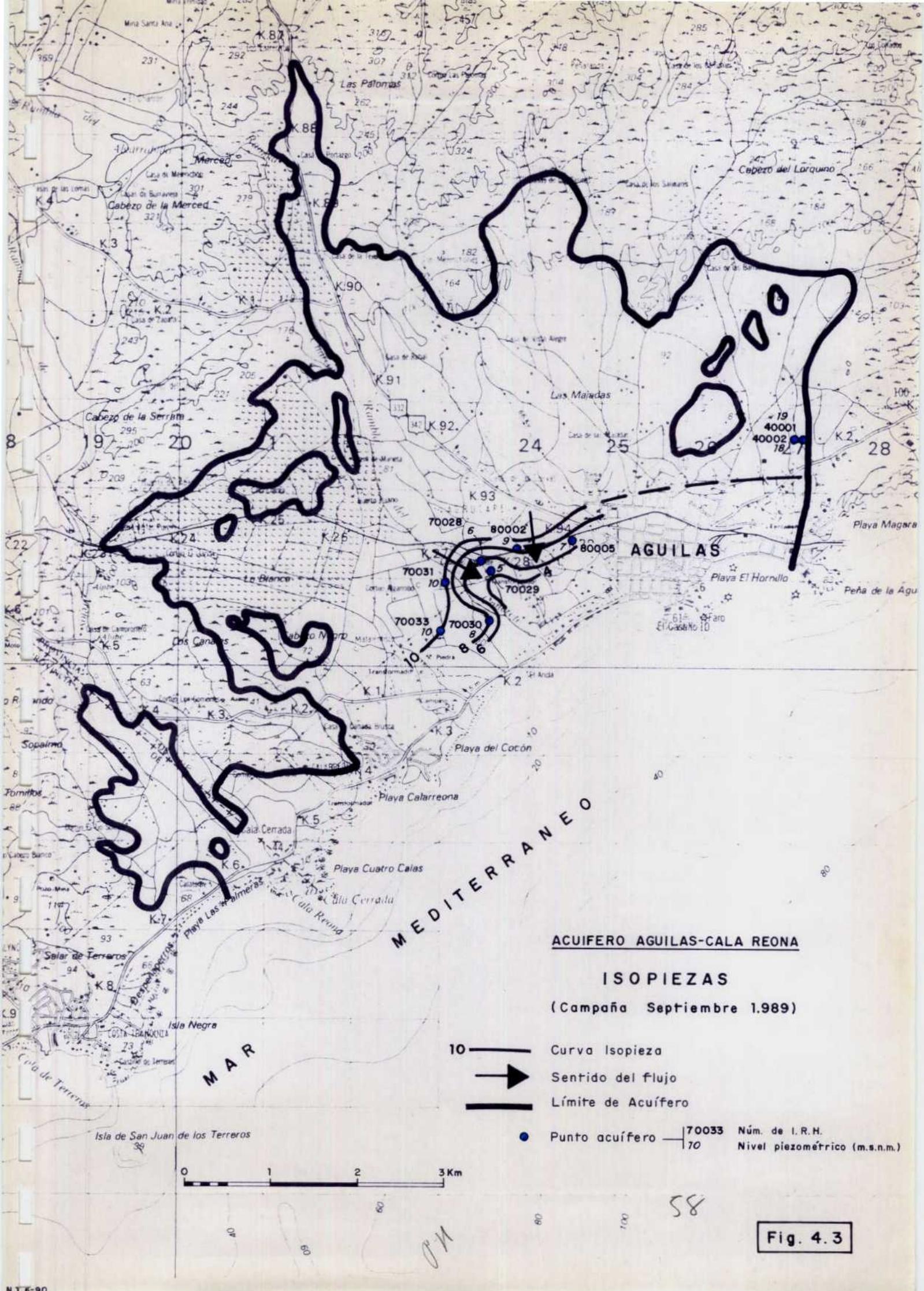
PERIODO DE CONTROL:26-02-89/14-09-89

N	IRH	PNP (m)	CNP (m)	FECHA	OBSERVACIONES
254030033		15.33	124.67	27/02/89	E
254030033		14.35	125.65	13/09/89	E
254040001		11.50	17.50	27/02/89	E
254040001		10.05	18.95	13/09/89	E
254040002		11.98	16.02	27/02/89	E
254040002		10.50	17.50	13/09/89	E
254070028		21.80	7.20	27/02/89	E
254070028		22.70	6.30	13/09/89	E
254070029		21.92	6.08	27/02/89	E
254070029		22.80	5.20	13/09/89	E
254070030		13.50	6.50	27/02/89	E
254070030		12.05	7.95	13/09/89	E
254070031		21.00	9.00	27/02/89	E
254070031		20.00	10.00	13/09/89	E
254070033		18.25	9.75	27/02/89	E
254070033		17.60	10.40	13/09/89	E
254080002		20.65	7.35	27/02/89	E
254080002		19.50	8.50	13/09/89	E
254080005		12.60	5.40	27/02/89	E
254080005		11.04	6.96	13/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 24
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)





ACUIFERO AGUILAS-CALA REONA

ISOPIEZAS

(Campaña Septiembre 1989)

- 10 ————— Curva Isopieza
- Sentido del flujo
- Límite de Acuífero

● Punto acuífero — 70033 Núm. de I.R.H.
70 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)

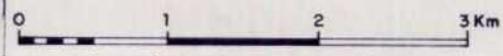


Fig. 4.3

los de Febrero. Esta situación se debe muy probablemente a la recarga circunstancial que provocaron las lluvias torrenciales acaecidas al final del verano de 1989, y que inundaron toda la zona circundante a Aguilas.

De la observación de las evoluciones piezométricas existentes desde el año 1980, puede deducirse que se dan descensos de 0,5 a 3,5 m entre el comienzo de la estación seca y el final de la misma.

Por otro lado, en cuanto a las evoluciones de la cota del nivel piezométrico, también se observa desde el año 1980 un moderado pero continuo aumento del valor, estimado en unos 7 m en el período de 1980 a 1989 para el sector de la Rambla del Cañarete más próxima al Charcón, y sobre los 30 m, en el sector más oriental, donde pasan de presentar cotas negativas (-13) en 1980 a cotas positivas (17) en 1989. En este período el nivel piezométrico de los puntos más próximos a la costa, pasa de tener cotas negativas o ligeramente positivas (según los sectores) a presentar valores claramente positivos. Este fenómeno guarda relación con el hecho de que a partir del año 1980 fue cuando se consiguió el mayor envío de agua procedente del Alto Guadalentín.

4.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

En el acuífero Aguilas-Cala Reona se han tomado un total de 22 muestras, distribuidas entre las dos campañas de muestreo realizadas: 10 en la campaña de Febrero-Marzo y 12 en la de Septiembre.

En base a las determinaciones efectuadas se han confeccionado los mapas de isocloruros correspondientes a ambas campañas (figuras 4.4 y 4.5), reflejándose en el cuadro nº 4.2 las principales características de los puntos muestreados. Entre éstas se ha destacado la cota a la que se encuentra el fondo de la obra y las circunstancias en las que han sido recogidas las

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Aguilas-Cala Reona

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2540-30033	27-02-89	Bombea 2 horas	60	80	5731	1526	47	1,5	8,36	0,99	-0,18
2540-30033	13-09-89	Bombea 5 min.	"	"	5067	1430	49,72	1,4	7,88	0,85	-0,03
2540-40001	6-03-89	Hidrocaptor 22 m.	80	-51	3371	1150	60,14	0,43	8,14	0,49	0,06
2540-40001	6-03-89	" 40 m.	"	"	3673	1490	69,78	0,52	10,13	0,3	0,25
2540-40001	6-03-89	" 47 m.	"	"	3535	1385	67,6	0,66	9,57	0,34	0,17
2540-40001	14-09-89	" 10 m.	"	"	3434	1325	66,45	1,97	17,53	0,4	0,12
2540-40001	23-09-89	" 22 m.	"	"	3459	1240	62,84	2,1	9,36	0,44	0,08
2540-40001	23-09-89	" 40 m.	"	"	3474	1238	61,94	2,07	9,51	0,46	0,08
2540-40001	23-09-98	" 47 m.	"	"	3475	1240	62,16	2,06	9,36	0,45	0,08
2540-40002	28-02-89	Bombea	80	-52	3985	1286	57,35	0,58	8,64	0,55	-0,01
2540-40002	14-09-89	Hidrocaptor 10 m.	"	"	4281	1500	59,87	2,27	13,3	0,53	0,08
2540-70028	13-09-89	Bombea 5 min.	101	-72	2107	680	52,69	1,47	6,88	0,72	0,47
2540-70030	27-02-89	Bombea 1 hora	101	-81	4270	1420	58,04	0,49	11,69	0,59	0,04
2540-70030	13-09-89	Bombea 5 min.	"	"	4127	1690	69,31	1,39	20,33	0,38	0,18
2540-70031	27-02-89	Bombea 10 min.	"	-71	2551	732	50,90	0,47	6,66	0,78	0,04
2540-70031	13-09-89	Bombea 5 min.	"	"	2923	987	57,53	1,78	9,54	0,61	0,21
2540-70033	27-02-89	Bombea 10 min.	74	-46	3957	1065	47,83	0,62	11,24	0,94	-0,05
2540-70033	13-09-89	Bombea 10 min.	"	"	4173	1145	48,11	1,48	7,24	0,88	0,03
2540-80002	27-02-89	Bombea 5 min.	100	-72	2768	846	54,41	0,66	4,01	0,58	0,02
2540-80002	13-09-89	Bombea 10 min.	"	"	2946	1020	59,05	1,93	9,24	0,58	0,13
2540-80005	27-02-89	Bombea 5 min.	75	-57	5515	1924	60,64	0,89	14,45	0,54	0,05
2540-80005	13-09-89	Bombea 5 min.	"	"	5649	2210	65,84	1,54	22,36	0,46	0,2

muestras (reposo, bombeando, tiempo de bombeo, hidrocaptor a distintas profundidades, etc).

Las aguas subterráneas del acuífero Aguilas-Cala Reona presentan facies cloruradas sulfatadas en cuanto a los aniones se refiere, con un predominio neto del ión cloruro sobre el sulfato superando siempre el 50% de meq/l, excepto para el punto 2540-30033 (situado en el extremo septentrional del acuífero) en que los porcentajes de cloruros y sulfatos son similares. En cuanto a los cationes, muestran facies sódico-cálcicas a mixtas al final del invierno y sódico magnésicas a mixtas al final del estiaje, superando el sodio casi siempre el 50% de meq/l entre los cationes.

En el período comprendido entre el final del invierno y el final de la época estival, en general se observa una disminución del contenido en Ca^{2+} y CO_3H^- (ya de por sí escaso) así como un neto aumento en los contenidos de Cl^- y Mg^{2+} ; por su parte las cantidades de Na^+ y $\text{SO}_4=$ permanecen prácticamente constantes. La disminución de bicarbonatos y de calcio en verano es debido a que durante esta estación la Comunidad de Regantes de Aguilas importa menos agua del acuífero del Alto Guadalentín, cuya facies es bicarbonatada cálcica debido a una contaminación gaseosa endógena.

La salinidad de estas aguas (expresada como Total de Sales Disueltas) está comprendida entre 2,2 y más de 5,5 gr/l, con aumentos de 200 mg/l entre Febrero y Septiembre. La conductividad oscila entre poco más de 3000 y 8300 microsiemens/cm (a 20°C) que se alcanzan en la zona del Charcón en Septiembre, presentando la salinidad un claro incremento en dirección a la costa.

En la campaña de Febrero-Marzo, los contenidos en cloruros oscilan entre 732 y 1924 mg/l. En la figura 4.4, se observa un aumento en el contenido de este ión en dirección a la

costa, en torno a los 1200 mg/l, a lo largo de una franja más o menos paralela a dicha costa y de anchura aproximada a 1,5 km. En la zona del Charcón, 1 km al Oeste de Aguilas, las líneas de cloruros muestran una convexidad, hacia el Norte elevándose rápidamente el contenido en Cl⁻ y pudiendo superar los 2000 mg/l. En este sector, situado entre 0,5 y 1,5 km de la costa, se encuentra el mayor número de captaciones del acuífero, concentrándose más del 60% de ellas en una zona de 2 km², y en la campaña de Septiembre el contenido de cloruros sobrepasó los 2200 mg/l.

Esta última campaña de muestreo presenta unas características similares a la de Febrero-Marzo, en cuanto a la forma de las líneas de isocontenido en cloruros se refiere, aunque con un aumento medio de éstas en torno a los 200 mg/l sobre la campaña anterior; sus valores están comprendidos entre 680 y 2210 mg/l.

También son de destacar los elevados contenidos en cloruros del sector situado a 1,5 km al Noreste de Aguilas, muy cerca ya del límite del acuífero en esta zona, pero a tan sólo 2 km escasos de la línea de costa. El contenido en cloruros, sin llegar a los valores alcanzados en la zona del Charcón, está comprendido entre 1200 y 1500 mg/l.

Por último, señalar que el punto 2540-30033 a pesar de arrojar un elevado contenido en cloruros no presenta el mismo comportamiento hidroquímico que los situados más cerca del litoral. Este punto se encuentra a unos 6 km de la costa, próximo al límite septentrional del acuífero junto a los afloramientos de la base impermeable del Complejo Alpujárride. No se aprecian variaciones significativas de una campaña a otra, en cuanto al contenido en cloruros, mostrando en general mayor salinidad que el resto de los puntos muestreados en el acuífero, así como mayor concentración en sulfatos; por otro lado esta anomalía no puede deberse a intrusión marina por encontrarse el impermeable de base

Fig. 4.4



ACUIFERO AGUILAS - CALA REONA

ISOCLORUROS

(Campaña Febrero - Marzo 1989)

- Limite del acuífero
- 500 — Isocloruros (mg/l)

- Punto muestreado
- 70030 NÚM. de I.R.H.
- 1420 Contenido en ion cloruro

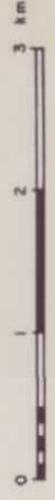




Fig. 4.5

ACUIFERO AGUILAS - CALA REONA

ISOCLORUROS
(Campana Septiembre 1989)

60

-  Limite del acuífero
 -  Isocloruros (mg/l)
 -  Punto muestreado
- | | |
|-------|--------------------------|
| 70031 | Núm. de I.R.H. |
| 947 | Contenido en ion cloruro |



de este punto a una cota topográfica muy elevada. Más bien se debe a la proximidad de los materiales Alpujárrides que contienen evaporitas en el Permo-Trías.

En cuanto a la distribución del ión cloruro en profundidad se dispone de un muestreo efectuado en el punto 2540-40001 a distintas profundidades con hidrocaptor, en ambas campañas (ver cuadro nº 4.2). La profundidad de esta captación es de 80 m, situándose el fondo de la obra a una cota de -51 m.r.m. La distancia de este punto a la costa es de 1,5 km aproximadamente. Como se desprende de los análisis realizados, no puede afirmarse con claridad que los parámetros indicativos de intrusión marina sigan una correlación positiva con la profundidad, manteniéndose prácticamente constantes a lo largo de la vertical del pozo, si bien es cierto que no se ha podido tomar muestras por debajo de los 47 m (cota -18), y los intervalos estudiados son muy pequeños.

Los valores alcanzados para la relación rMg/rCa oscilan entre 0,49 y 0,89 en la campaña de Febrero-Marzo y entre 1,39 y 2,27 en la de Septiembre. Las variaciones estacionales de este parámetro alcanzan, por tanto, valores considerables.

Respecto a la relación rCl/rCO_3H , las variaciones tanto espaciales como temporales (entre campañas) son bastante significativas, presentando valores prácticamente siempre por encima de 5, concretamente entre 4,01 y 14,45 en Febrero y entre 6,88 y 22,36 en Septiembre.

Por su parte la relación rSO_4/rCl manifiesta una tendencia generalizada a disminuir de una campaña a otra oscilando sus valores entre 0,94 y 0,34 en la de Febrero y entre 0,88 y 0,38 en la de Septiembre. También se observa una disminución de sus valores en dirección a la costa.

En lo referente al índice de cambio de bases, no se observan variaciones espaciales de importancia, aunque sí se manifiesta una acusada tendencia a aumentar su valor de una campaña a otra. Es de destacar cómo este índice pasa de ser negativo a positivo cuando el porcentaje en cloruros (expresado en meq/l) sobre el total de aniones de las muestras supera el 50%.

En cuanto a la distribución espacial de los valores de estos índices, son las relaciones rCl/rCO_3H y rSO_4/rCl las que parecen aportar mayor información sobre las manifestaciones de intrusión marina en este acuífero. Así, en un recorrido de 1,5 km paralelamente a la costa, desde al punto 2540-70031, junto a la Rambla del Cañarete, hasta el punto 2540-80005 en el Charcón, la relación rCl/rCO_3H aumenta de 6,66 a 14,45 en la campaña de Febrero y de 9,54 a 22,36 en la de Septiembre. Por su parte, la relación rSO_4/rCl disminuye su valor de 0,78 a 0,54 en Febrero y de 0,61 a 0,46 en Septiembre. Se da la circunstancia además, de que la cota del fondo del pozo en el primer punto se encuentra a -71 m.r.m. y en el segundo, situado en la zona del Charcón ésta se sitúa a -57 m.r.m., por lo que si las muestras se consideran representativas de estas cotas (ambas han sido recogidas después de un corto período de bombeo), la proximidad de la cuña de agua salada en dirección a Aguilas se hace más patente.

También, en el tramo cercano a la desembocadura de la Rambla del Cañarete, entre los puntos 2540-70031 y 2540-70030, situados a una distancia de 2,2 km y 600 m de la costa, respectivamente, se observa un significativo aumento del índice rCl/rCO_3H , que pasa del valor 6,66 a 11,69 en Febrero y de 9,54 a 20,33 en Septiembre. La relación rSO_4/rCl disminuye, asimismo, de 0,78 a 0,59 en la primera campaña y de 0,61 a 0,38 en la segunda. Estos valores demuestran que en el sector occidental del acuífero existen claros indicios de la penetración de la cuña de agua salada tierra adentro.

En el sector más oriental del acuífero, la situación es también preocupante, con elevados valores en los índices rMg/rCa y rCl/rCO_3H , que al final del verano alcanzan valores en torno a 2 el primero y entre 13 y 17 el segundo. Las captaciones ubicadas en esta zona, donde el acuífero está constituido casi exclusivamente por los materiales permeables del cuaternario, presentan además contenidos en nitratos superiores a 100 mg/l.

En resumen, los hechos más destacables en cuanto al estudio de estas relaciones iónicas en el acuífero de Aguilas-Cala Reona se refiere, son las variaciones espaciales (en algunos casos espectacular), de ciertos parámetros como son el aumento muy significativo de la relación rCl/rCO_3H y el descenso de la relación rSO_4/rCl , en dirección a la costa y de Oeste a Este. Por su parte el índice de cambio de bases y la relación rMg/rCa acusan incrementos de importancia entre los períodos de muestreo realizados.

4.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

El acuífero de Aguilas-Cala Reona presenta actualmente un claro fenómeno de intrusión marina, como se ha puesto de manifiesto principalmente a través del estudio hidroquímico.

La zona afectada representa una franja paralela a la línea de costa, de algo más de 2 km en su parte más ancha (alrededor de la localidad de Aguilas) y de 1,5 km en la más estrecha hacia el suroeste. El problema es especialmente importante al Oeste de Aguilas, en la zona de El Charcón, donde se encuentran ubicadas la mayoría de las captaciones. Aquí y en la zona de la Rambla del Cañarete más próxima al litoral, algunas explotaciones fueron abandonadas por el considerable incremento de salinidad experimentado durante los últimos años en las aguas que captaban.

La situación por la que el acuífero se encuentra actualmente en tal estado de salinización ha venido favorecida por la intensa explotación a que ha estado sometido el acuífero, en especial en las zonas citadas, con cotas de nivel piezométrico permanentemente negativas, lo que ha propiciado la entrada de agua del mar al acuífero, favorecida a su vez por encontrarse una gran parte del muro impermeable a cotas negativas, pudiendo llegar en la costa a -100 m.r.m.

Desde el año 1980, sin embargo, la superficie piezométrica ha experimentado una lenta pero continua elevación hasta situarse actualmente en cotas que en la zona más afectada por la intrusión se sitúan entre los 5 y 10 m.s.n.m.

Esta circunstancia ha venido propiciada por el hecho de que en la zona ha habido cada vez mayores necesidades de agua, lo que ha obligado la traída estacional de importantes caudales procedentes de otras comarcas cercanas (Alto Guadalentín), de forma que la explotación en el acuífero se ha visto disminuida durante este período, además de producirse un efecto de recarga adicional procedente de excedentes de agua de riego infiltrada.

Esta situación se ha visto reflejada también en una débil tendencia a la mejora de la calidad del agua en algunos sectores. Tal es el caso por ejemplo, del punto 2540-70028, que en Octubre de 1983 presentaba un contenido en cloruros de 923 mg/l, en Septiembre de 1985 se situaba en 781 mg/l y en Septiembre de 1989 el contenido en este ión era de 680 mg/l. Evoluciones similares se observan en los demás parámetros utilizados habitualmente en el estudio de la intrusión marina.

No obstante, aunque en algunas zonas se haya observado esta evolución, la situación del acuífero sigue manteniendo unos niveles de salinización preocupantes, acompañados por cotas de nivel dinámico negativas en muchas captaciones.

Así ocurre por ejemplo durante el verano, época en la que las necesidades de agua para los cultivos de la zona son prácticamente las mismas que durante el resto del año, pero que sin embargo es cuando se reciben menores caudales del exterior y para suplir este déficit se bombea durante más tiempo, con lo que el problema se acentúa, como se ha visto claramente en los resultados de las campañas de muestreo realizadas.

Todos estos factores considerados en conjunto provocan una situación de "equilibrio inestable". Así por ejemplo en años anteriores se produjo una penetración de la cuña de agua salada, al haberse satisfecho la mayor parte de las necesidades mediante la explotación por sondeos del acuífero; en la actualidad, sin embargo, se aprecian sólo ligeras oscilaciones de la cuña, siendo fácilmente alterado este status en cuanto se somete al acuífero a una mayor explotación.

En la figura 4.6 se ha esquematizado la situación más probable de la interfase en la zona situada al Oeste de Aguilas, obtenida relacionando las cotas de fondo de las captaciones en el sector El Charcón, con el contenido en cloruros; también se ha representado el nivel piezométrico estático. En la figura se observa cómo la zona de difusión penetra más de 2 km hacia el interior.

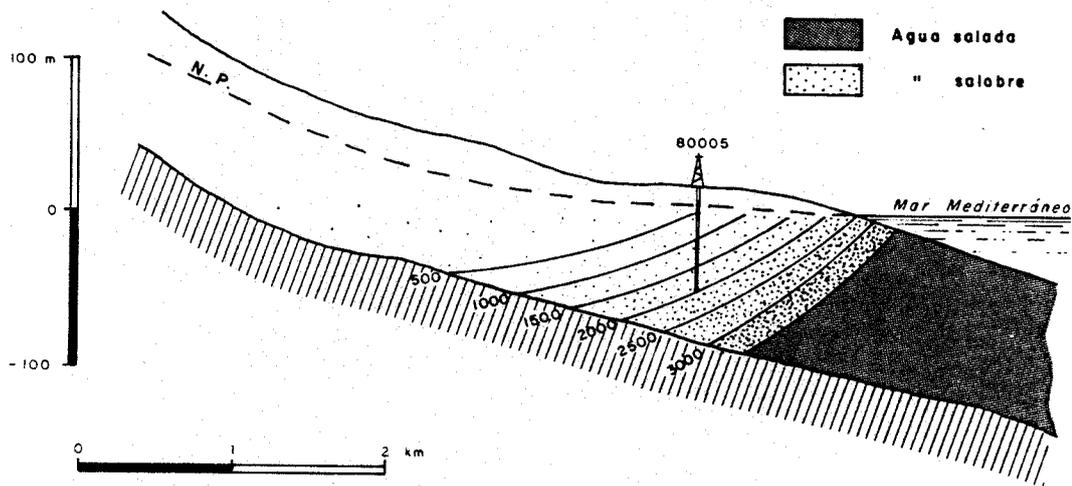


Fig. 4.6 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido en cloruros (en mg/l), en el acuífero Aguilas-Cala Reona.

4.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

Los últimos datos relativos a explotación en el acuífero Aguilas-Cala Reona eran de 0,8 hm³ en el año 1986, destinada en su mayor parte al riego de 140 has de cultivos, mientras que en 1980 la explotación del acuífero superaba los 1,8 hm³. Esta disminución ha sido motivada por el incremento de la salinidad de las aguas captadas y por la importación cada vez mayor de recursos exteriores, fundamentalmente del Valle del Guadalentín. Por tanto, la incidencia del fenómeno de la intrusión marina en el sector agrícola ha sido de cierta importancia, sobre todo en épocas anteriores, en las que algunas captaciones fueron abandonadas debido al progresivo aumento de salinidad; ello obligó a los agricultores a sustituir en parte estos volúmenes de agua por aportes de otras comarcas próximas. En la actualidad la utilización de agua para regadío, en aquellos lugares donde éste se realiza exclusivamente con aguas del acuífero, puede producir efectos negativos sobre el suelo, debido a su baja calidad y aptitud para el riego (alto peligro de salinización del suelo).

En cuanto al sector turístico, la incidencia del fenómeno de la intrusión ha sido prácticamente nula, ya que actualmente tanto la localidad de Aguilas como las urbanizaciones turísticas se abastecen con aguas procedentes de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, junto con aguas subterráneas del Valle del Guadalentín (zona de Puerto Lumbreras). El consumo de agua para abastecimiento experimenta un fuerte ascenso en los meses de verano (Julio y Agosto), llegándose a alcanzar una población de 190.000 habitantes (*), mientras que en el resto

(*) Las cifras de población que aparecen en este estudio han sido proporcionadas por los departamentos de Estadística y Policía Local de los Ayuntamientos. Son datos estimativos, no existiendo estadísticas oficiales al respecto.

del año se mantiene en 24.000. Sólo en estos dos meses hay una demanda de 3,5 hm³ de agua para satisfacer las necesidades creadas por esta población veraniega. En un futuro y ante el continuo incremento en la afluencia de visitantes durante la época estival, hay que saber que esa mayor demanda de agua no se podrá satisfacer mediante bombeo en el acuífero ya que, por un lado, sería necesario un tratamiento previo y, por otro, ocasionaría un mayor avance de la intrusión marina, con el consiguiente deterioro de la calidad de unas aguas ya de por sí afectadas.

5. COPE-CALA BLANCA

5.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

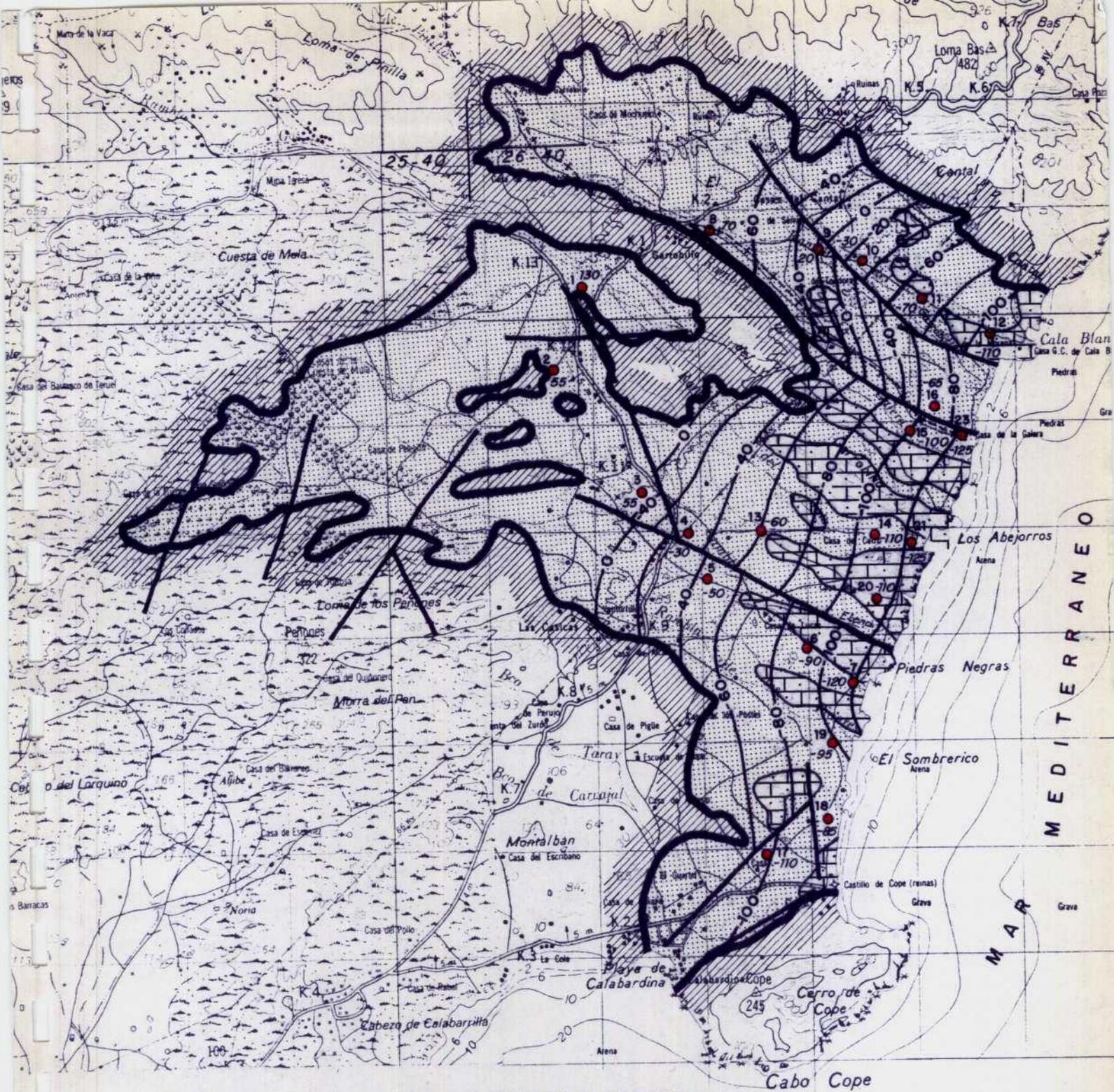
El acuífero Cope-Cala Blanca se encuentra situado a unos 7 km al Este de Aguilas, en la zona costera al Norte de Cabo Cope, desde Calabardina hasta las ramblas del Garrobillo y del Cantal, sobre una extensión superficial de 28 km².

Las rocas permeables están formadas por areniscas y conglomerados del Plioceno principalmente, con niveles de margas arenosas en su base, así como por los aluviales cuaternarios de las ramblas, en los que predominan arenas y conglomerados arcillosos, que le confieren una permeabilidad variable.

Los límites del acuífero (ver figura 5.1) vienen definidos en todos los casos por el contacto entre las rocas permeables y los afloramientos permotriásicos del Complejo Alpujárride (micasquistos, filitas, metaconglomerados y cuarcitas), que actúan de impermeable de base. Todo el borde oriental del acuífero corresponde a la zona de costa.

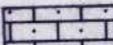
La interpretación de la geofísica eléctrica pone de manifiesto que el Cuaternario posee un espesor muy variable de unos puntos a otros, oscilando entre 5 y 30 m. Así en el sector de la Rambla del Garrobillo, mantiene un espesor bastante constante de Noroeste a Sureste, en torno a los 30 m. Sin embargo, en la parte central y a lo largo de la línea de costa, tiene un espesor menor, oscilando entre 5 y 10 m.

Por su parte, los materiales permeables del Plioceno presentan una potencia media de 80 m; en la zona de la costa, aumenta de forma brusca en dirección hacia el mar, pudiendo



GEOMETRIA DEL ACUIFERO COPE-CALA BLANCA

LEYENDA

-  Límite del acuífero
-  Isohipsa del muro del acuífero con su valor en m.s.n.m.
-  Falla
-  CUATERNARIO (Gravas y arenas) } Afloramientos de rocas permeables
-  PLIOCENO (Areniscas) }
-  PERMO-TRIASICO (Esquistos) } Afloramientos o subafloramientos del impermeable de base
-  S. E. V. con indicación de su número de referencia (cifra superior) y cota de muro impermeable (cifra inferior)

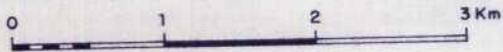


Fig. 5.1

alcanzar los 130 m de potencia. Existen otros cambios de espesor, paralelamente a la costa, motivados por la existencia de fracturas en el zócalo Permo-Triásico que han actuado durante el Plioceno y condicionado su deposición. En muchos casos, la traza de estas fracturas coincide con el cauce de las principales ramblas que desembocan en el mar. Según esto, pueden observarse zonas en las que el muro impermeable se encuentra más elevado, como ocurre entre las Ramblas de la Galera y la del Garrobillo, donde las areniscas del Plioceno tienen un espesor medio de unos 60 m. aunque en las proximidades de la costa pueden superar los 100 m. Algo similar sucede en la zona delimitada por fallas situada a 1 km del paraje del Ventorrillo, donde las areniscas no superan los 40 m de potencia.

Hay que hacer notar que en la mayor parte del acuífero el muro impermeable se sitúa por debajo de la cota 0. Según puede observarse en el figura 5.1, esta isohipsa se encuentra a una distancia de la costa que puede oscilar entre los 3 km, en el sector central y meridional, y los 2 km, en el septentrional, situándose más cerca del mar en la franja comprendida entre las Ramblas del Garrobillo y la de la Galera. A lo largo de la línea de costa el muro impermeable del acuífero se encuentra por debajo de la cota -100 m.r.m.

5.2. PIEZOMETRIA

Se han llevado a cabo dos campañas piezométricas en este acuífero sobre un total de 7 puntos: una realizada en el mes de Febrero y otra en el mes de Septiembre de 1989; en base a ellas se han confeccionado los correspondientes mapas de isopiezas (figuras 5.2 y 5.3). La relación de medidas aparece en el cuadro nº 5.1.

En la campaña de Febrero, el nivel piezométrico está comprendido entre 34 m.s.n.m. en el punto 2640-10028 y 9 m.s.n.m. en el 2640-10020. El sector situado justamente al Norte de El

ACUIFERO COPE - CALA BLANCA
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

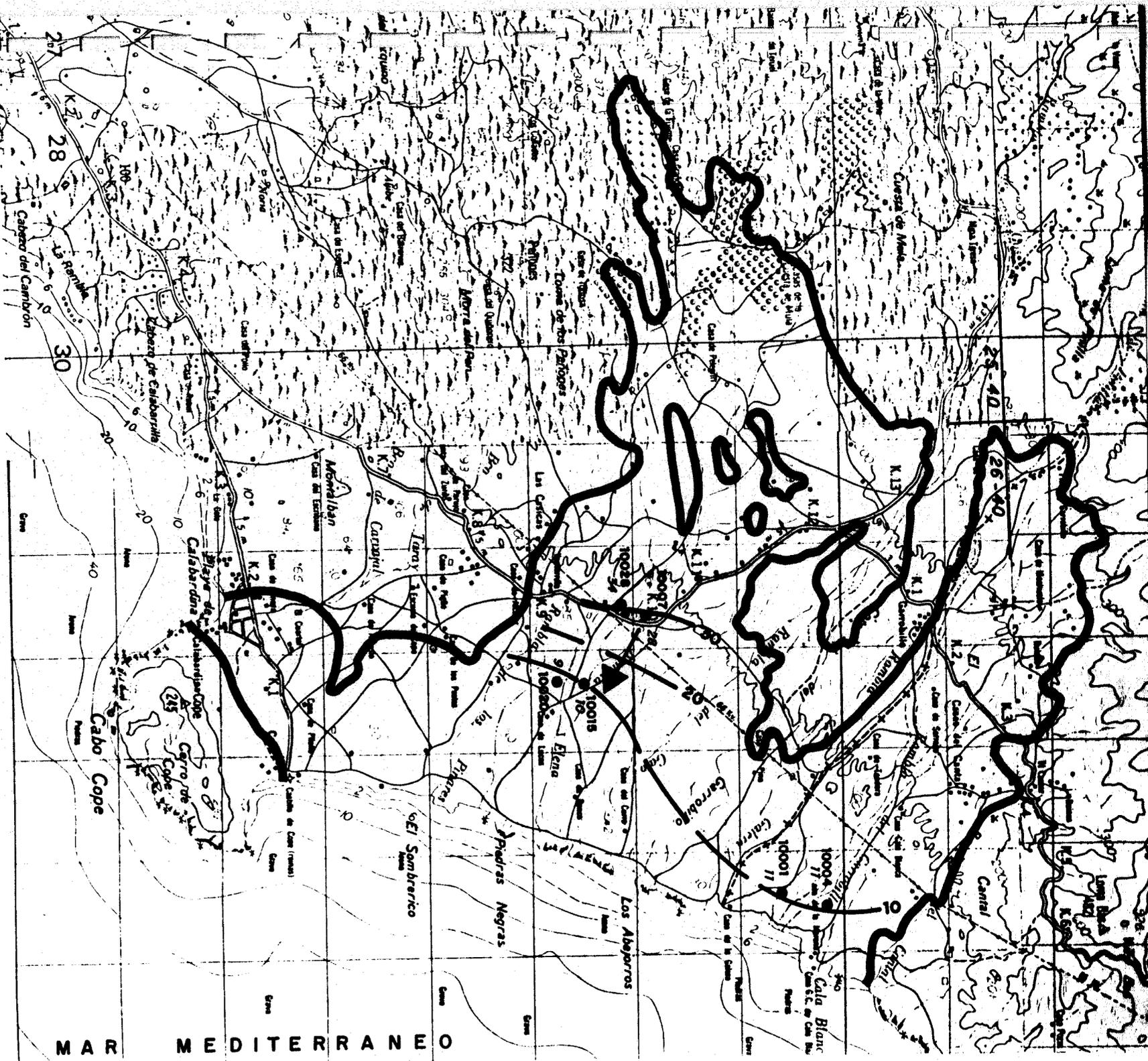
CLAVE DEL ACUIFERO:GE28

PERIODO DE CONTROL:27-02-89/15-09-89

N	IRH	PNP (m)	CNP (m)	FECHA	OBSERVACIONES
264010001		13.50	10.50	28/02/89	E
264010001		17.20	6.80	14/09/89	E
264010004		33.35	8.65	28/02/89	E
264010007		60.05	27.95	28/02/89	E
264010007		58.40	29.60	14/09/89	E
264010014		53.15	4.85	14/09/89	E
264010015		49.90	10.10	28/02/89	E
264010015		49.70	10.30	14/09/89	E
264010020		50.52	9.48	28/02/89	E
264010020		50.25	9.75	14/09/89	E
264010028		55.90	34.10	28/02/89	E
264010028		53.75	36.25	14/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 12
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)



MAR MEDITERRANEO

ACUIFERO COPE-CALA BLANCA

ISOPIEZAS

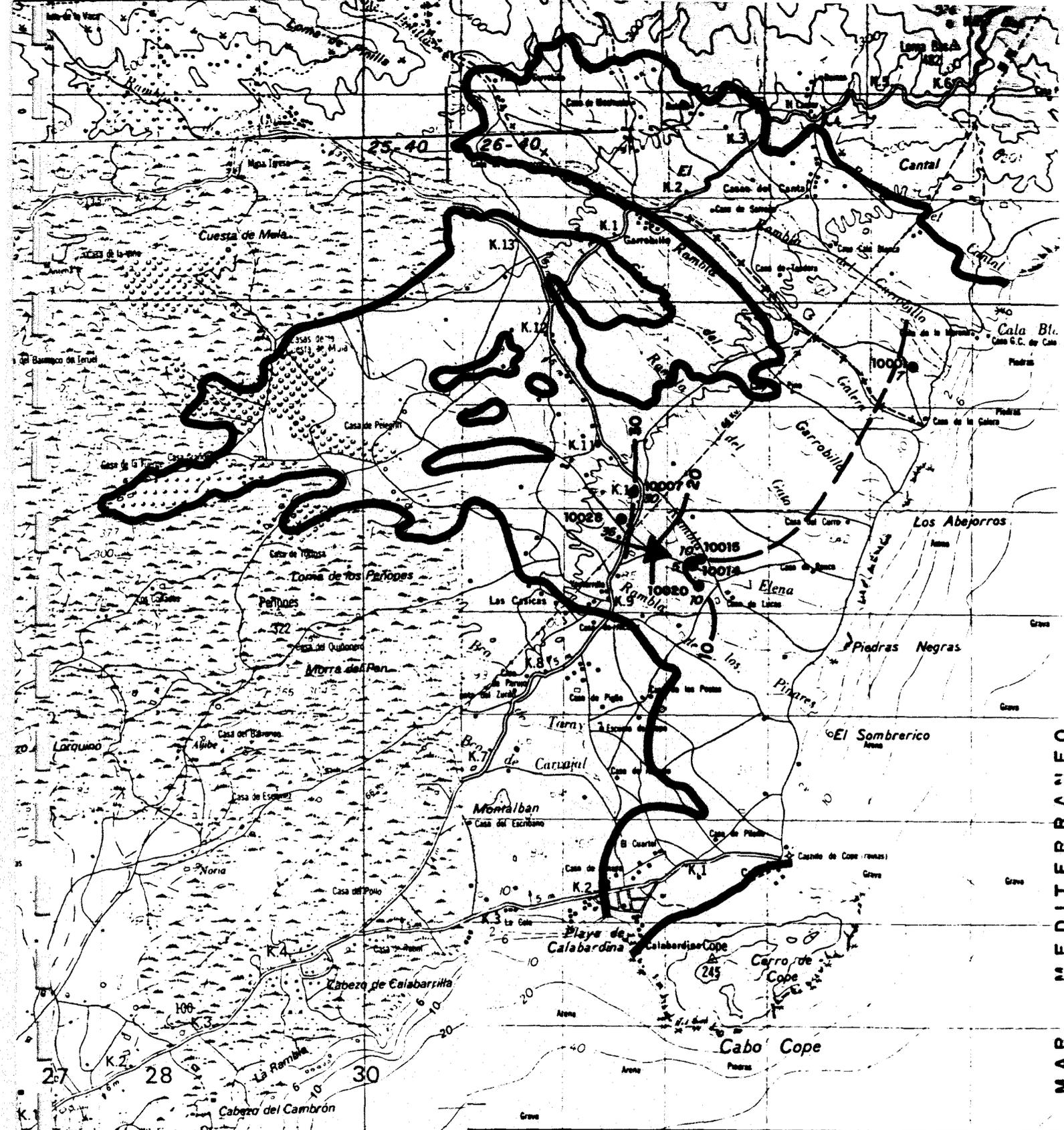
(Campaña Febrero-Marzo 1989)

22

- 20 — Curva isopieza
- Sentido del flujo
- Límite de Acuífero
- Punto acuífero — 10015 Núm. de I. R. N.
- 10 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)



Fig. 5.2



ACUIFERO COPE-CALA BLANCA

ISOPIEZAS

(Campaña Septiembre 1989)

- 20 ——— Curva Isopieza
- ➔ Sentido del flujo
- Límite de Acuífero

● Punto acuífero — 10015 Núm. de I.R.H.
 10 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)



Fig. 5.3

MAP MEDITERRANEO

Ventorrillo es el que presenta piezometrías más elevadas, con unas cotas que se aproximan a los 30 m.s.n.m. y los sondeos se encuentran a una distancia de 2,5 km de la costa; en esta zona el flujo es de dirección O-E con un gradiente del 20 por mil.

En el sector más septentrional, entre las Ramblas del Garrobillo y de la Galera, el nivel piezométrico se encuentra sobre los 10 m.s.n.m.

En Septiembre la situación es similar, con un descenso en el sector septentrional de casi 4 m y con ligeros ascensos de la superficie piezométrica en el sector meridional, que se sitúa entre 0.5 y 2 m. En este último sector, además se observa una pronunciada concavidad hacia el Sur en las isopiezas alrededor del punto 2640-10014, que es el que muestra la cota más baja, (5 m.s.n.m.); su distancia al mar es de 1,7 km. Esta inflexión de las líneas es motivada por la explotación de aguas subterráneas en el pozo indicado y en otros próximos.

Al igual que ocurre en el acuífero del Aguilas-Cala Reona se observa una progresiva elevación de la superficie piezométrica en los últimos tiempos, pues hay que tener en cuenta que en el año 1980 se situaba en cotas claramente negativas; desde ese año el nivel piezométrico ha ascendido alrededor de 30 m en el sector septentrional (de -22 m.r.m. (*) en el año 1980 a entre 7 y 10 m.s.n.m. en 1989, en el punto 2640-10001) y alrededor de 15 m en el sector meridional (de -4,5 m.r.m. en 1980 a 10,5 m.s.n.m. en 1989 en el punto 10015). La causa principal de esta continua elevación de la cota del nivel piezométrico es motivada por la disminución de la explotación durante esos años, al haber recibido caudales del exterior, pero también al incremento pluviométrico registrado.

(*) m.r.m. = metros respecto al mar.

5.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

En el acuífero Cope-Cala Blanca se han muestreado un total de 14 puntos sobre los que se han recogido 25 muestras correspondientes a las dos campañas de toma de las mismas, realizadas en los meses de Febrero-Marzo y Septiembre. Se dispone, asimismo, de dos muestreos realizados con hidrocaptor a distintas profundidades (uno en cada campaña) en el punto 2640-10012. Los resultados más destacables de los análisis se han reflejado en el cuadro nº 5.2.

Las aguas subterráneas muestran facies predominantemente cloruradas-sulfatadas sódico-cálcicas en invierno a sódico magnésicas en verano, con algunas excepciones que son cloruradas sódico-magnésicas en ambos períodos.

El anión dominante es el cloruro, con un 65% en meq/l del total de aniones, llegando en algún caso a superar el 80%; seguido del sulfato con un 25 a 30%. En cuanto a los cationes, predomina el sodio con un 60%, seguido del calcio o magnesio (según la época del año) con un 20%.

Comparando la campaña de Febrero-Marzo con la de Septiembre se observa, en general, un claro incremento en esta última del contenido en Mg^{++} a costa del Ca^{++} , que a su vez disminuye, así como una tendencia a aumentar el contenido en meq/l de cloruros y disminuir la de sulfatos y bicarbonatos. Esto es debido a que en el verano extraen más agua del acuífero Cope-Cala Blanca que es de facies clorurada-sulfatada e importan menos agua del Alto Guadalentín, de facies bicarbonatada.

En el acuífero pueden distinguirse claramente dos sectores de explotaciones, uno septentrional, entre las ramblas de la Galera y del Garrobillo y otro meridional, entre las ramblas de Elena y de los Pinares. A la hora de analizar los

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Cope-Cala Blanca

N ^o I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2640-10001	1-03-89	Reposo	72	-48	4423	2414	89,02	2,05	22,82	0,08	0,23
2640-10001	14-09-89	Hidorcaptor 5 m.	"	"	2959	1560	86,33	2,39	12,48	0,07	0,23
2640-10002	14-09-89	Bombea	61	4	1776	687	65	1,04	7,48	0,37	0,35
2640-10004	14-09-89	Bombea 6 horas	45	-3	2031	810	67,49	1,11	6,19	0,29	0,30
2640-10007	1-03-89	Bombea 3 horas	100	-12	5033	1700	59,33	0,66	10,52	0,56	-0,05
2640-10007	14-09-89	Bombea 2 horas	"	"	4155	1570	64,77	2,03	13,17	0,43	0,07
2640-10009	1-03-89	Bombea 5 min.	76	-14	5172	2165	70,31	1,49	14,66	0,35	0,18
2640-10012	6-03-89	Hidrocaptor 40 m.	<65	<-8	4436	1630	63,94	0,7	11,04	0,46	-0,03
2640-10012	6-03-89	" 47 m.	"	"	4538	1480	57,66	0,66	9,19	0,61	-0,14
2640-10012	6-03-89	" 54 m.	"	"	3949	1616	70,11	0,62	10,07	0,32	0,15
2640-10012	6-03-89	" 62 m.	"	"	4512	1605	62,14	0,62	10,04	0,5	0,03
2640-10012	23-09-89	" 40 m.	"	"	3691	1386	64,59	2,03	8,90	0,42	0,05
2640-10012	23-09-89	" 47 m.	"	"	3718	1390	64,15	2,05	9,02	0,43	0,05
2640-10012	23-09-89	" 54 m.	"	"	3686	1395	64,76	2,01	9,06	0,42	0,07
2640-10012	23-09-89	" 62 m.	"	"	3732	1384	64,37	2,00	8,79	0,42	0,01
2640-10015	28-02-89	Bombea 6 horas	130	-72	3436	1220	62,35	0,5	7,45	0,45	-0,03
2640-10015	14-09-89	Hicrocaptor 10 m.	"	"	3655	1450	67,5	1,93	13,71	0,4	0,09
2640-10019	1-03-89	Bombea 5 min.	132	-52	2652	806	55,34	0,66	5,59	0,62	0,11
2640-10020	14-09-89	Bombea 4 horas	--	--	3848	1550	68,1	1,84	14,03	0,39	0,17
2640-10028	1-03-89	Bombea 5 min.	85	5	3237	1165	62,87	2,33	6,61	0,42	0,01
2640-10028	14-09-89	Bombea 5 min.	"	"	2976	1165	67,71	2,33	13,92	0,38	0,04
2640-10031	1-03-89	Bombea 6 horas	81	-23	2192	714	58,23	0,67	3,89	0,45	0,00

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Cope-Cala Blanca

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2640-10032	28-02-89	Bombea 6 horas	97	-37	2442	707	52,24	0,62	4,54	0,67	-0,21
2640-10033	28-02-89	Bombea 5 horas	101	-21	2229	770	61,05	0,59	4,39	0,39	0,07
2640-10034	28-02-89	Bombea 6 horas	101	-21	1854	412	40,37	0,49	2,87	1,09	0,08

distintos parámetros hidroquímicos, es interesante hacerlo separadamente por sectores.

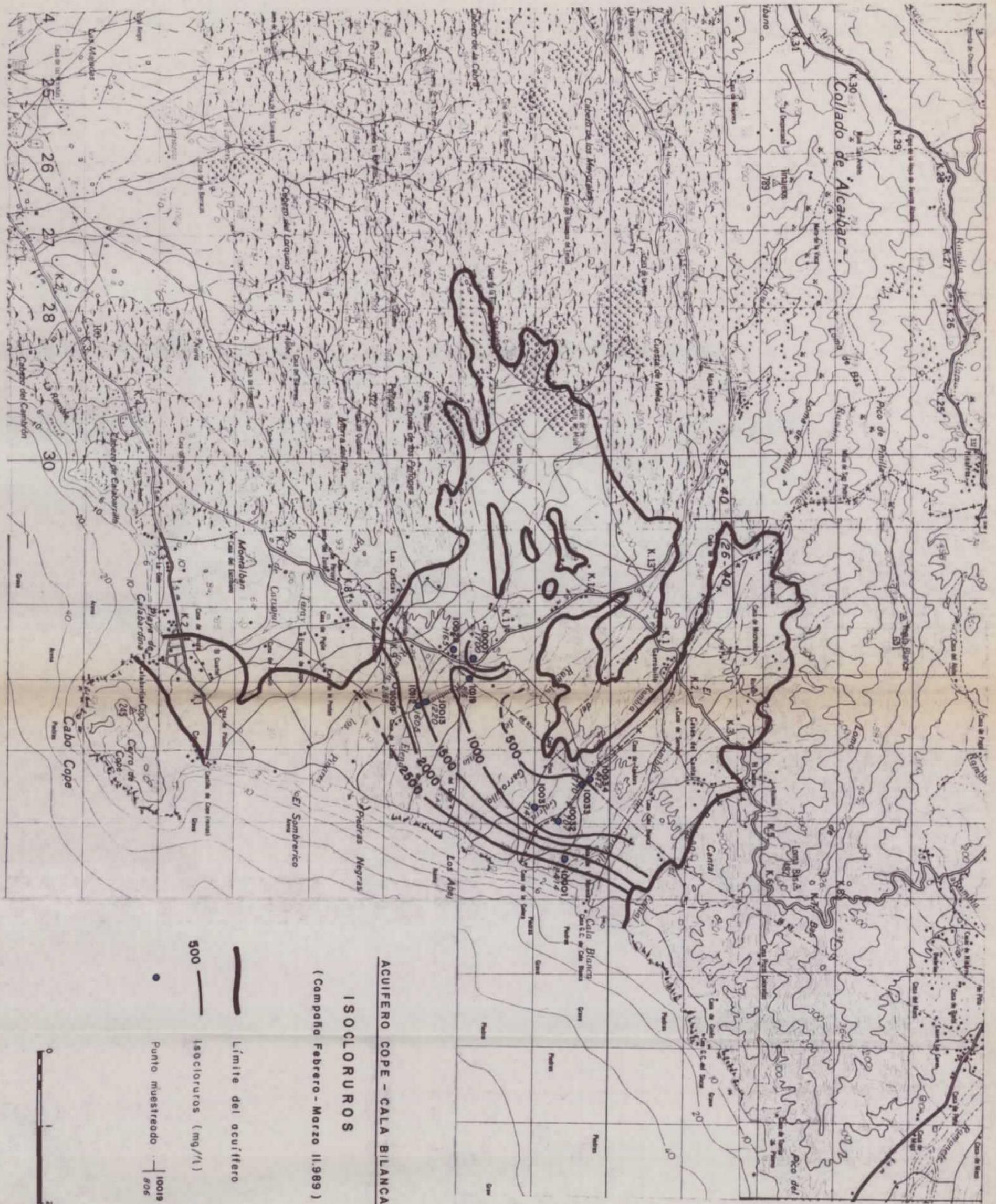
La salinidad oscila, en el sector septentrional, entre 1,8 y 4,4 gr/l en Febrero-Marzo y entre 1,7 y 2,9 gr/l en Septiembre. En el sector meridional se encuentran valores más elevados, entre 3,2 y 5,1 gr/l en Febrero-Marzo y entre 2,9 y 4,1 gr/l en Septiembre; en este sector, se riega más que en el septentrional y como consecuencia en Septiembre sube el nivel piezométrico y baja el contenido en sales.

La conductividad sigue una variación paralela, como es de esperar, al total de sales disueltas, con valores máximos de 7300 microsiemens/cm en Febrero-Marzo en el sector septentrional y 7600 microsiemens/cm en el meridional. En Septiembre estos valores bajan a 5000 y 6400 microsiemens/cm, respectivamente.

Se han confeccionado las figuras 5.4 y 5.5 donde se muestran las líneas de isocloruros (mg/l) correspondientes a ambas campañas de muestreo.

En Febrero-Marzo el contenido en cloruros oscila entre 412 y 2414 mg/l, en el sector meridional, y entre 806 y 2165, en el septentrional. En Septiembre estos valores se encuentran entre 687 y 1560 para el grupo de captaciones situadas más al Norte y entre 1165 y 1570 en las situadas al Sur. Exceptuando el punto 2640-10001 situado en el sector septentrional, a unos 350 m del mar que es el que mayor contenido en cloruros presenta, las aguas captadas en el sector meridional tienen un contenido más elevado de sales disueltas y de cloruros, presentando también los mayores valores de conductividad.

Hay que destacar cómo prácticamente en todas las captaciones se observa un descenso apreciable en el contenido de cloruros y en general en el de sales disueltas, en el periodo comprendido entre Febrero y Septiembre. Este hecho contrasta con



ACUIFERO COPE - CALA BILANCA
ISOCLORUROS
 (Campaña Febrero - Marzo 11.989)

-  Límite del acuífero
-  Isocloruros (mg/l)
-  Punto muestreado
-  10019 Núm. de I. M. H.
-  806 Constante en ion cloruro



Fig. 5.4



ACUIFERO COPE - CALA BLANCA

ISOCLORUROS
(Campaña Septiembre 1.989)

65

— Limite del acuífero

— Isocloruros (mg/l)

● Punto muestreado

10002 Núm. de I. R. H.
687 Contenido en ion cloruro



Fig. 5.5

la tendencia a incrementarse ligeramente el porcentaje de meq/l de cloruros y la relación rMg/rCa durante este mismo período. Es decir, el mayor contenido en sales observado en primavera no es solamente a costa del ión cloruro, sino también de los sulfatos y bicarbonatos. Por otro lado, la disminución de salinidad en verano estaría sustentada sobre todo por la bajada importante del resto de los aniones, pues el cloruro, aunque también lo hiciera, sería en menor proporción. En las muestras tomadas con hidrocaptor a profundidades crecientes en el punto 2640-10012 no se aprecia correlación alguna entre el contenido en ión cloruro y la profundidad de la muestra.

Respecto a las relaciones iónicas más interesantes para el estudio de la intrusión marina hay que decir lo siguiente:

La relación rMg/rCa , se sitúa por debajo del valor 1, en torno a 0,65, en los meses de Febrero y Marzo, excepto en los puntos 2640-10001 y 2640-10028 que supera el valor 2. Por el contrario, en Septiembre alcanza valores por encima de 1, en el sector septentrional del acuífero y superan el valor 2, en el meridional. Como término medio, esta relación aumenta en más de un punto desde la primavera hasta el final del verano.

Respecto al índice rCl/rCO_3H en Febrero, en el sector septentrional, oscila entre 2 y 4 (salvo en el punto 2640-10001 donde supera el valor 20), mientras que en el meridional varía entre 6 y 14, con valores mayores hacia la costa y hacia la zona de captaciones próximas al Ventorrillo, en el interior. En Septiembre, esta relación aumenta situándola entre 6 y 7, en el sector septentrional (excepto en el mencionado punto 2640-10001 que baja a 12) y en el sector meridional prácticamente se mantiene en los mismos valores que en Febrero, con incrementos en la zona de captaciones junto al Ventorrillo.

El índice de cambio de bases en general pasa de valores próximos a cero a aumentar de forma considerable en el sector

septentrional, durante el período analizado, presentando por el contrario muy escasas variaciones en la zona de captaciones, en el sector meridional.

La relación rsO_4/rCl disminuye su valor durante las dos campañas de muestreo realizadas, observándose una tendencia a decrecer con la proximidad del mar.

A la vista de estos resultados, pueden destacarse los siguientes hechos:

El sector meridional del acuífero presenta en general mayores valores en sales disueltas, cloruros y conductividad que el sector septentrional, donde únicamente el punto 2640-10001 alcanza valores alarmantes claramente influenciados por su proximidad al mar.

En el sector meridional, se observa un incremento generalizado hacia la costa de los parámetros indicativos de intrusión marina, especialmente del contenido en cloruros. Este mismo incremento se aprecia también hacia el interior, concretamente hacia el grueso de captaciones próximas al Ventorrillo; en esta zona el muro impermeable del acuífero se encuentra elevado por la acción de fracturas, de forma que el aumento de sales en general se debe, más que al proceso de intrusión salina, al efecto de la proximidad del sustrato impermeable y a la mayor capacidad de disolución del agua en contacto con estas fracturas, que posibilitan un mejor lavado de la roca y un aumento de la mineralización del agua.

Respecto al sector septentrional, hay que destacar una vez más el preocupante estado de salinización que presenta el punto 2640-10001, único de la zona que hasta el momento manifiesta una clara influencia marina.

Por último hay que indicar que, así como en el acuífero de Aguilas-Cala Reona se podrían correlacionar las temporadas de mayores extracciones del acuífero con las variaciones de ciertos parámetros hidroquímicos, en el acuífero de Cope-Cala Blanca eso no es posible, debido a la compleja situación que se da en la zona de Cope, respecto a la procedencia del agua utilizada para regadíos. Mientras que en la zona de Aguilas se extrae más agua del acuífero cuando los volúmenes procedentes del exterior no son suficientes para atender a las demandas, en Cope, los aportes de agua procedente de otras comarcas no siguen durante los últimos años, una distribución regular en el tiempo, pues reciben agua sólo cuando sobra en otros lugares. De esta forma no se puede deducir ni predecir cuando las extracciones del acuífero han sido o serán mayores.

5.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

Para comprender el estado actual de la intrusión marina en el acuífero de Cope-Cala Blanca es necesario contemplar la evolución de sus explotaciones, tanto en el sector septentrional como en el meridional, a lo largo del tiempo.

Las primeras captaciones del acuífero se ubicaron en el sector septentrional (junto a la Rambla Galera), pero rápidamente comenzaron a instalarse en el sector meridional (junto a Rambla Elena) en mayor número y explotando mayores caudales de agua del acuífero (la ubicación de las extracciones en estos dos lugares no es casual, sino que corresponde, por un lado, a zonas próximas a fracturas que han condicionado las mencionadas ramblas y en los que existe una mayor transmisividad, y por otro, a que se registran espesores de acuífero importantes retirados relativamente del mar). En el sector meridional continuaron proliferando las extracciones hasta el punto de provocar cotas de nivel piezométrico permanentemente negativas produciéndose un flujo de agua del mar hacia el interior, favorecido por una amplia superficie de contacto acuífero-mar en la vertical (en

este sector el muro impermeable del acuífero sitúa su cota de nivel cero a una distancia de 2.5 a 3 km de la costa, encontrándose por debajo de los -110 m.r.m. junto al litoral. El avance de la interfase en esta zona fue importante y pronto se salinizaron muchas captaciones, llegándose a abandonar una gran parte de ellas, al tiempo que comenzaban a instalarse algunas más en el sector septentrional.

A partir de este momento y al objeto de poder satisfacer una demanda cada vez mayor, comenzaron a llegar aguas de otras comarcas (principalmente del Guadalentín) que de forma más o menos irregular se han ido alternando con las extracciones del acuífero. Así, el ritmo de las extracciones disminuyó en este sector meridional, lo que desde el año 1984 ha producido un continuado ascenso de niveles, favorecido también por la pluviometría.

La situación actual es la siguiente: en el sector meridional, el avance de la interfase provocado por la intensa explotación en años anteriores aún perdura, a pesar de la menor explotación y de la elevación de la superficie piezométrica; no obstante, se ha observado recientemente una mejora de la calidad del agua en ciertos sectores, que ha permitido la reanudación de algunas explotaciones en 1988, abandonadas por exceso de salinidad cuatro años antes. Actualmente la situación permanece estabilizada principalmente gracias al aporte de un volumen de agua estimado entre 1,5 y 2 hm³/año, que desde hace casi dos años llega con mayor o menor regularidad desde el Valle del Guadalentín. A corto plazo, sin embargo, existe el riesgo de un avance de la interfase si las extracciones llegaran a reanudarse al ritmo de hace unos pocos años, ya que la intrusión producida se mantiene prácticamente en los mismos niveles.

En la figura 5.6 se ha representado un esquema de la posible situación de la interfase en este sector basándose en los mismos criterios que en la figura 4.6. Puede observarse que

existe una amplia zona de difusión, que llegaría a superar los 2 km tierra adentro, así como una interfase relativamente tendida.

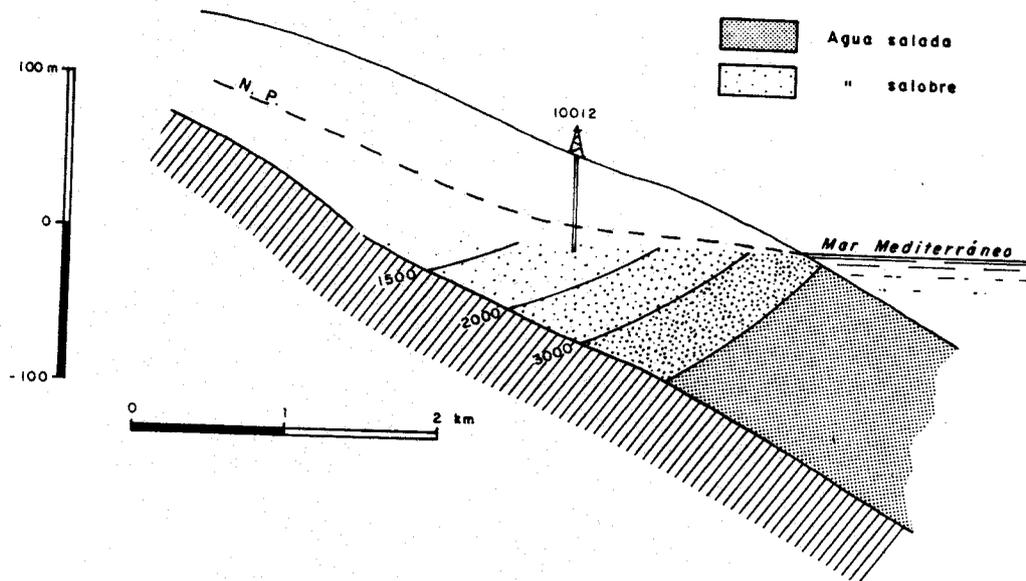


Fig. 5.6 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido de cloruros (en mg/l), en el acuífero Cope-Cala Blanca, sector meridional.

Respecto al sector septentrional, actualmente la situación no es tan grave, si bien en alguna captación muy próxima al mar hay un manifiesto fenómeno de intrusión marina desde hace varios años, que aún continua progresando. Sin embargo, las captaciones situadas a más de 500 m de la costa no muestran ni siquiera indicios de intrusión, presentando salinidades generalmente por debajo de 2 gr/l y valores en las relaciones iónicas consideradas todavía propios de aguas continentales. Esto en parte está favorecido por la mayor pendiente del muro impermeable del acuífero, que en este sector presenta una rápida elevación hacia el interior, situando su cota cero entre 1 y 2 km de distancia de la costa, y en parte por la existencia de cotas positivas de la superficie piezométrica.

La figura 5.7 muestra la situación en este sector septentrional, con una interfase más verticalizada que en el sector meridional, y en donde la influencia de la cuña salada alcanzaría 1 km desde la costa hacia el interior.

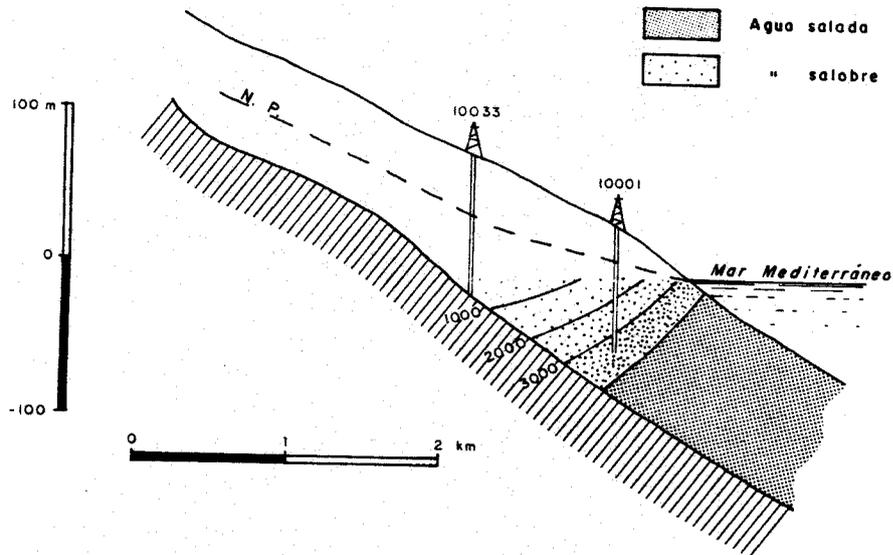


Fig. 5.7 Esquema interpretativo de los valores de la interfase, referidos al contenido en cloruros (en mg/l), en el acuífero Cope-Cala Blanca, sector septentrional.

A pesar de estas condiciones naturales que en cierta medida protegen de un rápido avance de la intrusión, en esta zona de captaciones del sector septentrional se están explotando actualmente los mayores volúmenes de agua del acuífero y es posible que de continuar así, a corto plazo comience a detectarse un mayor progreso de la interfase.

5.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

En el acuífero Cope-Cala Blanca la explotación ha experimentado un descenso en los últimos años, de forma similar a como ocurre en el acuífero de Aguilas-Cala Reona. Así, en 1980 fue de 1,3 hm³, descendiendo a 0,9 hm³ en 1986. Aunque no se disponen de datos precisos referentes a 1989, se sabe que la explotación del acuífero se sitúa próxima a 1 hm³. La práctica totalidad del agua se destina a regadío, existiendo un aporte de recursos procedentes del Valle del Guadalentín que se estiman entre 1,5 y 2 hm³/año.

La incidencia del fenómeno de la intrusión marina en los sectores agrícola y turístico es similar a la comentada para el acuífero de Aguilas-Cala Reona. Así, es exclusivamente el sector agrícola el afectado por el deterioro de la calidad provocado por la intrusión, lo que condujo en 1984 al abandono de algunas captaciones por exceso de salinidad. En la actualidad la mayor explotación se da en el sector septentrional, donde el agua aún siendo de mala calidad no alcanza los niveles que en las captaciones situadas en el sector meridional. Aún así existe un alto riesgo de salinización del suelo en las zonas donde se riega exclusivamente con las aguas subterráneas del acuífero.

En cuanto al sector turístico, existen ya muchas urbanizaciones próximas a la costa que actualmente se abastecen de la red municipal, por lo que el problema de intrusión les afecta en menor medida. Sin embargo en un futuro, y ante una eventual falta de recursos en la época estival, habría que saber que la utilización de agua del acuífero para abastecimiento plantearía problemas y desde luego no se presenta como la solución más idónea.

6. CAMPO DE CARTAGENA

6.1. GENERALIDADES

El Campo de Cartagena constituye una de las unidades hidrogeológicas más importantes de la provincia de Murcia; se extiende sobre casi 1400 km² entre la Sierra de Cartagena, al Sur, y la de Carrascoy-Cresta del Gallo, al Norte. Constituye una gran fosa tectónica rellena de materiales neógenos fundamentalmente asentada sobre rocas metamórficas cuarzo-esquistosas más antiguas (SOLIS, L. et al, 1988).

De los cinco acuíferos definidos en esta unidad (Triásico de los Victorias, Tortoniense, Andaluciense, Plioceno y Cuaternario), solamente los tres últimos presentan posibilidades de intrusión marina al corresponder su límite oriental con la línea de costa. Es sobre estos tres acuíferos, en sus sectores más próximos al litoral, sobre los que se ha centrado el presente estudio. También, y aunque queda fuera del Campo de Cartagena propiamente dicho, se han llevado a cabo dos muestreos hidroquímicos en la Sierra de Cartagena al objeto de poder detectar si existe un posible proceso de intrusión marina en esta zona de compleja hidrogeología.

El acuífero del Andaluciense está constituido por calcarenitas bioclásticas a cuyo techo existe un paquete de margas andalucenses que lo aíslan del acuífero Plioceno, compuesto por areniscas, el cual a su vez está desconectado del Cuaternario por una formación de margas blancas del Plioceno con intercalaciones de yesos. El acuífero cuaternario está formado por conglomerados, gravas, arenas y arcillas.

El principal problema surgido a la hora de abordar el presente trabajo, ha sido la circunstancia de que existen muchas captaciones que explotan más de un acuífero, por lo que resulta difícil asignar las muestras tomadas y niveles medidos a un acuífero en particular.

Para resolver este problema se han seguido los siguientes criterios:

- Si la muestra ha sido recogida en reposo, se asigna en principio al acuífero más superficial, aunque esto dependerá en cada caso de la profundidad a que se encuentre el nivel piezométrico.

- Si el sondeo se encuentra bombeando, la muestra se hace corresponder al acuífero con mayor caudal específico, que en principio coincide con el más inferior.

Además, y al objeto de resolver aquellos casos en que, por corresponder a una mezcla de agua de los acuíferos captados, pudiera existir dudas sobre a qué acuífero se asigna, se ha realizado un Análisis Discriminante con aquellas muestras sobre las que no existe incertidumbre sobre el acuífero al que corresponden, en base al conocimiento que se tiene de cada captación.

Como se sabe, el Análisis Discriminante es una técnica del Análisis Multivariante que tiene por finalidad delimitar la composición de varios grupos de individuos (muestras recogidas en sondeos en este caso) que hayan sido definidos con anterioridad. Para conseguirlo se deben seleccionar un conjunto de variables (denominadas discriminantes) que se prevean de interés y que sean capaces de medir características en las que los grupos de individuos pueden diferir lo más posible entre sí.

El objetivo matemático del Análisis Discriminante es la formación de funciones discriminantes a partir de las variables seleccionadas (U.C.M., 1981). El valor adoptado por estas funciones para cada individuo es el criterio que decide si éste individuo debe permanecer en el grupo inicial en el que ha sido clasificado o, por el contrario, debe transferirse a otro grupo distinto. Al final del análisis cada individuo queda clasificado dentro del grupo al que pertenece con mayor probabilidad a posteriori, según el criterio de Bayes.

En el caso que se analiza se han formado tres grupos de muestras (que corresponden a los acuíferos Cuaternario, Plioceno y Andaluciense) en base a los sondeos que, por tener aislados los acuíferos superiores, se puede asegurar que explotan un único acuífero. Una vez aplicado el Análisis Discriminante sobre estos tres grupos, se ha encontrado que de 58 muestras únicamente 6 han sido desclasificadas (el 10,34% del total), lo que puede ser considerado como un excelente resultado.

Este 10% de muestras mal clasificadas puede explicarse teniendo en cuenta que las variables discriminantes escogidas (contenidos de los iones mayoritarios en meq/l de los análisis de las muestras), poseen por naturaleza una variabilidad espacial dentro de cada acuífero, que no se tiene en cuenta en la aplicación de este método de análisis multivariante, y que puede ser la causante del rechazo de esas 6 muestras. No obstante el resultado puede considerarse muy bueno y viene a demostrar que el conocimiento que se tiene de estas captaciones se ajusta más que aceptablemente a la realidad.

Respecto a las variables discriminantes hay que destacar que la variable que ha mostrado mayor fuerza discriminadora entre grupos ha sido el contenido en nitratos de las muestras (mayor en las del acuífero Cuaternario, menor en las del Plioceno y prácticamente nulo en las del Andaluciense).

La última fase del Análisis Discriminante ha sido la aplicación de las funciones discriminantes, calculadas en la fase anterior, a las muestras que, por corresponder a una mezcla de agua, existía duda sobre el acuífero al que podían asignarse. Los resultados se comentan en los apartados siguientes al hacer referencia a cada caso concreto.

Por último, señalar que en el Campo de Cartagena se han tomado un total de 139 medidas de nivel piezométrico, 81 de ellas en los meses de Abril y Mayo y 58 en el mes de Septiembre (cuadros nº 6.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.6, 6.9 y 6.12). Asimismo se han recogido 150 muestras de agua, 79 en la campaña de Primavera y 71 en la de Septiembre (cuadros nº 6.4, 6.7, 6.8, 6.10 y 6.13), si bien en la fecha de realizar el presente informe aún faltaban por recibir 35 análisis correspondientes a la última campaña, por lo que el estudio comparativo entre ambos períodos de muestreo está muy restringido y en muchos casos no se ha podido realizar.

6.2. CUATERNARIO DEL CAMPO DE CARTAGENA

6.2.1. Marco hidrogeológico

Este acuífero, que está representado en la práctica totalidad de la superficie de la Unidad Hidrogeológica del Campo de Cartagena, se asienta en terrenos aluviales y eluviales, así como en formaciones de pie de monte. Está constituido fundamentalmente por conglomerados, arenas y arcillas rojas limosas y éstas últimas se encuentran coronadas, en grandes extensiones, por una costra calcárea (caliche). El espesor de estos materiales es muy variable aunque siempre se mantiene inferior a los 50 m. El muro impermeable está constituido principalmente por las margas del Plioceno superior, que en las proximidades de la costa alternan con niveles de yesos.

Con pobres características hidráulicas, presenta además una baja calidad en sus agua, influenciada por la escasa

profundidad del nivel piezométrico, donde además se desarrolla una intensa actividad agrícola.

6.2.2. Piezometría

En el sector del acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena, correspondiente a la zona costera, se han realizado dos campañas piezométricas, una en los meses de primavera (Abril-Mayo) y otra al final de verano, (Septiembre). En el cuadro nº 6.1 se han reflejado estas medidas y se han confeccionado los mapas de isopiezas correspondientes a ambas campañas (planos nº 1 y 2).

En los meses de primavera se han efectuado 34 medidas sobre un total de 30 puntos, en sondeos que sólo captan el acuífero Cuaternario. Con estas medidas y con las que captan además el acuífero Plioceno y Andaluciense (cuadros nº 6.2 y 6.3) se ha construido el mapa de isopiezas correspondiente a este periodo (plano nº 1). El nivel piezométrico oscila entre 33 m.s.n.m. del punto 2837-50020, situado a 3 km al Oeste de San Pedro del Pinatar en la zona Norte, y -2 m.r.m. en el punto 2838-50003, en la zona Sur.

En el plano nº 1 pueden distinguirse tres zonas:

-La zona septentrional, entre San Pedro del Pinatar y El Pilar de la Horadada, donde el flujo se dirige hacia el mar con un gradiente medio de 6 por mil. En las captaciones más próximas a la costa, el nivel piezométrico se encuentra entre 5 y 10 m.s.n.m.

- La zona central, donde el gradiente es mínimo, en torno al 1 por mil, siendo inferior entre Torre Pacheco y Los Alcázares. La cota piezométrica se sitúa en torno a los 7 m.s.n.m.

ACUIFERO CUATERNARIO (CAMPO DE CARTAGENA)
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4801

PERIODO DE CONTROL:13-04-89/22-09-89

N	IRH	PNP (m)	CNP (m)	FECHA	OBSERVACIONES
273840038	9.40	21.60	19/04/89	E	
273840038	9.32	21.68	04/09/89	E	
273840080	49.53	21.47	20/04/89	E	
273840080	49.00	22.00	01/09/89	E	
273840094	3.95	15.60	02/05/89	E	
273840094	4.10	15.45	08/09/89	E	
273840104	2.55	16.45	19/04/89	E	
273880013	15.62	8.38	20/04/89	E	
273880013	14.20	9.80	04/09/89	E	
273880033	5.20	6.80	20/04/89	E	
273880033	3.85	8.15	04/09/89	E	
273880036	12.00	0.50	04/09/89	E	
273880055	9.20	5.80	20/04/89	E	
273880055	9.00	6.00	04/09/89	E	
283750001	2.50	9.50	19/04/89	E	
283750001	3.01	8.99	19/04/89	D	
283750001	3.13	8.87	21/09/89	E	
283750013	10.60	19.40	18/04/89	D	
283750013	15.51	14.49	19/09/89	A	
283750017	9.20	13.30	18/04/89	E	
283750017	9.30	13.20	18/04/89	D	
283750017	13.02	9.48	19/09/89	E	
283750041	7.98	5.02	19/04/89	E	
283750048	8.70	9.30	18/04/89	E	
283750048	5.20	12.80	21/09/89	E	
283750054	5.61	10.39	19/04/89	E	
283750058	7.33	16.67	19/04/89	E	
283750058	7.55	16.45	19/04/89	D	
283750058	6.49	17.51	21/09/89	A	
283750214	15.00	3.00	19/04/89	D	
283750216	7.50	12.50	19/04/89	E	
283750216	6.01	13.99	21/09/89	A	
283750220	15.50	32.50	19/04/89	E	
283750220	16.50	31.50	19/04/89	D	
283760019	3.20	7.80	19/04/89	E	

Cuadro 6.1 (Cont.)

283810010	9.45	16.25	14/04/89	E
283810010	8.90	16.10	08/09/89	E
283810013	6.94	17.56	06/09/89	E
283810017	20.40	26.60	14/04/89	E
283810018	8.07	22.93	14/04/89	E
283810018	7.21	23.79	06/09/89	E
283810023	5.00	15.00	14/04/89	E
283810061	4.85	7.15	08/09/89	E
283850001	5.45	0.55	08/09/89	E
283850003	9.65	-1.65	14/04/89	E
283850003	9.13	-1.13	08/09/89	E
283910018	15.33	4.67	03/05/89	E
283910018	0.01	0.01	11/09/89	
283910019	16.67	2.33	11/09/89	E
283910021	9.30	8.70	03/05/89	E
283910021	13.18	4.82	11/09/89	E
283910033	17.41	2.59	03/05/89	E
283910033	18.90	1.10	11/09/89	E
283910038	9.34	15.66	03/05/89	E
283910038	23.07	1.93	06/09/89	E
283910039	22.13	-10.13	02/05/89	D
283910039	9.55	2.45	11/09/89	E
283910040	12.87	12.13	03/05/89	E
283910040	13.49	11.51	06/09/89	E
283910040	12.87	12.13	03/05/89	E
283910040	13.49	11.51	06/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 60
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 1

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)

Cuadro 6.2

PLIOCENO+CUATERNARIO (CAMPO DE CARTAGENA)
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4807

PERIODO DE CONTROL:16-04-89/23-09-89

N IRH	PNP (m)	CNP (m)	FECHA	OBSERVACIONES
273840063	30.35	-12.35	17/04/89	E
273840063	29.55	-11.55	04/09/89	E
273880038	19.02	-1.02	20/04/89	E
273880045	21.70	-2.70	17/04/89	E
273880046	6.43	11.37	02/05/89	E
273880046	6.54	11.26	04/09/89	E
273880046	6.45	11.35	08/09/89	E
273880050	20.73	-0.73	19/04/89	E
273880050	22.35	-2.35	04/09/89	E
273880050	40.91	-20.91	04/09/89	D
283750020	9.78	32.72	19/04/89	E
283750020	9.99	32.51	19/04/89	D
283750055	0.01	0.01	19/04/89	D
283750055	8.45	13.55	20/09/89	E
283750154	0.01	0.01	19/04/89	D
283750154	3.57	27.43	21/09/89	A
283750211	13.01	11.19	22/09/89	E
283750212	58.61	-41.11	19/04/89	E
283810049	20.40	-8.90	08/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 17
NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 2

(A=Afectado ; D=Dinamico)
(E=Estatico;R=Recuperando)
(S=Surgente)
(0.01=Punto visitado sin medida)

Cuadro 6.3

AND+PLIOCENO+CUATERNARIO (CAMPO DE CARTAGENA)
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4809
PERIODO DE CONTROL:03-09-89/05-09-89

N	IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
273840031		15.50	14.50	04/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 1
NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
(E=Estatico;R=Recuperando)
(S=Surgente)
(0.01=Punto visitado sin medida)

- La zona meridional, al Norte y Noroeste de El Algar, donde el gradiente vuelve a ser mayor, en torno al 8 por mil, variando las cotas piezométricas entre 14 m.s.n.m. en el punto 2739-40035 y los -2 m.r.m. del punto 2838-50003, más próximo a la costa.

En el mes de Septiembre se han efectuado un total de 27 medidas correspondientes a 27 puntos de agua. Al igual que en la campaña anterior, además se han tenido en cuenta aquellos sondeos que captando también el acuífero Plioceno y Andaluciense, su nivel piezométrico pudiera corresponder al del Cuaternario. Con todas ellas se ha confeccionado el plano nº 2. En esta campaña los niveles oscilan entre un máximo de 27 m.s.n.m., en el punto 2837-50054 situado en el extremo septentrional y -1 m.r.m., en el punto 2838-50003 en la zona del El Algar, en el Sur.

La superficie piezométrica presenta características muy similares a la campaña de Abril-Mayo en las tres zonas anteriormente mencionadas; únicamente se observan pequeños aumentos o descensos del nivel piezométrico de 1 a 3 m.

En líneas generales hay que destacar dos circunstancias que pueden tener una repercusión directa con el proceso de intrusión marina. En primer lugar, el hecho de que en la zona situada al Noreste de El Algar, próxima a la costa, el nivel piezométrico estático permanece a cotas negativas durante el período de Abril a Septiembre, alcanzando -10 m.r.m. cuando el nivel es dinámico (en captaciones que explotan además el acuífero Plioceno). En segundo lugar, destacar el escaso flujo existente en la zona de Torre Pacheco-Los Alcázares, donde la descarga del acuífero al mar sería prácticamente inexistente.

En cuanto a las evoluciones del nivel piezométrico en los puntos que forman parte de la red de control piezométrico, se observa un progresivo aumento de niveles desde el año 1985, cifrado entre 2 y 8 m según las zonas, a causa de la recarga

producida por los excedentes de regadío, al aumentar las áreas de cultivos con la llegada de aguas del Trasvase Tajo-Segura y por la consiguiente reducción de las explotaciones de aguas subterráneas en las zonas de influencia del Trasvase.

6.2.3. Estudio hidroquímico

En el acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena se han recogido un total de 42 muestras en dos campañas, 29 de las cuales corresponden a Abril-Mayo y 13 a Septiembre. Además se ha realizado un muestreo con hidrocaptor a distintas profundidades en el punto 2837-50058 (ver cuadro nº 6.4).

Las aguas presentan facies cloruradas-sulfatadas a cloruradas en cuanto a los aniones se refiere, con predominio del ión cloruro (porcentajes en meq/l del total de aniones generalmente entre 50 y 65%) sobre el sulfato (que a su vez presenta alrededor del 30% del meq/l de los aniones). En cuanto a los cationes, las facies encontradas son sódico-magnésicas a mixtas, con el sodio como catión dominante, seguido generalmente del magnesio.

En los meses de Abril y Mayo las salinidades encontradas oscilan entre 2 y 9 gr/l, apreciándose un incremento en el total de sales disueltas en las captaciones más próximas a la costa. Por sectores, la salinidad va de 2 a 6 gr/l en la zona septentrional, entre El Pilar de la Horadada y San Javier, de 4,2 a 8,9 gr/l, en la zona de Los Alcázares y entre 2.2 y 4.2 gr/l, en la zona más meridional próxima al mar Menor. La conductividad por su parte es de 3600 a 8200 microsiemens/cm, excepto en la zona central donde se superan los 11000 microsiemens/cm entre Los Alcázares y la playa de Los Urrutias, que es con mucho la zona más salinizada. En la campaña de Septiembre, con menos puntos muestreados, estos valores de la salinidad y conductividad descienden ligeramente salvo excepciones puntuales, manteniéndose los máximos y mínimos en las mismas zonas.

Cuadro 6.4

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOSUnidad Campo de CartagenaAcuífero Cuaternario 4801

N ^o I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2738-40038	17-04-89	Bombea 5 min.	349	-318	4225	1494	61,94	1,38	14,52	0,52	-0,04
2738-40094	3-05-89	Reposo	20	-1	6857	2678	66,75	1,5	20,03	0,41	0,19
2738-40104	19-04-89	Bombea 5 min.	28	-9	6629	2930	72,65	1,61	25,85	0,31	0,3
2738-40104	4-08-89	Bombea	"	"	6507	2684	68,21	1,47	27,48	0,4	0,29
2738-80033	20-04-89	" 5 min.	60	-48	8961	3100	59,47	1,36	22,04	0,6	0,17
2738-80033	4-09-89	" 5 "	"	"	7657	2665	59,62	1,16	17,63	0,58	0,22
2738-80036	18-04-89	" 5 min.	90	-78	4933	1459	52,31	1,18	9,84	0,8	-0,05
2738-80036	4-09-89	" 5 min.	"	"	5843	2015	58,45	1,17	15,07	0,63	0,2
2738-80055	20-04-89	" 15 min.	20	-5	7170	2983	70,93	1,63	22,02	0,34	0,18
2738-80055	4-09-89	Reposo	"	"	7249	3150	72,25	1,33	19,15	0,31	0,28
2837-50001	19-04-89	Bombea	6,95	5	5125	2157	72,61	1,07	27,69	0,3	0,12
2837-50001	21-09-89	"	"	"	5122	1905	64,96	0,93	11,79	0,4	0,09
2837-50013	18-04-89	"	29	1	3448	1424	71,07	1,46	7,08	0,21	0,13
2837-50013	19-09-89	"	"	"	3337	1500	76,36	1,62	10,32	0,16	0,2
2837-50017	19-04-89	Reposo	27,05	-5	4306	1344	55,7	1,62	8,82	0,58	-0,21
2837-50048	17-04-89	"	28	-11	3427	976	50,43	1,51	8,65	0,7	-0,19
2837-50048	20-09-89	Hidrocaptor 10 m	"	"	3050	806	47,96	1,61	4,55	0,7	-0,32
2837-50048	20-09-89	" 17 m	"	"	3148	838	48,11	1,45	4,3	0,72	-0,3
2837-50048	20-09-89	" 24 m	"	"	3422	1035	53,74	1,53	6,08	0,58	-0,12
2837-50054	18-04-89	Reposo	16	0	5172	1391	47,54	1,76	8,22	0,74	-0,12
2837-50054	21-09-89	"	"	"	4519	1520	59,27	1,27	11,13	0,5	-0,03
2837-50058	17-04-89	Bombea	28	-4	2792	858	54,29	1,86	6,33	0,48	0,0

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOSUnidad Campo de CartagenaAcuífero Cuaternario 4801

N ^o I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2837-50058	21-09-89	Bombea	28	-4	1366	392	52,22	1,36	4,56	0,51	-0,03
2837-50058	22-09-89	"	"	"	2352	593	45,22	1,53	4,44	0,81	-0,11
2837-50214	19-04-89	"	160	-142	2066	630	54,84	1,51	6,73	0,4	0,15
2837-50216	18-04-89	Reposo	28,5	-8,5	3047	1020	58,32	2,11	8,52	0,43	0,01
2837-50216	21-09-89	Bombea	"	"	2708	810	53,94	1,85	6,54	0,49	-0,06
2837-50220	17-04-89	"	20	28	2731	720	45,62	0,98	6,36	0,82	0,13
2837-60019	18-04-89	Reposo	9,25	2	3741	899	42,73	1,25	9,1	1,01	-0,14
2838-10010	14-04-89	Bombea 5 min.	30	-5	3520	1240	61,95	1,31	7,13	0,43	0,02
2838-10013	17-04-89	Bombeando días	50	-26	3503	1360	68,18	1,03	9,51	0,33	0,05
2838-10017	17-04-89	Bombea 5 min.	62	-15	2892	1170	70,55	1,17	6,96	0,22	0,04
2838-10018	17-04-89	" 5 min.	75	-44	3421	1214	63,85	0,87	7,54	0,41	-0,05
2838-10023	14-04-89	" 5 min.	430	-410	5729	1980	60,59	1,55	13,62	0,52	0,01
2838-50001	18-04-89	" 3 horas	14	-8	4558	1466	58,09	1,4	6,97	0,53	-0,23
2838-50003	20-04-89	" 10 min.	30	-22	4654	1523	57,64	1,36	6,95	0,53	-0,05
2839-10018	3-05-89	Reposo	22	-2	2265	955	73,27	7,44	7,3	0,18	-0,04
2839-10021	3-05-89	"	17	1	4228	1885	74,48	1,19	14,94	0,26	0,29
2839-10033	3-05-89	"	28	-8	2891	1127	67,03	2,13	15,27	0,38	0,02
2839-10038	3-05-89	"	30	-5	2790	663	44,51	1,84	2,3	0,53	-0,51
2839-10039	2-05-89	"	25	-13	3688	1028	49,45	0,94	6,65	0,7	0,02
2839-10040	3-05-89	"	60	-35	2833	755	48,86	1,36	6,46	0,57	-0,04

Es de destacar el contenido elevado en nitratos encontrado en algunas muestras, especialmente en el sector septentrional alrededor de San Pedro del Pinatar, donde se alcanzan los 580 mg/l, oscilando normalmente entre 30 y 300 mg/l.

En cuanto al contenido en ión cloruro, se han confeccionado los mapas de isocloruros correspondientes a ambas campañas (planos nº 3 y 4). Como puede observarse, existe un incremento generalizado en el contenido de este ión en las captaciones más próximas a la costa. Por zonas, en los meses de Abril-Mayo, las concentraciones encontradas varían en la zona septentrional entre 630 y 2157 mg/l; en la zona de Los Alcázares el contenido en cloruros varía entre los 1454 mg/l del punto 2738-80036 y 3100 mg/l del punto 2738-80033; por último en la zona más meridional, próxima al Llano del Beal, las concentraciones oscilan entre 663 y 1883 mg/l. En el mes de Septiembre el contenido en cloruros experimenta un descenso en la zona septentrional, variando entre 590 y 1900 mg/l; en la zona central, aunque desciende en algunas captaciones hasta 500 mg/l, se observan incrementos del mismo orden que en las otras, oscilando entre 2015 mg/l del punto 2738-80036 y 3150 mg/l del 2738-80055. En esta última campaña se han recogido muestras con hidrocaptor a distintas profundidades en el punto 2837-50058 situado junto al Pilar de la Horadada a 2,5 km del mar, apreciándose un incremento en la concentración de cloruros de casi 200 mg/l a lo largo de 14 m (desde la cota +7 m.r.m. a la cota -7 m.r.m.).

Del estudio de los índices hidroquímicos pueden destacarse los siguientes hechos:

La relación rMg/rCa se encuentra generalmente por encima del valor 1 en todos los sectores, con un pequeño incremento en las captaciones más próximas al mar, observándose en los puntos en que se han tomado muestras en las dos campañas, un ligero descenso en el período comprendido entre Abril y

Septiembre. Es de destacar el elevado valor que presenta esta relación en el punto 2839-10018, que alcanzó en Mayo la cifra de 7,44. Este hecho no se debe a una alta concentración en magnesio sino a un anómalo bajo contenido en calcio, lo que no tiene relación directa con un avanzado proceso de intrusión ya que además no va acompañado de un elevado contenido en cloruros ni tampoco las demás relaciones iónicas muestran indicios tan claros. Este fenómeno viene explicado por la mayor aportación de aguas del Trasvase (que es de facies bicarbonatada cálcica) en el verano y menor en primavera, a las zonas regables.

Por su parte la relación rCl/rCO_3H , en la zona septentrional, toma valores entre poco más de 6 en los puntos más alejados de la costa y 27,69 en el punto 2837-50001 en Abril, próximo al mar, oscilando normalmente entre 6, y 9. En Septiembre, se aprecia una ligera disminución de su valor que varía entre 4 y 11 en los puntos más próximos al mar (debido a los aportes de agua del Trasvase). En la zona central, al Oeste y Sur de Los Alcázeres, este índice alcanza los valores más elevados, oscilando entre 6 y 25 en Abril y entre 15 y 27 en Septiembre. En la zona más al Sur, proxima al Llano del Beal, esta relación oscila entre 2,3 y 15,27.

La relación rsO_4/rCl , prácticamente en todos los casos se mantiene por debajo del valor 1, variando generalmente entre 0,3 y 0,8. No se aprecia una clara relación entre la distancia al mar y el valor de este índice, excepto quizá en la zona central, donde disminuye con la proximidad a la costa y tiende también a decrecer su valor en el período comprendido entre Abril y Septiembre.

El índice de cambio de bases sí sigue una estrecha relación con la distancia al mar, aumentando sobre todo en las zonas central y meridional en las captaciones más próximas a la costa. En la zona central pasa de valores negativos a valer 0,60, sobre una distancia de 1,2 km en dirección hacia el mar Menor.

A la vista de estos resultados, los índices que mejor pueden definir el estado del acuífero respecto del proceso de la intrusión marina son el índice de cambio de bases y, desde luego, el contenido en cloruros.

6.2.4. Situación de la intrusión marina

Debido a su amplia relación con el mar a lo largo de más de 35 km de costa, el acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena presenta claros indicios de salinización por intrusión marina. Aunque se trata de unas aguas de baja calidad por corresponder a un acuífero superficial (el nivel piezométrico se encuentra a profundidades entre 4 y 25 m), con salinidades entre 2 y 4 gr/l y facies que pueden llegar a ser claramente cloruradas sódicas en zonas alejadas más de 10 km de la costa, existen varios argumentos que apoyan la idea de una intrusión, que se irán analizando.

Relacionando los índices más fiables, para caracterizar la intrusión marina, (contenido en cloruros, relación rCl/rCO_3H e i.c.b.) con las cotas de fondo de las captaciones se observa un neto incremento de estos parámetros a medida que es menor la cota del fondo de la obra, con la excepción de algunas captaciones que con cotas de fondo de pozo ligeramente positivas presentan valores en estos parámetros propios de intrusión marina. Al tratarse de puntos sin nivelar, es muy posible que las cotas de referencia asignadas a las profundidades de las obras no se correspondan exactamente con las reales, con lo cual el fondo de algunas captaciones se sitúe por debajo del nivel del mar; tal puede ser el caso de los puntos 2839-10021 y 2837-50001.

Por otro lado, también existe una correlación entre la distancia al mar de las captaciones, su contenido en cloruros y valores de la relación rCl/rCO_3H e i.c.b.

El contenido en cloruros sigue también cierta relación con la piezometría del acuífero, como se verá a continuación:

La zona situada al Oeste y Sur de Los Alcázares sería en principio la más afectada. Aquí se dan los contenidos en cloruros mayores (superiores a 3000 mg/l a una distancia entre 2 y 4 km de la costa) y mayores también en las relaciones iónicas indicativas de intrusión marina. Como ya se ha comentado, se trata de una zona donde la descarga del acuífero al mar es muy pequeña o prácticamente nula, por lo que este hecho favorecería la aparición de una extensa zona de difusión, que podría alcanzar 4 ó 5 km hacia el interior, y con una interfase que en estas condiciones tiende a ser horizontal; en esta zona fueron abandonadas algunas captaciones por exceso de salinidad.

Algo similar ocurre en la zona que se encuentra próximo a la playa de Los Urrutias, donde el nivel piezométrico estático se mantiene a cotas negativas (entre -1 y -2 m.r.m.) y aunque se trata de puntos sin nivelar las piezometrías dinámicas se sitúan netamente por debajo del nivel del mar, provocando una afluencia de agua salada hacia las captaciones. Sin embargo hasta el momento la situación no parece tan grave como en la zona de Los Alcázares.

En la zona septentrional, entre San Javier y El Pilar de la Horadada, la situación es parecida a la descrita para la zona central, si bien en los puntos muestreados no se han detectado concentraciones tan elevadas en cloruros, ni valores tan altos en los índices indicativos de intrusión marina. Esto en parte puede deberse a una descarga al mar algo mayor en esta zona, particularmente en el extremo Noreste, así como a una menor penetración de los pozos en el acuífero. En todo caso, es evidente la existencia de una zona de mezcla que podría adentrarse en el continente más de 3 km en la zona situada entre Santiago de La Ribera y San Javier, y alrededor de 2 km en el sector más al Noreste. En esta zona, las muestras tomadas con

hidrocaptor a distintas profundidades en el punto 2837-50048 presentan un aumento de más de 200 mg/l de cloruros en tan solo 12 m.

En el extremo Sur del acuífero, próximo al Llano del Beal, también puede afirmarse la existencia de una zona de mezcla que podría ejercer su influencia en captaciones situadas a 2 km de distancia de la costa.

Las variaciones estacionales no pueden establecerse con claridad debido, por un lado a la escasez de datos en la campaña de Septiembre y por otro a la dificultad que supone saber con exactitud cuanta agua se utiliza del acuífero y cuanta del Traslase Tajo-Segura.

En cuanto a la evolución de los parámetros hidroquímicos, se dispone de datos procedentes de los puntos de la red de calidad establecida por el ITGE. En la zona de estudio, a lo largo de los 7 últimos años (1983-1989) únicamente el punto 2837-50013 muestra una muy lenta tendencia a incrementar su contenido en cloruros en torno a los 200-300 mg/l en todo el período. En el punto 2738-40094 se observa una tendencia a incrementarse el contenido en cloruros y la relación rCl/rCO_3H desde finales de 1988, que pasan de 1420 mg/l, en Marzo de 1987 a 2678 mg/l, en Mayo de 1989, y de 8,98 a 20,08 la relación rCl/rCO_3H en el mismo período. En este punto, aunque a lo largo de 7 años ha habido grandes oscilaciones en el contenido en cloruros, no se habían alcanzado anteriormente los valores de los años 1988 y 89; incluso en el año 1985, en que comienza a elevarse el nivel piezométrico, parece que la concentración en cloruros iniciaba un significativo descenso (fig. 6.1). Este aumento en el contenido en cloruros, producido a finales de 1988, no es fácil de explicar, pero es seguro que no se debe a un fenómeno de intrusión marina ya que en este punto no se explota el acuífero y el nivel piezométrico experimenta un ascenso constante desde 1985 al ritmo de 1m/año. Más bien se trataría de

un fenómeno de contaminación puntual de otro origen distinto a partir de esa fecha. Este último vendría apoyado por el incremento del contenido en nitratos experimentado paralelamente al contenido en cloruros y salinidad (de 22 mg/l de ión nitrato en Agosto de 1988 a 160 mg/l en Diciembre de ese mismo año).

EVOLUCION PIEZOMETRIA-CLORUROS

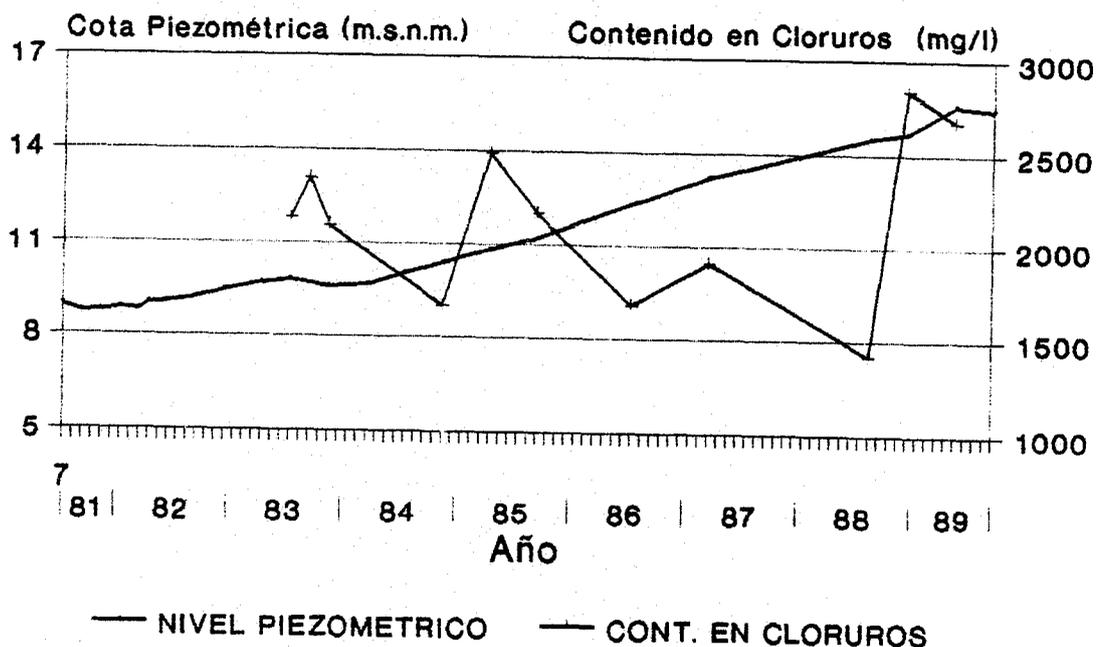


Fig. 6.1 Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Evolución piezométrica - cloruros en el punto 2738-40094.

Por último, el otro punto de la red situado en la zona de estudio, el 2838-10010, no muestra ninguna tendencia, a lo largo de 8 años de observaciones, a aumentar o descender su contenido en cloruros, a pesar del ascenso de nivel piezométrico en los últimos años (fig. 6.2)

EVOLUCION PIEZOMETRIA-CLORUROS

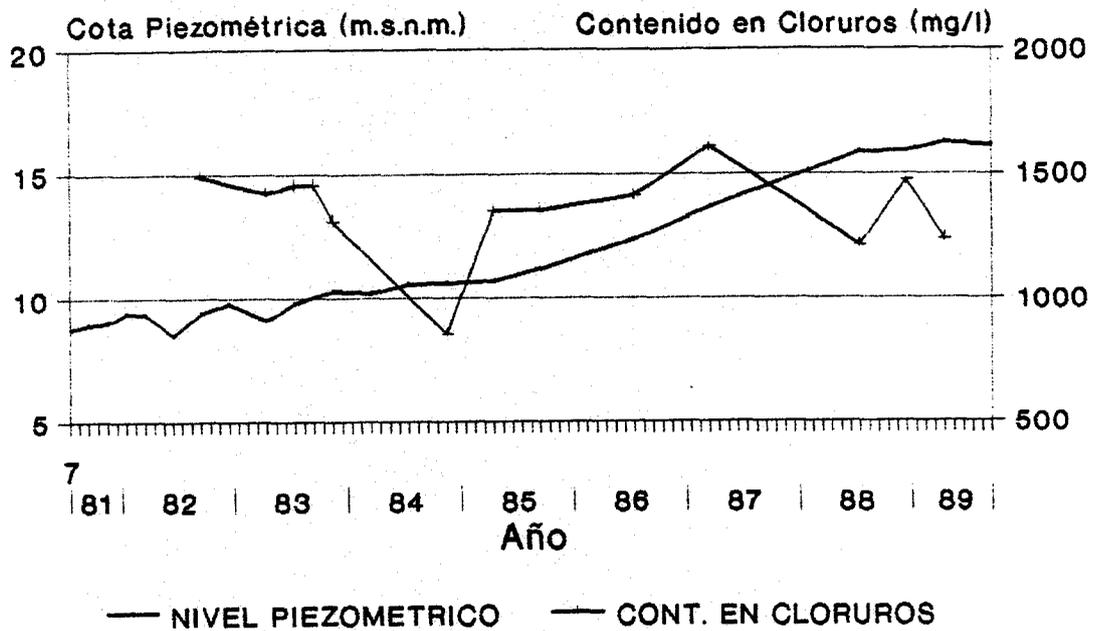


Fig. 6.2 Campo de Cartagena. Acuífero Cuaternario. Evolución piezometría - cloruros en el punto 2838-10010.

A la vista de estos resultados, la zona afectada se sitúa a lo largo de una franja paralela a la costa con una anchura que puede variar entre 2 y 5 km, según las zonas. A corto plazo, no parece que el estado del acuífero vaya a empeorar ostensiblemente en cuanto a la intrusión marina se refiere (más bien sería lo contrario, al extraer menos caudales de los sondeos y recibir la alimentación de agua de buena calidad del Trasvase), si bien es necesario vigilar aquellas zonas que presentan mayores problemas.

6.3. PLIOCENO DEL CAMPO DE CARTAGENA

6.3.1. Geometría del acuífero

La geometría de los acuíferos Plioceno y Andaluciense ha sido extensamente tratada en el estudio "Geometría de los acuíferos del Campo de Cartagena (Murcia)", realizado por ITGE en 1989, por lo que en el presente trabajo solamente se hará una breve descripción de las características morfológicas más destacables de estos acuíferos en sus sectores más próximos a la costa (entre 7 y 14 km del litoral).

En el plano nº 5 se muestran las isohipsas del muro impermeable del acuífero Plioceno. La isohipsa de cota cero se sitúa, en la zona septentrional, a una distancia del mar en torno a los 7 km. Entre 9 y 16 km en la zona central y entre 2 y 7 km en el zona meridional. Existen dos profundos surcos junto al litoral, uno al Sur de Los Alcázares, donde el muro impermeable se sitúa a -150 m.r.m. y otro en los alrededores de San Pedro del Pinatar, donde se encuentra por debajo de los -200 m.r.m. El primer surco se adentra más de 10 km hacia el interior, donde a la altura de Torre Pacheco, la cota del muro del acuífero aún se sitúa sobre los -100 m.r.m. Si se exceptúan estas dos zonas de surco, el muro del acuífero se encuentra en el resto del litoral por debajo del nivel del mar, a cotas que generalmente van desde los -20 a -100 m.r.m.

Todo el Campo de Cartagena está afectado por fracturas profundas del sustrato bético que han condicionado el depósito del terciario de forma que, en general, los surcos del Plioceno se corresponden con zonas de fosa del zócalo.

El acuífero del Plioceno está formado por areniscas con una potencia media de 15 a 20 m, en la zona estudiada, llegando a tener más de 40 m, en la zona de San Pedro del Pinatar y entre 20 y 30 m, en todo el sector litoral.

Los límites del acuífero que afectan a la zona de estudio son:

Al Norte, por la falla del Río Seco que desconecta el Plioceno del Campo de Cartagena con el situado en el sector de Cabo Roig más elevado, con un salto de 100 m entre ambas formaciones. Hacia el Oeste, este límite septentrional viene a coincidir con el cauce del Río Seco, donde además de haber sido erosionado el Plioceno y aflorar el impermeable de base (margas del Andaluciense), dicho río coincide aproximadamente con el eje de un anticlinal de dirección NO-SE. Más al Oeste, este límite coincide con afloramientos de margas del Andaluciense.

En el Sur (la zona más próxima a la costa), el límite viene a coincidir con la línea geomorfológica de separación entre el llano y los relieves filíticos montañosos de la Sierra de La Unión.

Por el Oeste, el límite de este estudio se ha considerado que se sitúa, aproximadamente, a unos 15 km de la costa.

El mar Mediterráneo limita el acuífero por el Este.

6.3.2. Piezometría

En este acuífero se ha medido el nivel piezométrico en un total de 12 puntos que captan únicamente el acuífero Plioceno (cuadro nº 6.5), en dos campañas, efectuadas una en los meses de primavera y la otra en el mes de Septiembre. Para el trazado de los mapas de isopiezas se han tenido en cuenta aquellas

Cuadro 6.5

ACUIFERO PLIOCENO (CAMPO DE CARTAGENA)
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4802

PERIODO DE CONTROL:18-04-89/05-09-89

N	IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
273840084		49.83	-24.83	19/04/89	E
273840084		49.52	-24.52	04/09/89	E
273880054		28.75	-1.75	20/04/89	D
273880054		45.53	-18.53	04/09/89	D
273940018		9.18	16.82	28/04/89	E
273940028		18.18	7.82	28/04/89	E
273940035		13.88	19.12	02/05/89	E
273940043		12.90	12.10	02/05/89	E
273940048		15.60	6.40	02/05/89	D
283750007		0.01	0.01	19/04/89	D
283750155		0.01	0.01	19/04/89	D
283810021		49.75	-24.75	02/05/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 10
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 2

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)

Cuadro 6.6

PLIOCENO+BETICO (CAMPO DE CARTAGENA)
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4811

PERIODO DE CONTROL:19-04-89/02-09-89

N	IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
273840079		51.23	6.77	20/04/89	E
273840079		50.62	7.38	01/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 2
NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
(E=Estatico;R=Recuperando)
(S=Surgente)
(0.01=Punto visitado sin medida)

captaciones que explotan también el acuífero Cuaternario (cuadro nº 6.2) y el bético de la zona central del Campo de Cartagena (cuadro nº 6.6), pues constituyen un único acuífero.

En el plano nº 6 se han representado las isopiezas correspondientes a los meses de Abril-Mayo. Como puede verse los niveles piezométricos oscilan entre 19 m.s.n.m., en la zona próxima a El Algar y -41 m.r.m., en los alrededores de El Pilar de la Horadada. En la zona de El Algar estos niveles del Plioceno pueden estar afectados por el acuífero Cuaternario, ya que en este sector (de piezometría más elevada) existen captaciones que explotan los dos acuíferos produciéndose una comunicación entre ambos a través de dichas captaciones.

Las características a destacar en este período son, en primer lugar la zona deprimida entre San Pedro del Pinatar y el Pilar de la Horadada donde la superficie piezométrica puede situarse por debajo de los -40 m.r.m., y en segundo lugar que los niveles se elevan gradualmente de Norte a Sur en la zona litoral, situándose estos entre -10 y -40 m.r.m., en la zona entre El Pilar de la Horadada y Los Alcázares, y desde aquí hacia el Sur entre -10 y 10 m.s.n.m., alcanzando cotas más elevadas en la zona próxima a El Algar, donde se encuentran algunas captaciones en comunicación con el acuífero Cuaternario.

En el mes de Septiembre (plano nº 7) se han medido un número de puntos considerablemente menor, pero en las zonas en las que se ha podido observar el nivel piezométrico, se aprecia un comportamiento similar al de la campaña anterior.

En resumen, en los puntos en los que se han podido efectuar medidas en ambos periodos no se aprecian diferencias significativas de nivel piezométrico.

En cuanto a la evolución del nivel piezométrico en este acuífero puede decirse lo siguiente: hasta el año 1979, en

que comenzaron a llegar aguas procedentes del Trasvase Tajo-Segura al Campo de Cartagena, la superficie piezométrica padecía un continuado descenso de nivel, debido a la intensa explotación realizada en el acuífero. A partir del mencionado año y hasta 1985 los niveles se estabilizaron, con algunos descensos en el período de sequía entre 1982 y 1984, para experimentar una elevación desde 1985 hasta la actualidad cifrado entre 1 y 5 m por año, según zonas.

6.3.3. Estudio hidroquímico

En el acuífero Plioceno del Campo de Cartagena se han analizado un total de 15 muestras (ver cuadro nº 6.7) en puntos que captan solamente este acuífero, 12 de los cuales corresponden a la campaña de Abril-Mayo y 3 a la de Septiembre. Para este estudio se han tenido en cuenta, además, aquellas muestras recogidas en puntos que captan también el acuífero del Cuaternario (ver cuadro nº 6.8), con los criterios expuestos anteriormente. En este sentido hay que señalar que los puntos 2838-10015, 2838-10049 y 2738-40063, , el análisis discriminante realizado los considera como del grupo de aguas del Cuaternario con probabilidades de pertenencia a esta clase superiores al 80%, y por tanto lo más verosímil es que correspondan a una mezcla de agua de ambos acuíferos. Sin embargo, y dado que las muestras se han tomado después de un cierto período de bombeo, se les ha hecho corresponder en principio al acuífero del Plioceno.

Las facies mostradas por estas aguas son, en cuanto a los aniones, generalmente cloruradas-sulfatadas, con predominio del ión cloruro, excepto en el sector situado al Noreste de La Palma, donde el anión predominante es el sulfato. En cuanto a los cationes presentan facies mixtas, siendo el sodio el catión mayoritario, seguido generalmente del magnesio y después del calcio.

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad Campo de Cartagena

Acuífero Plioceno 4802

N ^o I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₂ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2738-80054	19-04-89	Bombea 2 horas	-	-	5817	1880	55,23	1,63	9,4	0,7	0,13
2738-80054	4-09-89	Bombea	-	-	5295	1650	53,62	1,18	9,19	0,75	0,1
2739-40018	28-04-89	Bombeando	50	-24	6001	760	23,16	1,39	4,9	2,88	-0,26
2739-40024	20-04-89	Bombea 3 horas	80	-57	3508	1304	64,54	1,39	9,71	0,44	0,06
2739-40024	4-09-89	Bombea horas	"	"	3672	1450	67,64	1,07	7,77	0,34	0,18
2739-40028	25-04-89	Reposo	51,4	-28	4783	1920	70,1	1,60	11,97	0,31	0
2739-40035	2-05-89	Bombeando	-	-	5683	659	21,53	1,42	3,4	3,06	-0,57
2739-40043	2-05-89	Reposo	34,9	-10	4312	796	33,96	0,95	5,17	1,59	-0,3
2739-40048	2-05-89	"	30	-8	2775	564	37,98	1,17	3,18	1,11	-0,37
2837-50007	19-04-89	Bombea	160	-129	3084	780	44,44	1,34	5,61	1,7	-0,01
2837-50007	21-09-89	"	"	"	3163	767	42,51	1,27	4,92	1,15	0,1
2837-50155	19-04-89	Reposo	200	-147	3102	1150	63,33	1,16	9,38	0,44	0,24
2837-50253	3-05-89	Bombea 10 min.	200	-168	3029	790	46,02	1,03	5,48	0,98	0,04
2837-50254	3-05-89	Bombeando	220	-194	3193	861	47,77	0,96	5,37	0,9	0,03
2838-10052	14-04-89	Bombea 3 horas	160	-145	3767	1153	53,13	1,07	9,36	0,78	0,05

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad Campo de Cartagena

Acuífero Plioceno + Cuaternario 4807

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2738-40063	19-04-89	Bombea 10 min.	140	-122	7640	2905	63,71	1,51	22,51	0,52	0,13
2738-60052	3-05-89	Reposo	137	-67	6478	1629	44,59	2,46	13,74	1,16	-0,4
2738-80038	18-04-89	Bombea 10 min.	140	-122	5177	1377	46,6	1,14	7,9	1,0	-0,06
2738-80038	4-09-89	Bombea horas	"	"	5412	1770	55,98	1,1	9,52	0,66	0,19
2738-80045	19-04-89	Bombea 10 min.	100	-81	4385	1760	68,02	1,33	11,17	0,36	0,16
2738-80050	19-04-89	Bombea 10 min.	--	--	4286	981	40,85	1,5	5,15	1,23	-0,27
2738-80050	4-09-89	Bombea 5 min.	--	--	4697	1335	49,88	1,28	8,32	0,86	0,02
2738-80050	4-09-89	Bombea 2 horas	--	--	4302	1265	51,72	1,16	8,18	0,79	0,01
2837-50055	17-04-89	Reposo	277	-255	3612	1000	48,52	1,0	8,56	0,93	0,06
2837-50055	20-09-89	Bombea	"	"	2836	822	50,84	1,5	4,64	0,58	0,04
2837-50154	19-04-89	Bombea	160	-129	2675	971	63,73	1,88	7,17	0,34	0,07
2837-50154	22-09-89	Bombea	"	"	1715	614	62,56	1,35	5,93	0,32	0,2
2838-10015	14-04-89	Bombea	185	151	3766	1560	72,64	1,81	10,32	0,18	0,08
2838-10049	19-04-89	Bombea 1 hora	120	-109	5078	1553	54,87	1,78	8,14	0,63	-0,2

En la campaña de Abril-Mayo las salinidades encontradas oscilan entre 2,7 y 6,0 gr/l, en los puntos que sólo captan este acuífero, pudiendo llegar a los 7,6 gr/l si se consideran los puntos que además captan el del Cuaternario. La salinidad es mayor en las captaciones situadas entre San Javier y El Pilar de la Horadada, donde se aproxima a los 4 gr/l y alcanza valores mayores en la zona entre Los Alcázares y Los Urrutias.

La conductividad varía entre 3900 y 7420 microsiemens pudiendo superar los 9900 en el punto 2738-40063, que también capta aguas del Cuaternario.

En Septiembre, aunque con menos muestras analizadas, estos valores de salinidad y de conductividad disminuyen en la mayoría de los puntos muestreados, oscilando el primer parámetro entre 1,7 y 5,2 gr/l y entre 2630 y 6820 microsiemens/cm el segundo. Ello es debido al "lavado" que realizan las aguas del Trasvase, de mejor calidad.

El contenido en cloruros, en la campaña de primavera (plano nº 8) oscila entre 780 y 1150 mg/l, en la zona Noreste y entre 564 y 1900 mg/l en la zona situada entre Los Urrutias y El Algar. Considerando los puntos que también captan el acuífero del Cuaternario estos contenidos se elevan a 2905 en las proximidades de Los Alcázares y a 1560 mg/l en la zona cercana a San Javier.

Se aprecia una elevación en la concentración de este ión en dirección al mar y en general cuando menor es la cota de fondo de la obra. El contenido en Cl⁻ es especialmente elevado en la zona situada entre Los Alcázares y Los Urrutias, donde las captaciones que sólo explotan aguas del acuífero Plioceno pueden llegar a alcanzar los 2000 mg/l.

En Septiembre (plano nº 19), la situación es muy similar, con una tendencia a descender el contenido en cloruros en la zona Noreste que se sitúa en torno a los 200 mg/l, y en la

zona entre Los Alcázares y Los Urrutias, dependiendo de las captaciones, la concentración de este ión aumenta o disminuye, oscilando entre 1450 y 1650 mg/l, en las captaciones que sólo explotan el acuífero del Plioceno.

Respecto a los índices hidroquímicos más significativos para conocer la relación con el agua del mar, se tiene lo siguiente:

La relación rMg/rCa varía entre 0,95 y 1,63 en los meses de Abril-Mayo y entre 1,07 y 1,5 en Septiembre, alcanzando los mayores valores en la zona que va de Los Alcázares a Los Urrutias. En los puntos que captan también el Cuaternario los valores de esta relación son generalmente mayores, hasta de 1,88. La relación rSO_4/rCl presenta mayor variabilidad, oscilando entre 0,18 y 3,06 en primavera y entre 0,34 y 1,15 en Septiembre. A diferencia de la anterior relación, aquí sí existe una correlación entre distancia al mar y el valor alcanzado por este índice, de forma que en las captaciones que se encuentran más próximas al mar existe una tendencia a la disminución del valor de la relación rSO_4/rCl .

En cuanto al índice rCl/rCO_3H , considerando únicamente los puntos que explotan el acuífero del Plioceno, en la zona Noreste los valores oscilan entre 5,37 y 9,36 en los meses de Abril-Mayo, aumentando de forma clara con la proximidad a la costa. En la zona entre Los Alcázares y Los Urrutias, esta relación oscila entre 3,18 y 11,97, correspondiendo los valores mínimos a las captaciones situadas justamente más al Sur de Los Urrutias, próximas a El Algar, donde las aguas presentan facies sulfatadas-cloruradas coincidiendo con la zona donde se dan los valores mayores de la relación rSO_4/rCl .

El índice de cambio de bases, en la zona Noreste entre San Javier y El Pilar de la Horadada, pasa de tener valores negativos a positivos, en dirección a la costa. En la zona al

Norte de El Algar cambia también rápidamente de valores negativos a positivos hacia Los Urrutias.

6.3.4. Situación de la intrusión marina

En base a los datos disponibles puede afirmarse que en el acuífero Plioceno del Campo de Cartagena se da un fenómeno de intrusión marina que afecta con mayor o menor intensidad a toda la zona litoral comprendida entre El Pilar de la Horadada y la playa de Los Urrutias.

El hecho de que el contenido en cloruros de las muestras analizadas, así como la salinidad, conductividad e índice rCl/rCO_3H , tiendan a aumentar en las captaciones más próximas al mar, es un signo inequívoco de que existe una evidente relación con el agua marina, dependiendo según las zonas, de la profundidad del acuífero bajo el mar. Además, de la observación de los mapas de isopiezas y de isocloruros correspondientes a la campaña de primavera (planos nº 6 y 8) puede deducirse una cierta relación entre piezometría y contenido en cloruros en toda la zona situada entre San Javier y Los Urrutias. Por otro lado, los altos contenidos en cloruros encontrados en captaciones que explotan únicamente el acuífero Plioceno (próximos a los 2000 mg/l) no se explican sino es considerando una extensa zona de difusión en la que el agua del acuífero tiende a hacerse más salada en dirección a la costa.

Por sectores, el Noreste, entre El Pilar de la Horadada y las proximidades de San Javier, a pesar de presentar una piezometría más baja (entre -20 y -40 m.r.m.), sería en principio la menos afectada en cuanto a la penetración tierra a dentro de la zona de difusión. Esto podría explicarse porque el acuífero en este sector, que es cautivo, se sitúa a mayor profundidad que en el resto de la zona estudiada, de forma que las rocas permeables bajo el mar se encontrarían a una considerable profundidad, ya que el muro del acuífero presenta una cota de -200 m.r.m. y el

techo de -160 m.r.m. y existe un evidente flujo subterráneo hacia el mar.

En todo caso, la relación con el agua del mar, sin llegar a ser tan preocupante como en el caso del Plioceno de Cabo Roig (como se verá más adelante) sí es manifiesta, pues se aprecia un claro incremento en las relaciones rCl/rCO_3H , rMg/rCa y en el contenido de cloruros en las captaciones más próximas a la costa, respecto de las situadas más al interior. Así por ejemplo, comparando los sondeos 2837-50254 y 2837-10052 situados a una distancia de la costa de 3 y 1,2 km, respectivamente, se observa un incremento en cloruros de 350 mg/l y un aumento en el valor de la relación rCl/rCO_3H de 5,37 a 9,36. A su vez la relación rSO_4/rCl disminuye de 0,9 a 0,78.

Un esquema aproximado de la zona de mezcla en este sector sería el mostrado por la figura 6.3

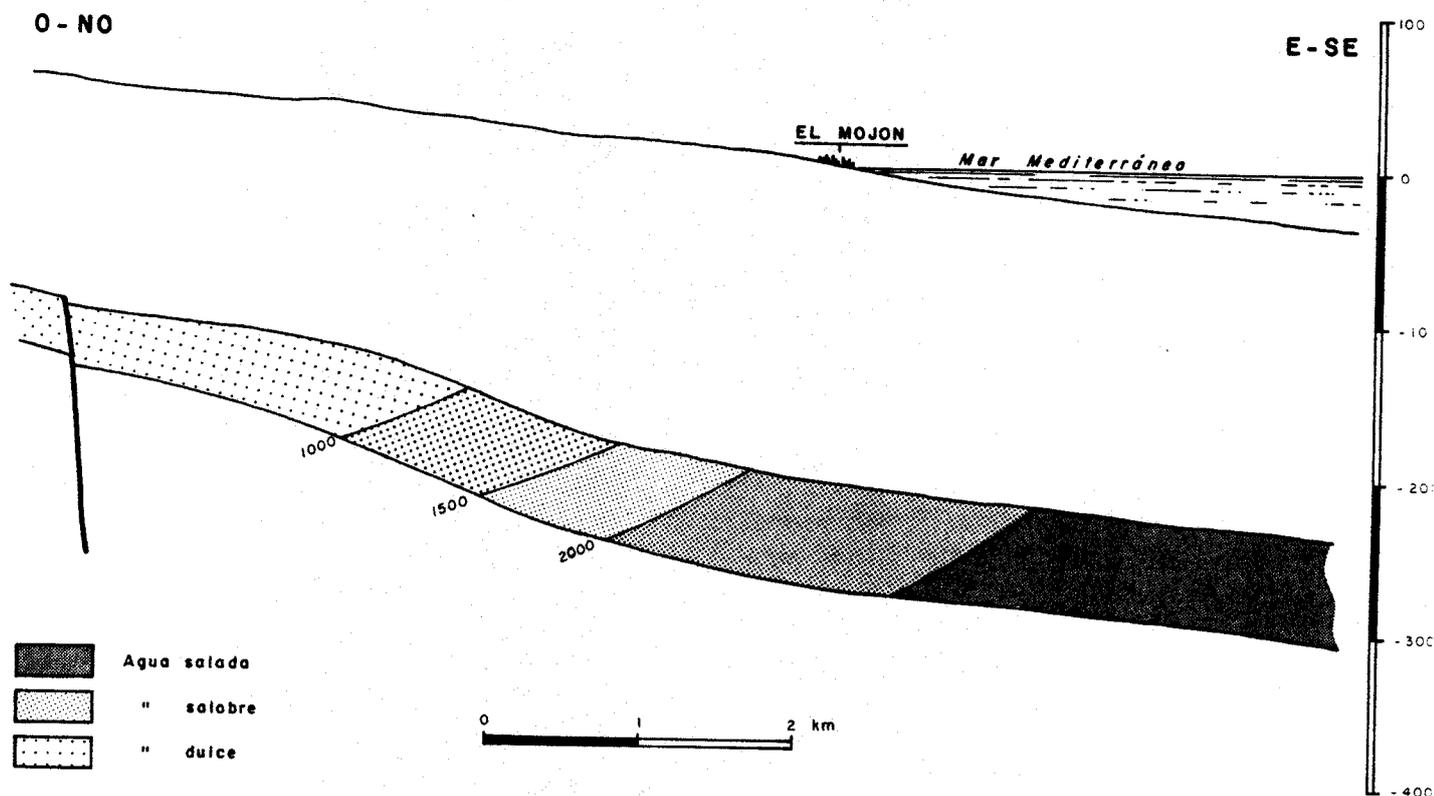


Fig. 6.3 Esquema interpretativo de los valores de la interfase referidos al contenido de cloruros (en mg/l), en el acuífero Plioceno del Campo de Cartegena, sector nororiental.

En la zona situada inmediatamente al Sur de San Javier, entre ésta localidad y Los Alcázares, es más difícil definir la relación del acuífero Plioceno con el mar, debido a que los datos hidroquímicos de que se dispone (2 muestras en los sondeos 2838-10049 y 2838-10015) corresponden a captaciones que explotan también al acuífero del Cuaternario.

Efectivamente, el agua analizada parece corresponder a una mezcla de aguas de los dos acuíferos. Esto estaría apoyado también por el análisis discriminante realizado, que asigna estas muestras al grupo del Cuaternario con una probabilidad de pertenencia a dicho grupo superior al 90%. Además, el contenido en nitratos encontrado en dos de las muestras, más bien parece

corresponder a las aguas del acuífero más superficial (en una de ellas se superan los 250 mg/l de nitratos).

En todo caso, las muestras han sido recogidas después de un cierto tiempo de bombeo, por lo que hasta cierto punto podrían considerarse más representativas del acuífero Plioceno. Además, se trata también de una zona de piezometría deprimida (por debajo de los -20 m.r.m.) y por tanto el contenido de cloruros encontrado (sobre los 1500 mg/l) indicaría la relación del agua del mar con una zona de mezcla que estaría siendo captada por estos sondeos. Sin embargo, no puede afirmarse con exactitud tal extremo por los problemas expuestos.

Por último, la zona situada entre Los Alcázares-Los Urrutias es la que presenta síntomas más claros de intrusión marina, como se deduce del estudio hidroquímico. El contenido en cloruros aumenta claramente en dirección a la costa, tomando las líneas de isoconcentración de este ión, una forma convexa hacia el continente, a modo de prolongación de la morfología de la costa del mar Menor junto a Los Alcázares. Los índices hidroquímicos también reflejan variaciones espaciales que evolucionan en dirección al mar con valores propios de una intrusión.

Hay que indicar que en esta zona se da el mayor contenido en cloruros de las muestras analizadas en este acuífero, alcanzándose en el punto 2738-40063 casi los 3000 mg/l y una conductividad próxima a los 10000 microsiemens/cm. Este punto capta también aguas del Cuaternario y es muy posible que la muestra analizada corresponda a una mezcla de aguas, pudiendo recibir aportes del acuífero superior más salinizado, como ya se vió anteriormente. Sin embargo, otras muestras procedentes de captaciones que explotan exclusivamente el acuífero Plioceno, presentan también altos contenidos en cloruros, próximos a los 2000 mg/l, por lo que podría considerarse que el punto mencionado es también en cierta medida representativo del Plioceno y en el

sector donde está situado, el contenido en cloruros sería igualmente elevado.

La superficie piezométrica se encuentra a cotas entre 0 y -20 m.r.m., llegando a ser positiva en la zona al Sur de Los Urrutias, donde el contenido en cloruros y las relaciones iónicas indicativas de la interfase, no parecen mostrar la presencia de este fenómeno.

Ligado al proceso de intrusión marina en la zona costera que va desde Los Alcázares a Los Urrutias, aparece tierra adentro un fenómeno de intrusión marina fósil puesta de manifiesto por MORA, V. et. al. en el estudio "Intrusión Marina Fósil en el Campo de Cartagena (Murcia)", realizado en 1988, y que afecta a un sector del acuífero situado justamente al Oeste del que se acaba de describir, hasta la localidad de Torre Pacheco. Efectivamente, siguiendo a estos autores, el mapa de salinidad de la figura 6.4 muestra una "cuña salina" que se adentra en el continente a través de una franja de 5 km de anchura máxima y de 12 km de longitud, a modo de prolongación de la convexidad de la costa.

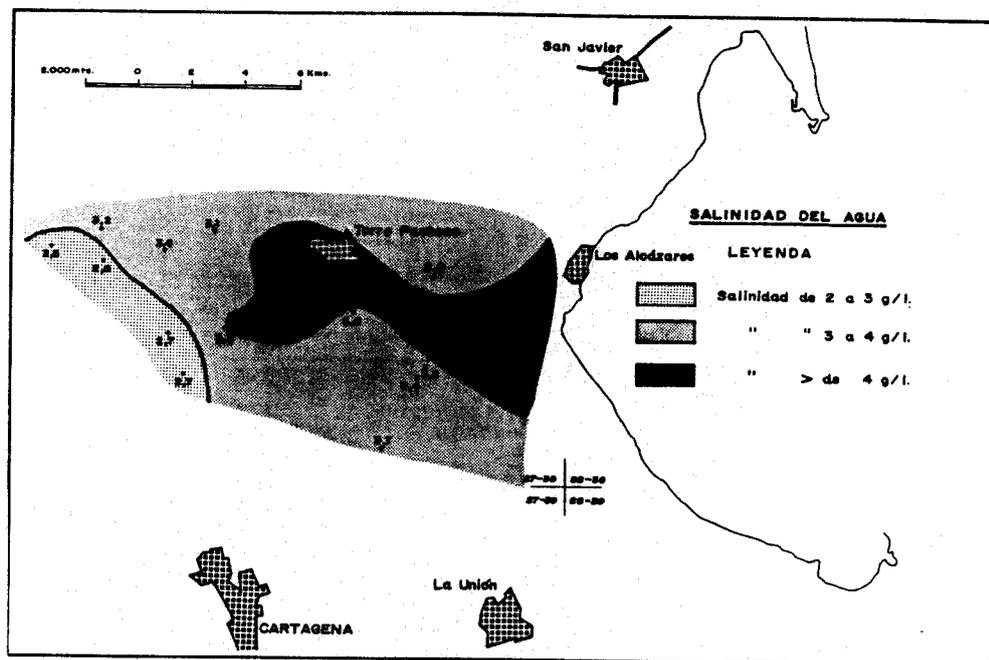


Fig. 6.4 Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Mapa de salinidad del agua.

En la figura 6.4 puede observarse que la salinidad pasa, de Oeste a Este, de 3,1 a 6,0 gr/l en tan solo 3,3 km de distancia (existiendo un incremento de 1 gr/l por cada kilómetro); despues baja a 5 g/l a mitad de la cuña, para de nuevo aumentar hasta situarse en 6,5 mg/l cerca del mar (datos de 1988).

También puede apreciarse este efecto en la figura 6.5, donde se ha representado la variación espacial de la relación $rCl/rCO3H$. Aparecen importantes valores en la "cuña", en las inmediaciones de Torre Pacheco (sobre el valor 20, que suele ser inferior a 10 en acuíferos no ligados con el mar, salvo los que están en contacto con el Trías diapírico, circunstancia que no se da en el Campo de Cartagena).

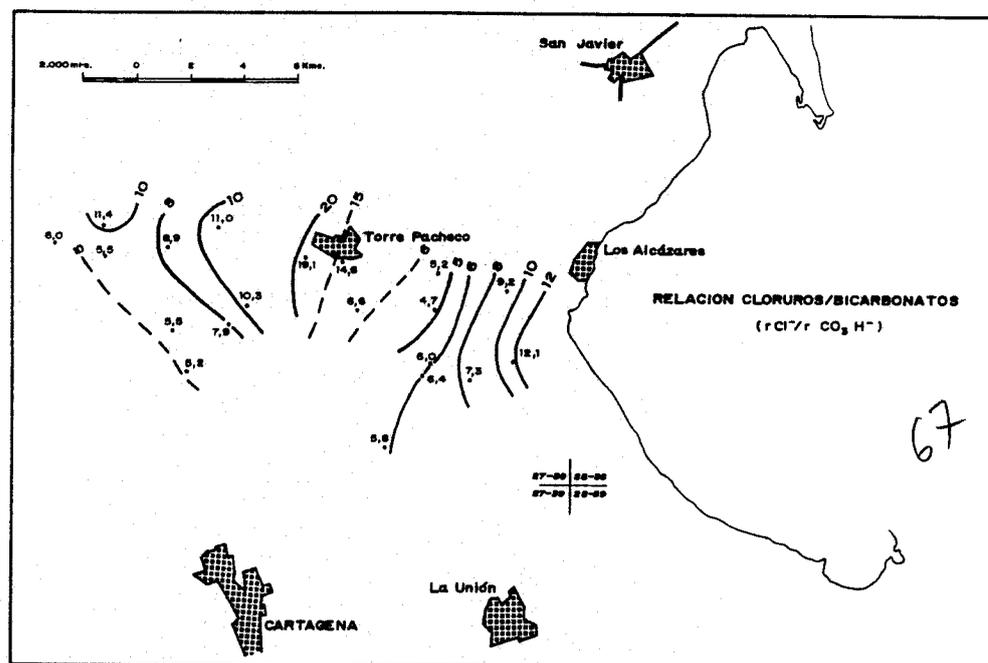


Fig. 6.5 Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Mapa de relación cloruros/bicarbonatos.

Desde Torre Pacheco hacia el mar se produce en principio una disminución importante de este índice y a continuación vuelve a subir netamente hasta alcanzar la relación de 12 en las proximidades del mar. Todo ello ocurre como si hubiera un agua marina "atrapada" hacia Torre Pacheco, donde los índices de intrusión alcanzan valores incluso superiores a los encontrados cerca del mar.

Por su parte la relación sulfatos/cloruros refleja una evolución similar, pero a la inversa que la relación rCl/rCO_3H^- . Todo esto hace pensar en la existencia de una intrusión marina fósil en el acuífero Plioceno del Campo de Cartagena, motivada por movimientos eustáticos del mar, ligados a una transgresión del Plioceno. En el mencionado estudio de MORA, V. et. al. (1988), se describe con detalle el fenómeno y se ofrece una exhaustiva justificación geológica.

Dada la morfología que presentan las líneas de isocloruros en este sector, es más verosímil esta hipótesis que la de una intrusión provocada por las extracciones en la zona.

En cuanto a la evolución del fenómeno de la intrusión marina en este acuífero, se dispone de datos procedentes de puntos de la red de calidad establecida por el ITGE, referentes a los puntos 2837-50154 y 2837-50094, ambos situados en el sector noreste. En la figura 6.6 se han reflejado las evoluciones de estos puntos en los últimos años.

EVOL. DEL CONTENIDO EN CLORUROS

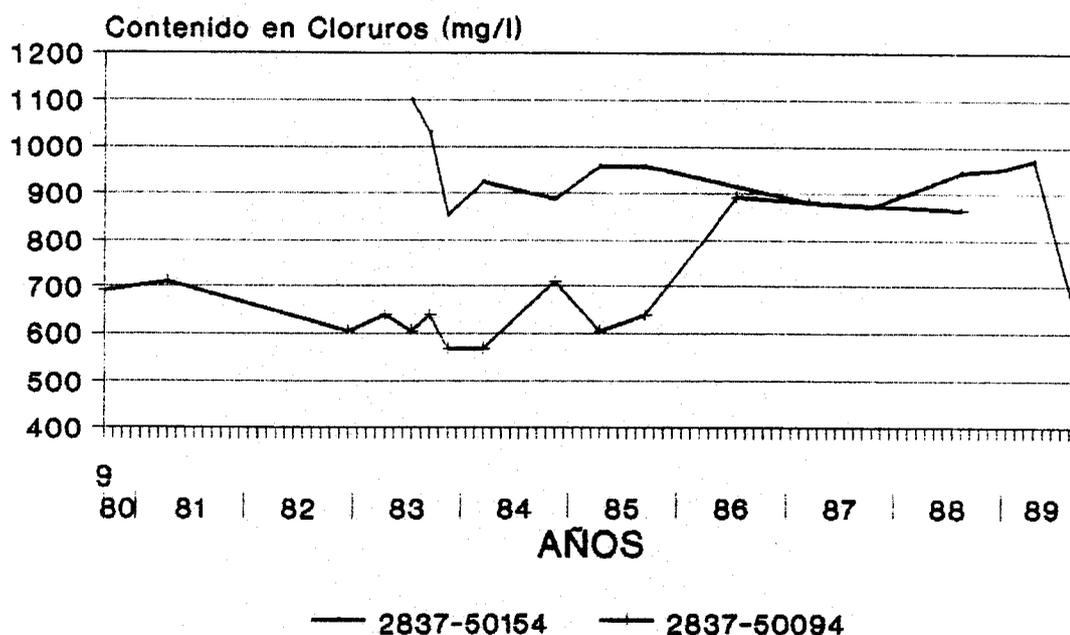


Fig. 6.6 Campo de Cartagena. Acuífero Plioceno. Evolución del contenido en cloruros en los puntos 2837-50154 y 2837-50094.

Como puede apreciarse, en el punto 2837-50154 no existe una tendencia significativa al aumento del contenido en ión cloruro, ni a su disminución, a pesar del ascenso continuado de la superficie piezométrica. El punto 2837-50094, parece que en

los últimos años, a partir de 1986, eleva su concentración en cloruros; sin embargo es poco probable que se deba a su relación con el mar, pues se encuentra bastante más alejado de la costa (unos 10 km) que el punto 2837-50154, que se sitúa a unos 2 km del litoral.

En resumen, en base a los datos disponibles parece que la situación frente a la intrusión marina en este acuífero se va, como mínimo, a mantener en los niveles actuales a corto plazo, merced a la continua elevación de la superficie piezométrica (ligada al Trasvase Tajo-Segura) y al descenso de explotación actual. No obstante resulta necesario un seguimiento del fenómeno de intrusión en las zonas donde éste se muestra más acusado.

6.4. ANDALUCIENSE DEL CAMPO DE CARTAGENA

6.4.1. Geometría del acuífero

Este acuífero presenta una litología bastante homogénea constituida por calizas bioclásticas y calcarenitas con una potencia media de 125 m, si bien el espesor viene condicionado, como en el caso del acuífero del Plioceno, por la tectónica en una etapa preorogénica.

Los límites del acuífero, en la zona que se analiza, son los siguientes: a lo largo de todo el sector septentrional hasta San Miguel de Salinas, las calcarenitas del Andaluciense son aflorantes, apoyándose directamente sobre las margas del Tortoniense superior, que constituyen en esta zona el impermeable de base. En el extremo nororiental, desde San Miguel de Salinas hasta el litoral a la altura de Punta Prima aproximadamente, estos afloramientos se encuentran interrumpidos por la denominada falla de San Miguel que constituye el límite del acuífero en este sector, dando paso más al Norte a la depresión donde se sitúan las Salinas de Torre vieja y La Mata. En el Sur y Suroeste del acuífero, los límites del mismo vienen condicionados por una

serie de fallas que hunden a gran profundidad las calizas del Andaluciense, haciendo imposible su reconocimiento hacia el Sur, mediante métodos convencionales. Así mismo, una importante fractura paralela a la línea de costa entre Los Alcázares y Santiago de la Ribera constituye el límite del acuífero en el sector más suroriental.

En cuanto a su geometría en profundidad, en el plano nº 10 se muestran las isohipsas del muro del acuífero. Puede apreciarse cómo la isohipsa de cota cero se encuentra a una distancia entre 5 y 6 km de la costa en el sector nororiental, para adentrarse rápidamente en el interior del continente hacia el Sur, llegando a situarse en la zona central del acuífero a más de 20 km de distancia del litoral. Se observa también un importante surco en los alrededores de San Pedro del Pinatar, donde el muro impermeable se sitúa por debajo de la cota -500 m.r.m. alcanzando el acuífero en este lugar potencias que superan los 200 m. En el resto de la zona litoral el muro impermeable se encuentra a cotas comprendidas entre -250 y -300 m y el techo entre -160 y -260 m.

6.4.2. Piezometría

En este acuífero se han efectuado un total de 25 medidas de nivel piezométrico en 22 puntos, 19 de las cuales corresponden a los meses de Abril-Mayo y 6 al mes de Septiembre (cuadro nº 6.9).

En el plano nº 11 se muestran las isopiezas correspondiente al período de primavera (meses de Abril-Mayo), donde los niveles oscilan entre -50 m.r.m., al Oeste de San Javier y Sur de Cabezo Gordo, y -85 m.r.m., en el sector de El Pilar de la Horadada. En el mes de Septiembre (plano nº 12) con menos medidas, no se aprecian prácticamente diferencias en la cota piezométrica de los puntos en que se han podido realizar medidas en ambas campañas.

Cuadro 6.9

ACUIFERO ANDALUCIENSE (CAMPO DE CARTAGENA)
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4805

PERIODO DE CONTROL:13-04-89/05-09-89

N IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
273840028	76.40	-50.40	20/04/89	E
273840044	61.08	-40.08	04/09/89	E
273840053	80.00	-28.00	20/04/89	E
273840054	95.00	-50.00	04/09/89	E
273840069	133.30	-59.30	20/04/89	E
273840073	93.43	-53.43	17/04/89	R
273840082	69.77	-51.77	19/04/89	E
273840082	69.13	-51.13	04/09/89	E
273840085	85.00	-54.90	04/09/89	E
273840087	80.84	-50.84	17/04/89	E
273840095	4.18	69.82	04/09/89	E
273840103	80.34	-57.84	04/09/89	E
273840112	133.20	-59.20	20/04/89	E
283750047	0.01	0.01	19/04/89	D
283750070	252.00	-197.50	19/04/89	R
283750070	280.00	-225.50	19/04/89	D
283750166	110.00	-58.00	19/04/89	A
283750166	200.00	-148.00	19/04/89	D
283750200	0.01	0.01	19/04/89	D
283750256	132.30	-85.30	02/05/89	E
283810011	90.00	-69.00	14/04/89	E
283810020	72.70	-47.70	02/05/89	E
283810035	67.07	-52.07	14/04/89	E
283810055	76.40	-52.40	20/04/89	E
283810057	83.97	-52.97	14/04/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 23
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 2

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)

En líneas generales, puede destacarse la gran depresión de la superficie piezométrica situada entre San Pedro del Pinatar y El Pilar de la Horadada, que coincide, como en el caso del acuífero Plioceno, con la zona de mayores extracciones. El flujo subterráneo se dirige hacia esta zona con un gradiente del 4 por mil. Los niveles dinámicos alcanzan los -150 m.r.m. y en ocasiones se encuentran por debajo de los -200 m.r.m. Por lo demás, destacar la que, según la morfología de las isopiezas, parece constituir una zona de recarga en las inmediaciones del Cabezo Gordo, debido a que se encuentran en contacto los materiales permeables del bético y los del Andaluciense.

En lo que se refiere a la evolución de la cota de la superficie piezométrica, hay que decir que ésta experimentó un continuado descenso de niveles hasta el año 1984, fecha a partir de la cual comienza a recuperarse, coincidiendo con el fin del período de sequía y sobre todo por la menor explotación del acuífero a causa de las aportaciones del Trasvase Tajo-Segura. En los últimos cuatro años se aprecia un ascenso medio del nivel piezométrico de 7 a 30 m, según los sectores.

6.4.3. Estudio hidroquímico

En el acuífero del Andaluciense se han analizado 28 muestras en las dos campañas; 18 en la de Abril y 10 en Septiembre (cuadro nº 6.10). Además se han tenido en cuenta algunas muestras recogidas en las captaciones que explotan los tres acuíferos (Cuaternario, Plioceno y Andaluciense) y cuyas características se reflejan en el cuadro nº 6.11.

Las aguas analizadas muestran facies cloruradas-sulfatadas sódicas a mixtas en casi todos los casos, con predominio general del ión Ca⁺⁺ sobre el Mg⁺⁺, al contrario que en los analizados en primavera, por la acción del agua bicarbonatada cálcica procedente del trasvase y aplicada sobre las zonas regables.

Cuadro 6.10

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad Campo de Cartagena

Acuífero Andaluciense 4805

Nº I. R. N.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2738-40014	17-04-89	Bombea 3 horas	260	-225	2457	670	50,14	1,01	3,07	0,66	-0,26
2738-40028	18-04-89	Bombea 25 min.	219	-193	4594	1486	57,11	1,98	11,83	0,63	-0,14
2738-40028	4-09-89	Bombea 20 min.	"	"	3597	1130	54,57	2,11	8,45	0,67	0,04
2738-40036	17-04-89	Bombea 5 min.	225	-211	3363	863	46,45	0,79	4,76	0,94	-0,3
2738-40036	1-09-89	Bombea	"	"	3295	830	45,41	0,78	4,16	0,96	-0,26
2738-40053	17-04-89	Bombea 1 día	280	-228	1680	593	62,73	1,27	2,62	0,21	0,04
2738-40073	17-04-89	Bombea 1 hora	300	-260	2562	770	54,19	1,14	4,13	0,6	-0,13
2738-40073	1-09-89	Bombea	"	"	2703	762	50,66	0,86	3,38	0,67	-0,1
2738-40075	17-04-89	Bombea 3 horas	270	-230	2761	877	56,84	0,96	5,1	0,56	-0,08
2738-40075	1-09-89	Bombea	"	"	2293	652	51,75	0,89	3,28	0,62	-0,16
2738-40078	1-09-89	Bombea	280	-240	3881	1240	56,41	0,78	6,46	0,62	-0,02
3738-40085	4-09-89	Bombea 2 horas	240	-210	3893	1190	53,92	0,88	6,82	0,71	-0,07
2738-40087	1-09-89	Reposo	298	-268	4255	1214	51,11	0,67	6,27	0,8	-0,1
2738-40107	17-04-89	Bombea 5 min.	270	-236	3802	1453	66,52	1,46	833,17	0,5	0,03
2738-40107	1-09-89	Bombea	"	"	4362	1560	62,31	1,10	12,31	0,52	0,04
2738-40110	17-04-89	Bombea 5 min.	239	-188	46,16	1390	54,06	0,61	7,4	0,71	-0,05
2738-40110	1-09-89	Bombea	"	"	4742	1395	52,33	0,68	7,87	0,78	-0,04
2738-40112	17-04-89	Bombea 10 min.	270	-196	2886	760	47,54	1,0	3,52	0,82	-0,16
2837-50047	17-04-89	Reposo	400	-372	2927	1062	62,94	1,15	11,28	0,43	0,22
2837-50070	19-04-89	Reposo	375	-320	1120	222	36,62	1,31	1,57	1,08	-0,34
2837-50200	19-04-89	Reposo	300	-253	1488	258	31,36	1,34	2,98	1,84	-0,4
2838-10003	14-04-89	Bombea 5 min.	244	-217	2934	380	54,26	1,05	4,57	0,62	-0,21

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOSUnidad Campo de CartagenaAcuífero Andaluciense 4805

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2838-10003	20-04-89	Bombea 6 horas	244	-217	3399	979	51,93	0,86	5,2	0,73	-0,2
2838-10003	1-09-89	Bombea	"	"	3076	923	53,34	0,87	4,44	0,65	-0,1
2838-10011	14-04-89	Bombea 5 min.	320	-299	3081	1400	78,83	0,93	7,67	0,14	0,08
2838-10025	14-04-89	Bombea 10 min.	245	-226	3278	1045	56,55	0,84	7,52	0,64	-0,1
2838-10035	14-04-89	Bombea 5 min.	275	-260	3614	1068	52,16	1,1	5,09	0,72	-0,16
2838-10057	14-04-89	Bombea 15 min.	280	-249	2575	766	54,4	0,94	3,4	0,54	-0,17

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOSUnidad Campo de CartagenaAcuífero Andaluciense + Plioceno + Cuaternario ^{4809.}

N ^o I. R. N.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2738-40076	19-04-89	Bombea 5 min.	200	-148	2651	819	54,43	1,02	6,55	0,68	-0,1
2738-40076	1-09-89	Bombea	"	"	3104	840	48,39	0,81	4,13	0,82	-0,12
2837-50046	17-04-89	Bombea	280	-257	2777	733	48,34	1,84	3,81	0,67	-0,31
2837-50162	19-04-89	Bombea	280	-238	1648	420	45,23	1,17	3,06	0,88	0,1
2837-50184	3-05-89	Bombea	380	-356	2864	806	49,27	1,05	6,05	0,86	0,1
2838-10038	14-04-89	Bombea 5 min.	254	-237	3600	1066	52,9	1,11	5,92	0,63	-0,05

En la campaña de Abril-Mayo las salinidades encontradas oscilan entre 1,1 gr/l, en la zona más próxima a El Pilar de la Horadada y 4,6 gr/l, al Oeste de Santiago de la Ribera, apreciándose un incremento en el total de sales disueltas hacia el sector suroccidental. La conductividad alcanza también valores mínimos entre San Pedro del Pinatar y El Pilar de la Horadada (de 1596 a 4440 microsiemens/cm) y aumenta hacia el Suroeste donde alcanza los 6870 microsiemens/cm. El valor máximo encontrado ha sido en el punto 2738-40107, con 9470 microsiemens/cm, pero este valor no debe considerarse dado el carácter también anormal que presentan otros parámetros, como por ejemplo el bajo contenido de bicarbonatos en comparación con el que se da en el resto de las muestras (incluso en la tomada en el mismo punto en Septiembre), por tanto la validez del análisis es más que dudosa, ya que la muestra ha podido sufrir algún tipo de perturbación.

En el mes de Septiembre, no se ha recibido ningún análisis correspondiente a las muestras recogidas en el sector nororiental, en el sector suroccidental se aprecia un aumento de la salinidad (borde meridional del acuífero), y en el sector central hay captaciones que disminuyen este parámetro, que oscila entre 2,2 gr/l y 4,7 gr/l y la conductividad entre 3300 y 6700 microsiemens/cm.

En los planos nº 13 y 14 se han reflejado las líneas de isocloruros correspondientes a ambas campañas de muestreo. En Abril-Mayo el contenido en cloruros varía, en el sector nororiental, entre poco más de 200 y 1000 mg/l y en el sector suroccidental, entre casi 600 y más de 1400 mg/l. Se aprecia un incremento en la concentración del ión cloruro hacia la costa, pero sobre todo en dirección Suroeste, próximo al límite del acuífero. En el mes de Septiembre se mantienen las mismas características, sin grandes variaciones en el único sector que se han recibido análisis, el suroccidental, aumentando ligeramente el contenido en cloruros, entre 650 y 1560 mg/l.

En cuanto a las relaciones iónicas de mayor interés para el estudio de la intrusión marina, se puede decir lo siguiente:

La relación rMg/rCa se mantiene entre 1,05 y 1,34, en el sector nororiental, en el mes de Abril, no apreciándose incremento alguno hacia la costa, sino más bien al contrario, una ligera disminución en la zona suroccidental varía entre 0,61 y 1,88 y tampoco se observa una tendencia clara a cambios espaciales. En Septiembre, prácticamente en todas las muestras analizadas se mantiene por debajo del valor 1, excepto en los puntos 2738-40107 y 2738-40028 en los que alcanza respectivamente los valores 1,10 y 2,11.

La relación rSO_4/rCl en la campaña de primavera oscila, en el sector nororiental, entre 1,84 y 0,43, observándose una disminución de este valor hacia las captaciones situadas más próximas a la costa, aunque algún punto del interior presenta también valores bajos, como el 2738-40053 con 0,21. En septiembre, en el sector suroccidental, esta relación varía entre 0,96 y 0,52, apreciándose también una cierta disminución en las captaciones más próximas al mar.

En cuanto a la relación rCl/rCO_3H , en los meses de Abril y Mayo oscila, en el Noreste, entre 1,57 y 11,28, con una tendencia a incrementar su valor en dirección al mar. En el Suroeste varía entre 2,62 y 11,83, aumentando claramente hacia la costa, aunque también lo hace hacia el límite suroccidental del acuífero. El punto 2738-40107 presenta un valor de 833,17, considerado como anómalo por las razones anteriormente comentadas, respondiendo con toda seguridad a alteraciones sufridas en la muestra entre su recogida y el análisis, que han llevado a la pérdida casi total de los bicarbonatos que contenía. En Septiembre, en el Suroeste, esta relación oscila entre 3,28 y 12,31 apreciándose en general la misma tendencia que en los meses de primavera, es decir, un incremento de su valor en dirección a la costa y hacia el límite suroccidental.

Respecto al índice de cambio de bases, en el Noreste, en los meses de Abril y Mayo pasa de valores negativos a positivos rápidamente, en dirección a la costa. En el Suroeste los valores de este índice en casi todos los casos son negativos, salvo en algún punto del extremo suroccidental y cercano a la costa, pero con valores muy bajos. En el mes de Septiembre, no se aprecian variaciones significativas de este índice respecto a los meses de primavera.

En resumen, los aspectos más destacables del estudio hidroquímico son los siguientes:

- La relación rMg/rCa no aporta gran información en cuanto al estudio de la posible intrusión marina del acuífero, ya que sus variaciones espaciales no responden a un comportamiento definido.

- Los parámetros más decisivos para el estudio de la intrusión marina han resultado ser los cloruros, las relaciones rSO_4/rCl , rCl/rCO_3H e i.c.b.

- Respecto a las muestras recogidas en los puntos que captan los tres acuíferos (Cuaternario, Plioceno y Andaluciense) puede considerarse que son representativas del acuífero Andaluciense, pues en todos los casos han sido tomadas después de un cierto período de bombeo y el análisis discriminante efectuado así lo apoya con probabilidades superiores al 80%, excepto en un caso (la muestra recogida en el punto 2837-50046) que por su contenido en nitratos se le asigna al Cuaternario.

6.4.4. Situación de la intrusión marina

En el acuífero Andaluciense del Campo de Cartagena, a pesar de los datos hidroquímicos recogidos, existe la duda de si hay o no una conexión hidráulica con el mar en la zona estudiada, dada la enorme profundidad a la que se encuentra el acuífero bajo

el mar, con un impermeable de techo muy potente (más de 100 m de margas) y cotas del muro impermeable entre -230 y -540 m.r.m. según los sectores. Por otro lado la superficie piezométrica en las proximidades de la costa se sitúa a cotas netamente por debajo del nivel del mar (de -50 a -80 m.r.m.).

En el sector nororiental, entre El Pilar de la Horadada y San Pedro del Pinatar, existe un cierto incremento en el contenido en cloruros, i.b.c. y la relación rCl/rCO_3H , así como paralelamente una disminución de la relación rSO_4/rCl en dirección a la costa. Los valores alcanzados no son en modo alguno motivo de preocupación (poco más de 1000 mg/l de cloruros en el punto 2837-50047), aunque el rápido incremento de los índices característicos de la intrusión marina podría ser indicativo de una relación con el agua del mar; por otro lado, se trata de la zona con piezometría más deprimida (la superficie piezométrica se sitúa a cotas por debajo de los -80 m.r.m.). En este sector, el acuífero se encuentra a una gran profundidad (el techo del mismo entre -250 y -330 m.r.m. y el muro entre -380 y -540 m.r.m.). Es muy posible que la roca permeable que se interna bajo el mar, sea interrumpida en su penetración por una de las fallas que se han detectado en el estudio de "Geometría de los acuíferos del Campo de Cartagena", poniendo aquella en contacto lateral con un tramo margoso impermeable. Sería una falla o grupo de ellas que afecta al Andaluciense y no al Plioceno, como la que limita al acuífero Andaluciense por el Sur.

En cualquier caso no puede asegurarse que no exista una relación directa del agua del acuífero con la del mar, por lo que deberá vigilarse la evolución temporal de algunos puntos en la zona.

En el sector suroccidental del acuífero es donde se dan los mayores contenidos en cloruros, apreciándose en general un incremento en la concentración de este ión hacia el límite Sur del acuífero especialmente y también, aunque con menor

intensidad, hacia la costa. Los valores máximos alcanzados se sitúan próximos a los 1500 mg/l de cloruros y la cota piezométrica se encuentra algo más elevada, en torno a los -50 m.r.m. Aunque en este sector el acuífero se sitúa a menor profundidad que en el sector nororiental (cotas de -160 a -210 m.r.m. para el techo y entre -230 y -300 para el muro) parece que las variaciones espaciales hacia facies más salobres están más en relación con el sentido del flujo del agua subterránea que con una influencia directa del agua marina. En las zonas más próximas a la costa el contenido en cloruros se sitúa sobre los 1000 mg/l y las relaciones iónicas no muestran valores propios de relación con el agua del mar, aunque aumenten en dirección a la costa (por ejemplo, la relación r_{Cl}/r_{CO3H} se sitúa entre 5 y 6 en los puntos más próximos al mar). Únicamente el punto 2838-10011 presenta valores que sí pueden ser indicativos de una posible proximidad de la interfase. Este punto se sitúa entre San Javier y San Pedro del Pinatar, algo más hacia el Noreste que el resto, donde la superficie piezométrica es de -60 a -70 m.r.m. El contenido en cloruros está próximo a los 1500 mg/l y la relación r_{Cl}/r_{CO3H} alcanza el valor 7,67. En resumen, en el sector suroccidental del acuífero, el quimismo parece más condicionado por el movimiento del agua subterránea e incluso, en la zona próxima al límite meridional, por la presencia del impermeable lateral del acuífero, constituido por margas.

En cuanto a la evolución de la calidad del agua en este acuífero, se dispone de datos de 6 años de muestreos periódicos en el punto 2738-40053 perteneciente a la red de calidad establecida por el ITGE (fig. 6.7).

EVOL. DEL CONTENIDO EN CLORUROS

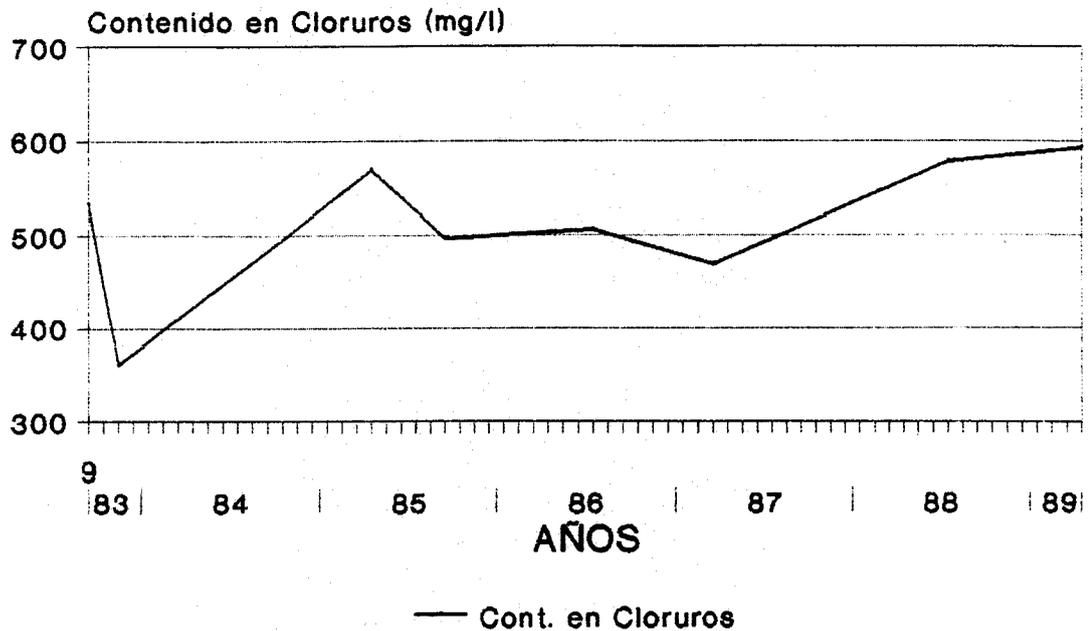


Fig. 6.7 Campo de Cartagena. Acuífero Andaluciense. Evolución del contenido en cloruros en el punto 2738-40053.

Como puede apreciarse, a lo largo de estos 6 últimos años, este punto no ha sufrido grandes variaciones en cuanto al contenido en cloruros, que con ligeras oscilaciones se ha mantenido entre 400 y 600 mg/l. Únicamente se observa una ligera tendencia al aumento a partir del año 1987, de escasa magnitud (130 mg/l en dos años).

A la vista de los resultados obtenidos puede decirse que, en principio, no existe intrusión marina en el acuífero Andaluciense y de existir alguna no parece que vaya a empeorar su calidad a corto o medio plazo por este motivo, pues considerando el continuado ascenso de la superficie piezométrica en los últimos años es probable que se mantenga el equilibrio actual. No obstante deberá vigilarse la evolución hidroquímica en las zonas más próximas al litoral.

6.5. SIERRA DE CARTAGENA

Se sitúa al Sureste del Campo de Cartagena, incluyendo los relieves montañosos de la Sierra de Cartagena, sobre una superficie aproximada de 100 km². Geológicamente se trata del flanco Sur de la fosa-sinclinorio del Campo de Cartagena y presenta una gran complejidad estructural que ocasiona la compartimentación de diversos acuíferos, aún sin estudiar; puesto que posiblemente algunos de estos acuíferos tengan relación hidráulica con el Campo de Cartagena, se ha incluido, para este estudio dentro de dicha unidad hidrogeológica, a la espera de poder tomar una decisión más acertada en el futuro.

Se encuentran representados diversos mantos de corrimiento atribuibles al Complejo Alpujárride y hacia el Este de Cartagena afloran los términos superiores del Complejo Nevado-Filábride, existiendo en toda la zona un gran desarrollo del volcanismo neógeno. Las rocas acuíferas son fundamentalmente calizas y dolomías de edad triásica y con menor importancia también se encuentran mármoles triásicos y arenas y gravas del Cuaternario.

Con unos recursos que se pueden estimar en 5 hm³/año, la descarga del acuífero tiene lugar preferentemente hacia el mar, aunque una pequeña parte pudiera ir al Campo de Cartagena. No existen extracciones importantes de aguas subterráneas y las que hay se concentran en el sector más oriental, próximo a la zona de El Llano del Beal, en la vertiente septentrional de la Sierra. Se trata de varios acuíferos de pequeña entidad, seguramente desconectados hidráulicamente entre sí por la complejidad tectónica existente.

En este sector septentrional de la Sierra se han llevado a cabo 19 medidas de nivel piezométrico (cuadro nº 6.12) sobre un total de 10 puntos, realizándose 9 medidas en el mes de Abril y 10 en el de Septiembre.

Como puede observarse, en algunos puntos la cota de la superficie piezométrica se sitúa por debajo de -150 m.r.m., siendo en casi todos ellos negativos, excepto en el 2839-10016, donde se sitúa a 40 m.s.n.m. y en el que con toda seguridad el acuífero captado se encuentra en conexión con el Cuaternario.

En cuanto a la calidad del agua en estos acuíferos, hay que decir que se dispone de 6 análisis correspondientes a otros tantos puntos muestreados durante el mes de Abril (cuadro nº 6.13). Estas aguas presentan facies hidroquímicas características de las rocas carbonatadas triásicas donde existen evaporitas intercaladas. Así se encuentran aguas desde sulfatadas-cloruradas magnésico cálcicas a claramente cloruradas-sulfatadas mixtas, con predominio de los iones cloro y sodio sobre el resto.

En los puntos 2839-10001, 10004 y 10037, la salinidad varía entre 1300 y 3100 mg/l, siendo el contenido en cloruros de los más bajos encontrados (entre 255 y 570 mg/l). A pesar de la cota negativa del nivel piezométrico en estos puntos (entre -97 y -143 m.r.m.) no muestra ninguno de ellos indicios de relación con el agua del mar. Así por ejemplo la relación r_{Cl}/r_{CO_3H} se mantiene entre 2,12 y 5,01.

Las captaciones situadas más al Este (puntos 2839-10016, 10017 y 20006) presentan salinidades entre 2300 y 3400 mg/l y contenido en cloruros por encima de los 1000 mg/l; en el punto 2839-10016 se alcanzan casi los 1300 mg/l, con un valor de la relación r_{Cl}/r_{CO_3H} de 9,14, aunque aquí es posible que exista una conexión con el Cuaternario. En el punto 2839-20006 la relación r_{Cl}/r_{CO_3H} llega a ser de 13,15 con 1500 mg/l de cloruros, por lo que se podría pensar en una relación con el agua del mar; sin embargo y dado que el conocimiento geométrico de los acuíferos de la zona es escaso, no puede asegurarse esta posibilidad.

En el sector occidental, al Oeste de Cartagena no se ha muestreado ningún punto en esta campaña, ya que las extracciones

Cuadro 6.12

ACUIFERO SIERRA DE CARTAGENA
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:GE40
PERIODO DE CONTROL:27-04-89/08-09-89

N	IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
283910001		156.00	-101.00	28/04/89	E
283910001		146.95	-91.95	07/09/89	E
283910003		155.10	-97.10	28/04/89	E
283910003		150.10	-92.10	07/09/89	E
283910004		136.55	-96.55	28/04/89	E
283910004		132.45	-92.45	07/09/89	E
283910005		195.22	-152.22	28/04/89	E
283910005		193.40	-150.40	07/09/89	E
283910006		193.60	-146.60	28/04/89	E
283910006		190.50	-143.50	07/09/89	E
283910016		24.70	42.30	28/04/89	E
283910016		20.15	46.85	07/09/89	E
283910017		59.85	-19.85	28/04/89	E
283910017		54.40	-14.40	07/09/89	E
283910026		73.40	-23.40	07/09/89	E
283910037		188.80	-143.80	28/04/89	E
283910037		185.10	-140.10	07/09/89	E
283920006		149.25	-109.25	28/04/89	E
283920006		148.30	-108.30	07/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 19
NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
(E=Estatico;R=Recuperando)
(S=Surgente)
(0.01=Punto visitado sin medida)

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad Campo de Cartagena

Acuífero

GE40

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	l. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2839-10001	27-04-89	Reposo	150	-95	3176	570	32,25	1,03	3,94	1,84	0,12
2839-10004	27-04-89	Reposo	238	-198	1368	255	33,32	1,05	2,12	1,53	0,13
2839-10016	27-04-89	Bombee 5 min.	150	-83	3416	1291	65,37	9,14	9,14	0,35	0,22
2839-10017	27-04-89	Reposo	143	-103	3017	1010	58,03	1,48	5,83	0,54	0,2
2839-10037	28-04-89	Reposo	277	-232	1395	463	56,98	1,37	5,01	0,54	0,15
2839-20006	27-04-89	Reposo	210	-170	2326	1200	83,55	1,44	13,51	0,12	0,35

son prácticamente inexistentes; tampoco se dispone de datos hidroquímicos históricos. Sin embargo, dado que las formaciones acuíferas carbonatadas se ponen en contacto directo con el mar a lo largo de la costa entre la playa de La Azohía y Cartagena, y que dichas rocas están muy fracturadas y karstificadas en el caso de un posible aprovechamiento de los recursos en este sector debe tenerse muy en cuenta la gran potencialidad que existe de intrusión marina (SOLIS, L. et. al., 1988).

6.6. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES AGRICOLA Y TURISTICO

En la comarca del Campo de Cartagena existen aproximadamente 40.000 has de regadío, dedicadas principalmente al cultivo del melón, habas, alcachofas, brócoli, hortalizas, pimientos, pimientos de pimentón y cítricos, con gran profusión de invernaderos repartidos por toda la zona que dan lugar abundantes cosechas tempranas.

En 1988, la explotación en los acuíferos del Campo de Cartagena, implicados en el área considerada de este estudio, se distribuía de la siguiente manera: en 21,4 hm³, para el Andaluciense; 12,1 hm³ para el Plioceno y 2,4 hm³ para el acuífero del Cuaternario. Esto hace un total de 35,9 hm³, que atenderían aproximadamente unas 6000 has, aunque en realidad esta última cifra era superior, al existir riegos compartidos con las aguas del Trasvase Tajo-Segura.

En el Campo de Cartagena el riego tiene dos zonas bien diferenciadas: una, al Noroeste del canal del Trasvase Tajo-Segura, donde se riega exclusivamente con aguas subterráneas y otra, a cota más baja que el canal, donde los cultivos reciben aportes de aguas subterráneas y de las aguas del Trasvase. En los alrededores de El Pilar de la Horadada se bombean aguas del trasvase Tajo Segura hacia cotas más altas, práctica que parece se está imponiendo poco a poco a lo largo del canal del Trasvase

con el objeto de dotar de aguas del mismo a cultivos situados hasta la cota 120 m.s.n.m.

Por tanto, en la zona estudiada del Campo de Cartagena, la más próxima al litoral, puede decirse que, en general, la mayoría del riego es compartido y sólo localmente se realiza éste con aguas subterráneas exclusivamente.

Como se ha visto en el presente estudio, el grado de afección de los acuíferos estudiados, en cuanto a intrusión marina se refiere, está en orden inverso a la explotación de los mismos. Es decir el acuífero que está más afectado, el Cuaternario, es el de menor explotación y por el contrario, el de mayor explotación, el Andaluciense, es el que menores indicios se encuentran de estar afectado por la intrusión marina. En consecuencia, no existen grandes problemas derivados de la utilización de aguas subterráneas para regadío.

Dada la muy posible desconexión de las aguas del acuífero Andaluciense con el mar y en base a los datos de calidad de sus aguas, con una aptitud para regadío entre aceptable a mediocre, puede afirmarse que en la práctica no existe incidencia alguna sobre el sector agrícola.

En cuanto al acuífero del Plioceno puede existir algún problema local en las zonas donde se han detectado evidencias o indicios de intrusión marina. En concreto la zona al Oeste de Torre Pacheco (intrusión marina fósil), la zona entre esta localidad y Los Alcázares y con menor importancia, la zona Noreste entre San Javier y El Pilar de la Horadada. Como en estos lugares existen riegos compartidos con aguas del Trasvase Tajo-Segura, la posible incidencia de la intrusión sobre el sector agrícola se minimiza notablemente.

En el acuífero Cuaternario ocurre algo similar a lo que se acaba de comentar para el Plioceno. Las zonas donde podrían

presentarse problemas por la utilización de estas aguas de mala calidad (llegando a ser inútiles para riego, con elevados valores del índice S.A.R. y presentando peligro elevado a elevadísimo de salinización y alcalinización del suelo) se riegan mayoritariamente con aguas del Trasvase, por lo que sólo muy localmente pueden originarse problemas en los cultivos.

Por último, en cuanto al sector turístico se refiere, el Campo de Cartagena cuenta con una población en los meses de verano próxima a los 500.000 habitantes, de los cuales cerca de los 200.000 se localizan en la zona turística de La Manga. En el resto del año se reduce justamente a la mitad. Dado que en la actualidad el abastecimiento a estas zonas se realiza fundamentalmente con aguas procedentes de la Mancomunidad de Canales del Taibilla y en ningún caso con las aguas subterráneas de la comarca, la incidencia de un posible fenómeno de intrusión marina es prácticamente nula.

7. ACUIFERO DE CABO ROIG

7.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

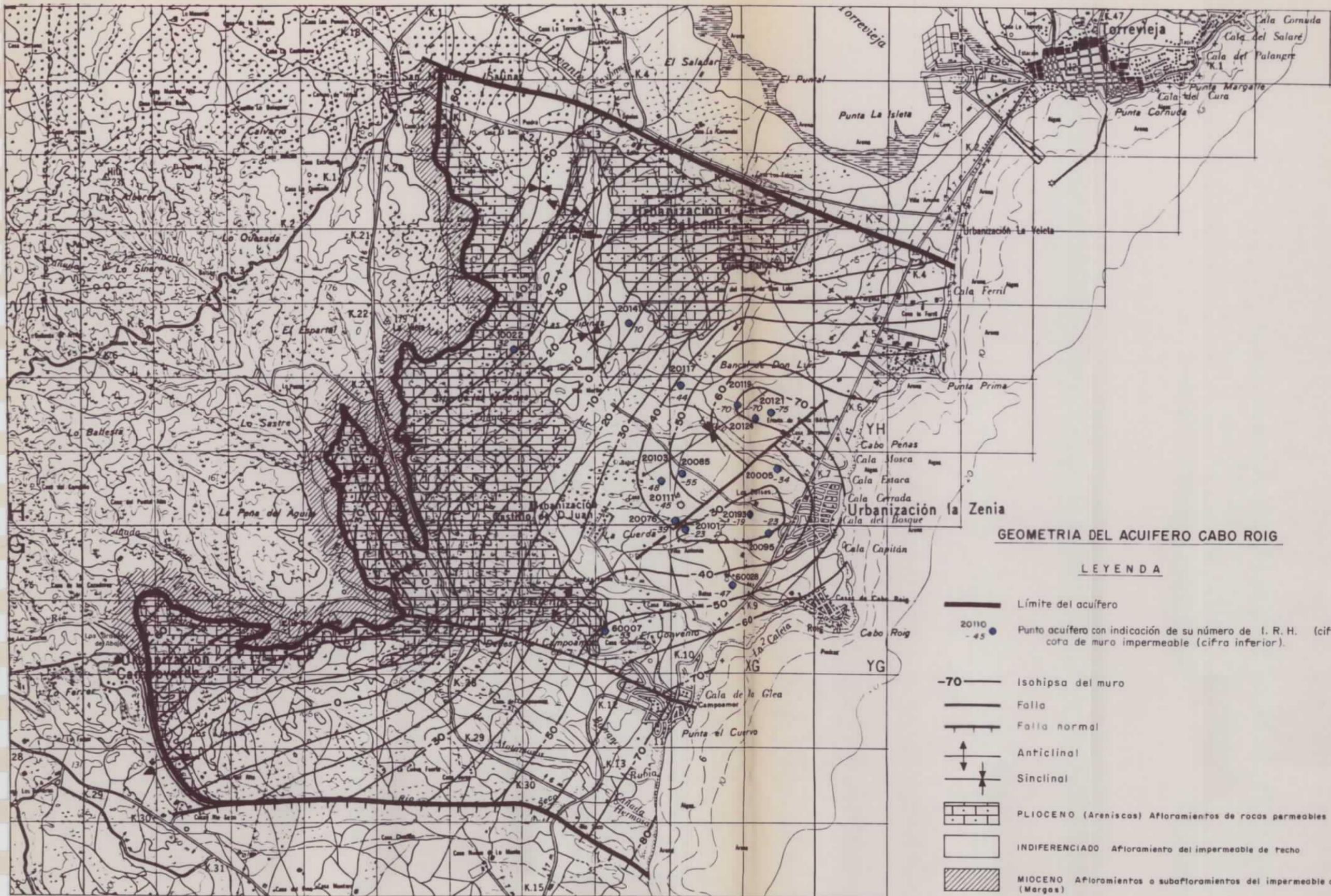
La definición geométrica del acuífero de Cabo Roig ha sido objeto de un reciente trabajo realizado por el ITGE, dentro de las actividades de asesoramiento a organismos de cuenca y comunidades autónomas, en el que se describió como acuífero independiente. Por lo tanto, en el presente estudio sólo se van a destacar sus características más importantes referentes a la posición y morfología del muro impermeable.

El acuífero del Plioceno de Cabo Roig, ocupa la zona costera situada en el extremo meridional de la provincia de Alicante, entre la urbanización La Veleta y la Rambla del Río Seco, sobre una extensión de 61 km².

De similares características que el Plioceno de Cartagena, este acuífero está constituido por areniscas del Plioceno inferior que poseen una potencia de 15 a 20 m en la zona occidental del acuífero, y los casi 100 m, en la oriental con una media de 70 m. A techo de esta formación de areniscas se encuentra un nivel de margas del Plioceno superior, con espesores que pueden alcanzar los 80 m. El impermeable de muro lo constituyen las margas del Mioceno superior.

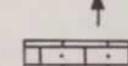
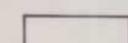
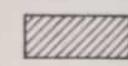
La zona se encuentra afectada por una tectónica reciente que ha originado una serie de accidentes, principalmente fracturas, cuya importancia en la geometría del acuífero pliocénico ha sido determinante.

Los límites del acuífero de Cabo Roig quedan definidos de la siguiente forma (figura 7.1): por el Norte, desde la



GEOMETRIA DEL ACUIFERO CABO ROIG

LEYENDA

-  Límite del acuífero
-  Punto acuífero con indicación de su número de I. R. H. (cifra superior) y cota de muro impermeable (cifra inferior).
-  -70 Isohipsa del muro
-  Falla
-  Falla normal
-  Anticlinal
-  Sinclinal
-  PLIOCENO (Areniscas) Afloramientos de rocas permeables
-  INDIFERENCIADO Afloramiento del impermeable de techo
-  MIOCENO Afloramientos o subafloramientos del impermeable de base (Mergos)



Hoja topográfica 28-37

Fig. 7.1

Urbanización La Veleta hasta San Miguel de Salinas, el límite del acuífero discurre por la traza de la falla de San Miguel, que desconecta las areniscas pliocénicas del sector de Cabo Roig de las del sector de Torrevieja, que se encuentran más hundidas. El límite occidental viene definido por el contacto de las areniscas del Plioceno inferior con el impermeable de base, el cual aflora desde las inmediaciones de San Miguel de Salinas hasta Los Gracias de Abajo. Desde este último sector, y hasta Las Casas de Río Seco, el límite coincide con el tramo final del eje de un anticlinal de dirección casi Norte-Sur que en esta zona actúa como umbral hidrogeológico. Este anticlinal está interrumpido por una falla de dirección casi Oeste-Este, cuya traza discurre aproximadamente paralela al cauce del Río Seco hasta el mar. Esta importante falla, con un salto mínimo estimado de 30 m, aísla el Plioceno de Cabo Roig del Plioceno del Campo de Cartagena, que se encuentra más hundido, actuando como límite del acuífero en el Sur.

Pero si las fracturas han jugado un papel decisivo en el establecimiento de los límites, contribuyendo a independizar el sector de Cabo Roig de los situados al Norte y al Sur, también han condicionado el depósito de los materiales permeables en las zonas del interior. Así por ejemplo, se observa un importante surco en la zona de Cañada de la Estaca situada a 1,5 km al Oeste de la Ermita de Santa Bárbara, donde las areniscas del Plioceno alcanzan espesores de más de 80 m, con una cota del muro impermeable que se sitúa entre -50 y -70 m.r.m. Este surco está condicionado por la presencia de una fractura, de dirección NE-SO, que propicia el hundimiento de esta zona respecto de la situada en el paraje de Los Dolses, justamente al Oeste de la Urbanización La Zenia. En este último sector las areniscas tienen una potencia de 40 m, encontrándose el muro impermeable entre -30 y -40 m.r.m.

Por último, en la figura 7.1 se observa que en una extensa zona paralela a la costa, el muro impermeable del

acuífero se encuentra por debajo del nivel del mar, situándose la isohipsa de cota cero a una distancia entre 3 y 4 km de la costa. Precisamente a lo largo de esta franja se concentran la mayoría de las captaciones del acuífero.

7.2. PIEZOMETRIA

En el acuífero de Cabo Roig se han realizado dos campañas piezométricas, una en los meses de Primavera (Abril-Mayo) y otra en el mes de Agosto, con un total de 40 medidas de nivel (26 en Primavera y 14 en Agosto). Los resultados de estas campañas se reflejan en el cuadro nº 7.1, así como en los planos de isopiezas correspondientes (figuras 7.2 y 7.3).

La superficie piezométrica, correspondiente a la campaña de Primavera, acusa una gran depresión a lo largo de cierta franja paralela a la costa con 8 km de largo por 1,5 a 2,5 km de anchura. Al Este de la misma se aprecia un flujo de Oeste a Este pasando de tener cotas de 18 m.s.n.m. en la Urbanización Los Balcones, a presentar -18 m.r.m. entre Campoamor y Cañada Hermosa; al Oeste de la zona piezométrica deprimida, el flujo es del mar hacia el interior. En esta zona, que se extiende desde el Bancal de Don Luis hasta Cañada Hermosa, se alcanzan cotas negativas próximas a -20 m.r.m. provocadas por la intensa explotación a que está sometido el acuífero, haciendo que el nivel piezométrico se mantenga constantemente a cotas negativas. Al Oeste de Punta Prima parece existir una zona de umbral en la superficie piezométrica, que vuelve a situarse en cotas negativas al acercarse al extremo nororiental.

En la campaña de Agosto la morfología de las isopiezas es muy similar a la de primavera, con la diferencia de que en verano los niveles están de 2 a 3 m más bajos.

ACUIFERO DE CABO ROIG
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:4812

PERIODO DE CONTROL:01-03-89/01-09-89

N	IRH	PNP(m)	PNP(m)	FECHA OBSERVACIONES
283710013	36.58	88.42	14/03/89	E
283710013	0.01	0.01	09/08/89	
283720001	39.15	-5.15	17/04/89	E
283720002	31.48	-0.48	13/03/89	E
283720002	0.01	0.01	07/08/89	
283720005	28.28	-1.28	10/05/89	E
283720005	28.13	-1.13	07/08/89	E
283720007	35.50	-5.50	08/03/89	E
283720007	36.09	-6.09	09/08/89	E
283720010	71.37	-25.37	20/04/89	E
283720010	89.60	-43.60	08/08/89	D
283720011	45.40	-14.40	08/03/89	E
283720011	0.01	0.01	09/08/89	
283720014	53.28	-1.28	17/04/89	E
283720015	67.30	-17.30	14/03/89	E
283720015	0.01	0.01	09/08/89	
283720019	78.95	-38.95	20/04/89	D
283720030	66.70	-6.70	10/05/89	D
283720030	0.01	0.01	07/08/89	
283720037	40.74	2.26	19/04/89	E
283720037	40.57	2.43	09/08/89	R
283720039	52.24	-9.24	19/04/89	D
283720039	56.76	-13.76	07/08/89	D
283720043	33.37	0.63	19/04/89	E
283720043	33.29	0.71	08/08/89	E
283720058	20.40	10.60	12/04/89	E
283720058	25.00	6.00	18/08/89	D

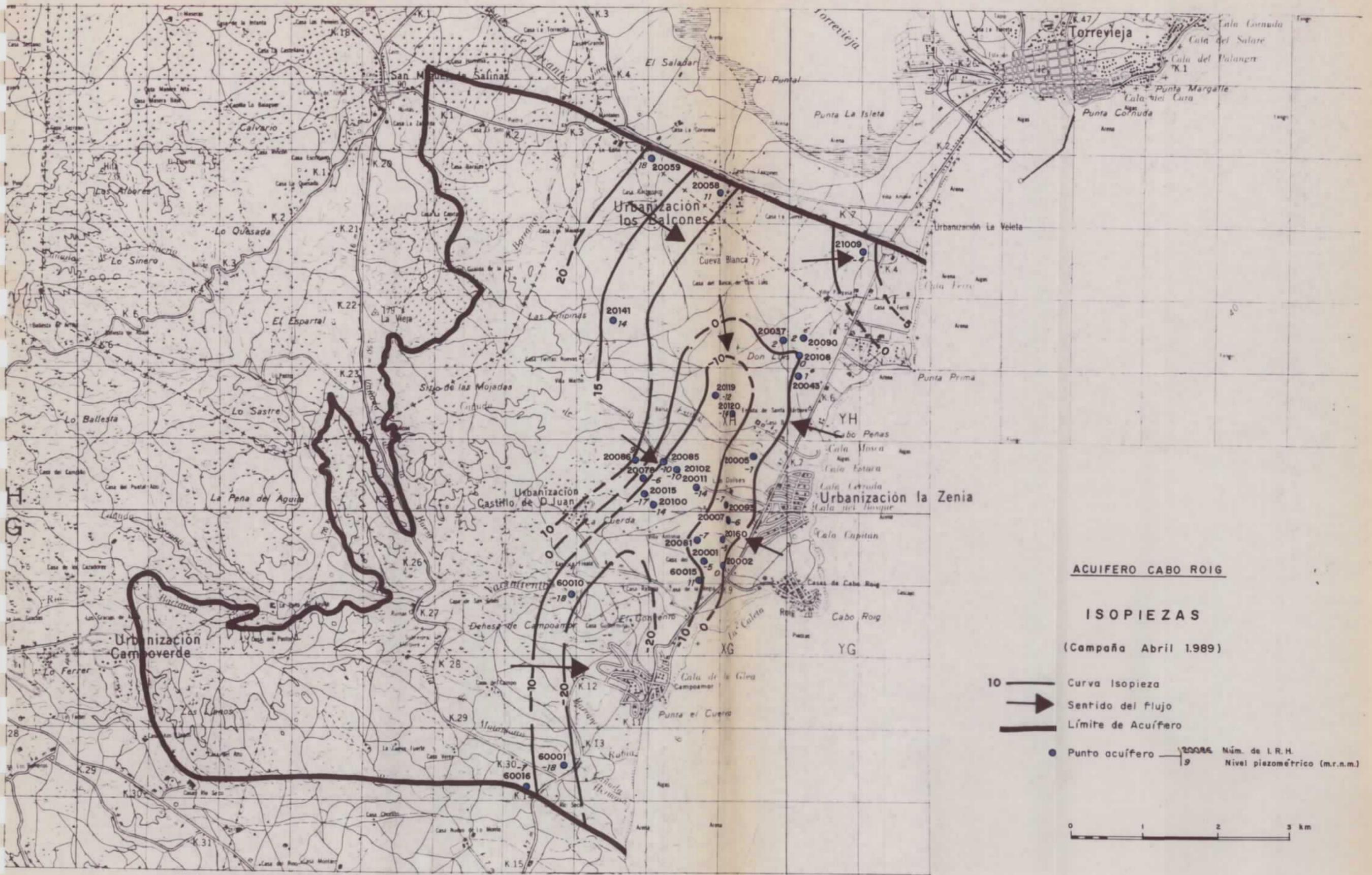
283720059	22.24	17.76	18/04/89	E
283720076	53.16	-2.16	18/04/89	E
283720076	54.47	-3.47	07/08/89	E
283720078	51.47	-6.47	17/04/89	E
283720079	56.39	-11.39	28/03/89	E
283720079	60.41	-15.41	09/08/89	A
283720081	50.25	-7.25	18/04/89	E
283720081	0.01	0.01	07/08/89	
283720083	51.08	-7.08	18/04/89	D
283720085	55.61	-10.61	17/04/89	E
283720085	56.04	-11.04	08/08/89	E
283720086	49.12	9.88	18/04/89	E
283720086	52.54	6.46	07/08/89	E
283720088	38.93	-0.93	28/03/89	E
283720089	38.60	-3.60	20/04/89	E
283720089	0.01	0.01	07/08/89	
283720090	32.83	2.17	17/04/89	E
283720090	33.40	1.60	07/08/89	E
283720093	28.70	-7.70	21/04/89	E
283720099	54.18	-9.18	20/04/89	E
283720099	0.01	0.01	07/08/89	
283720100	63.65	-13.65	20/04/89	E
283720101	65.46	-20.46	17/04/89	E
283720102	50.88	-10.88	18/04/89	E
283720102	0.01	0.01	08/08/89	
283720105	35.53	-0.53	20/04/89	E
283720108	33.16	-0.16	19/04/89	E
283720109	23.42	-4.42	19/04/89	E
283720109	0.01	0.01	08/08/89	
283720111	61.01	-16.01	20/04/89	D
283720113	48.53	-3.53	20/04/89	E
283720113	47.52	-2.52	09/08/89	E

Cuadro 7.1 (Cont.)

283720117	82.92	-26.92	21/04/89	D
283720117	50.41	5.59	08/08/89	E
283720118	54.30	-16.30	21/04/89	D
283720118	53.45	-15.45	08/08/89	D
283720119	52.80	-12.80	20/04/89	E
283720120	51.20	-14.20	21/04/89	E
283720120	0.01	0.01	09/08/89	
283720121	48.44	-12.44	21/04/89	E
283720122	53.76	-17.76	21/04/89	E
283720124	52.60	-22.60	20/04/89	E
283720124	0.01	0.01	09/08/89	
283720141	55.48	14.52	22/05/89	E
283720141	66.20	3.80	09/08/89	D
283760001	43.35	-18.35	17/04/89	E
283760001	45.25	-20.25	11/08/89	E
283760006	36.41	-17.41	14/04/89	D
283760006	0.01	0.01	11/08/89	
283760010	38.51	-18.51	14/04/89	E
283760015	44.37	-11.37	08/03/89	E
283760015	0.01	0.01	07/08/89	
283760016	45.60	-6.60	19/04/89	E
283760016	100.00	-61.00	19/04/89	D

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 67
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 14

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)



Hoja topográfica 28-37

69

Fig. 7.2

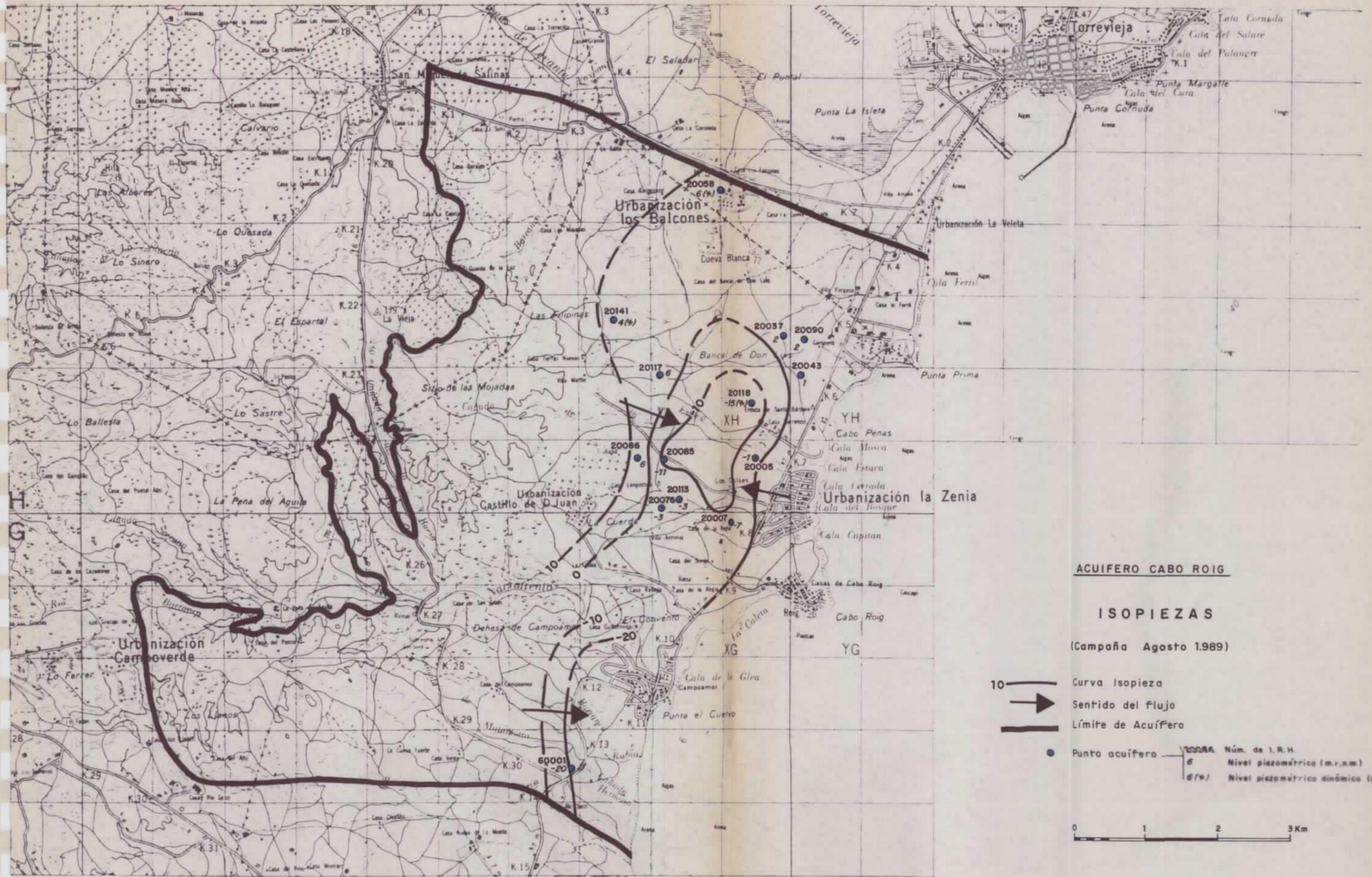
ACUIFERO CABO ROIG

ISOPIEZAS

(Campaña Abril 1989)

- 10 ——— Curva isopieza
- Sentido del flujo
- Límite de Acuífero
- Punto acuífero — 20059 Núm. de I.R.H.
19 Nivel piezométrico (m.r.n.m.)





Hoja topográfica 28-37

ACUIFERO CABO ROIG

ISOPIEZAS

(Campaña Agosto 1989)

- 10 ——— Curva isopieza
- Sentido del flujo
- Límite de Acuífero

- Punto acuífero
- 10000 Núm. de I.R.H.
- 6 Nivel piezométrico (m.r.n.m.)
- 6(%) Nivel piezométrico dinámico (m.r.n.m.)

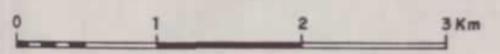


Fig. 7.3

7.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

En el acuífero de Cabo Roig se han realizado dos campañas de muestreo, en Abril y Agosto de 1989, sobre las que se han recogido un total de 56 muestras, correspondiendo 25 a la campaña de Abril y 31 a la de Agosto. Además se han muestreado 4 puntos con hidrocaptor a distintas profundidades. Los resultados más destacables se han reflejado en el cuadro nº 7.2, donde figuran también las principales características de los puntos muestreados.

Del estudio de los análisis se pone de manifiesto el carácter dominante del ión cloruro en la totalidad de las muestras, con porcentajes en meq/l del 60 al 80% que en ocasiones superan el 90%. Así, las facies hidroquímicas encontradas son cloruradas en cuanto a aniones, que tienden a ser cloruradas bicarbonatadas y/o sulfatadas hacia los límites del acuífero. Respecto a los cationes el dominante es el sodio, con porcentajes en meq/l entre 40 y 60%, siguiéndole en importancia el magnesio y después el calcio. Las facies, referidas a cationes, son sódico magnésicas a mixtas, con porcentajes de meq/l de magnesio casi siempre superiores a los del calcio. No se observan cambios, en estas facies, de una a otra campaña.

En base a los datos recogidos se han confeccionado los mapas de isocloruros correspondientes a ambas campañas (figuras 7.4 y 7.5). En Abril los contenidos de este ión oscilan entre los 171 mg/l del punto 2837-20071, situado al Norte del paraje del Convento, y los 4520 mg/l del punto 2837-20090, al Oeste de Punta Prima. De la observación de la figura 7.4 pueden apreciarse claramente dos zonas en las que la concentración de este ión es bastante más elevada que en el resto. Se trata de la zona situada 1 km al Oeste de Punta Prima y donde en el mes de Abril se dan las concentraciones más altas, y de la zona comprendida entre los parajes de Los Dolses y La Cuerda, distante entre 1 y 2 km al Oeste de la Urbanización La Zenia, donde también se alcanzan

Cuadro 7.2

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad Campo Cartagena

Acuífero Cabo Roig

4812

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	l. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2837-20001	20-04-89	Bombea	44	-10	7501	4209	87,02	1,3	59,84	0,13	0,57
2837-20001	20-04-89	Bombea 5 min.	"	"	3124	1618	84,96	1,42	13,25	0,09	0,42
2837-20001	9-08-89	Bombea 15 min.	"	"	7822	4420	89,85	1,19	48,43	0,09	0,40
2837-20005	7-08-89	Reposo	66	-39	3131	1660	86,93	1,7	13,1	0,06	0,36
2837-20007	9-08-89	Reposo	60	-30	1904	840	76,19	0,97	5,64	0,09	0,26
2837-20010	17-04-89	Bombea	120	-74	519	171	59,48	1,93	1,96	0,12	0,18
2837-20010	8-08-89	Bombea 4 meses	"	"	1875	860	77,36	1,27	6,49	0,1	0,39
2837-20014	10-08-89	Bombea 5 horas	80	-28	782	252	57,58	1,18	2,06	0,2	0,24
2837-20019	20-04-89	Bombea	90	-50	1830	841	77,84	2,09	6,76	0,11	0,14
2837-20037	9-08-89	Reposo	82	-44	1088	280	48,1	1,73	1,97	0,47	-0,16
2837-20039	19-04-89	Bombea 1 hora	85	-41	1427	554	67,26	1,37	5,78	0,17	0,2
2837-20039	7-08-89	Bombea 4 horas	"	"	1502	540	63,19	1,16	4,3	0,18	0,22
2837-20055	17-04-89	Bombea	37	5	3430	1037	54,26	1,29	6,66	0,53	0,03
2837-20058	13-04-89	Bombea 1 hora	20,65	10	1409	599	71,12	1,26	4,77	0,18	0,39
2837-20059	18-04-89	Bombea	27	8	2131	800	64,03	1,49	8,19	0,4	0,24
2837-20071	18-04-89	Bombea 4 horas	103	-56	509	171	60,0	1,76	1,95	0,11	0,23
2837-20072	18-04-89	Bombea 3 horas	80	-28	811	269	59,03	1,58	2,24	0,19	0,23
2837-20076	7-08-89	Bombea 10 min.	90	-39	17961	11560	99,1	1,23	1983,45	0,01	0,53
2837-20081	27-09-89	Hidrocaptor 56 m.	70	-27	2004	803	71,66	0,94	8,80	0,17	0,3
2837-20081	27-09-89	" 61 m.	"	"	2287	790	61,74	0,89	6,86	0,14	0,29
2837-20081	27-09-89	" 62 m.	"	"	2299	784	60,9	0,95	7,17	0,16	0,31
2837-20083	18-04-89	Bombea 6 horas	73	-29	1603	557	61,49	1,34	4,3	0,12	0,36

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Cabo Roig

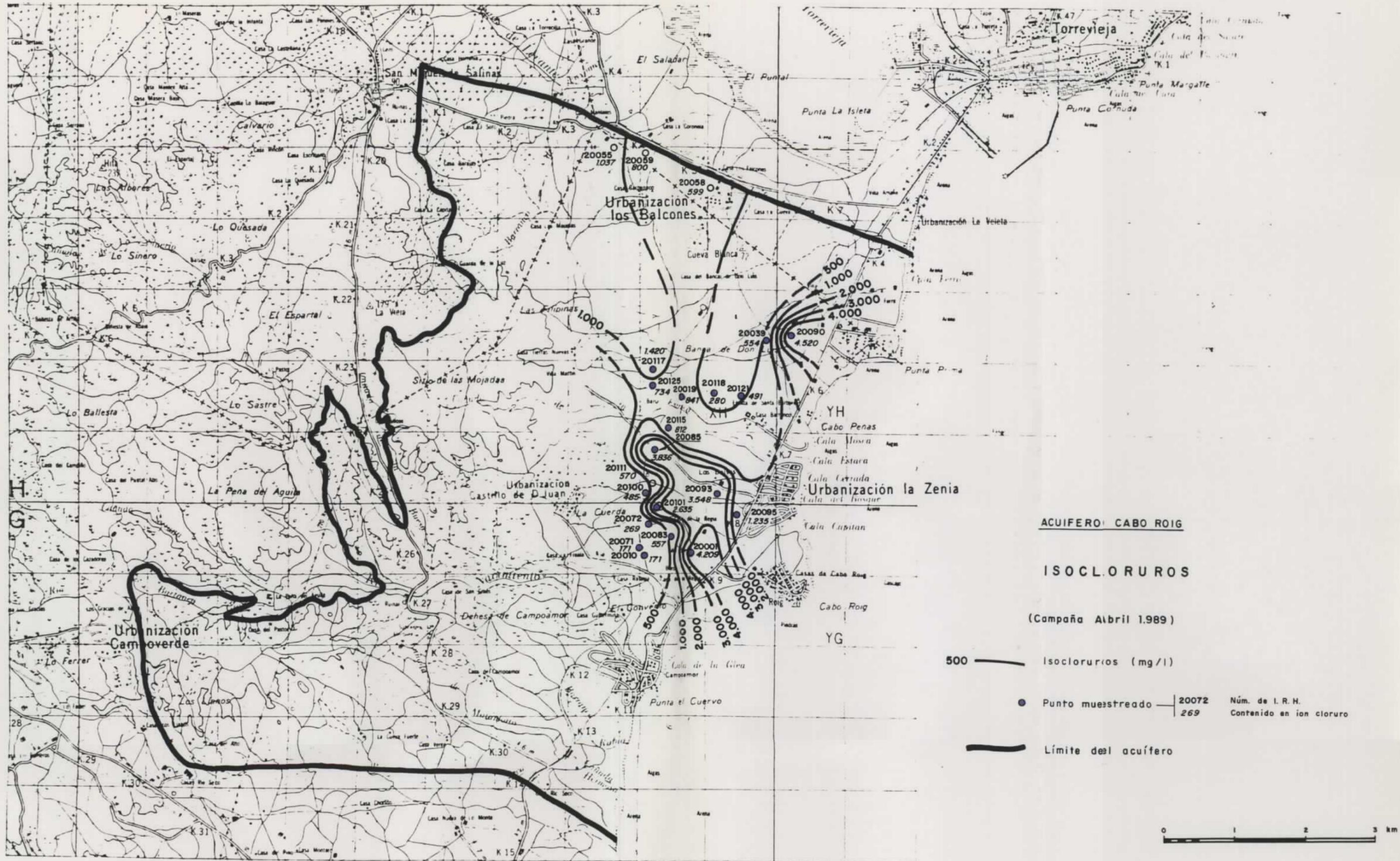
4812

N ^o I. R. N.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	l. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2837-20084	11-08-89	Bombea	--	--	1167	430	64,89	1,4	2,94	0,15	0,2
2837-20085	17-04-89	Reposo	102	-57	7038	3836	90,08	1,41	61,67	0,08	0,2
2837-20085	8-08-89	Reposo	"	"	1820	705	67,62	1,25	4,15	0,13	0,2
2837-20085	27-09-89	Hidrocaptor 65 m.	"	"	1629	620	66,83	1,19	3,98	0,1	0,19
2837-20085	27-09-89	" 80 m.	"	"	11761	6580	89,58	1,5	54,68	0,1	0,29
2837-20085	27-09-89	" 95 m.	"	"	15358	8540	89,15	1,55	72,01	0,11	0,3
2837-20089	7-08-89	Bombea 7 horas	50	-15	2503	1087	73,76	1,22	8,24	0,17	0,27
2837-20090	17-04-89	Reposo	50	-15	8285	4520	90,76	1,61	127,47	0,09	0,3
2837-20090	27-09-89	Hidrocaptor 40 m.	"	"	247	38	30,67	0,37	0,7	0,7	0,0
2837-20090	27-09-89	" 44 m.	"	"	245	37	30,15	0,32	0,64	0,7	-0,02
2837-20090	27-09-89	" 48 m.	"	"	244	38	31,2	0,32	0,67	0,66	-0,04
2837-20093	21-04-89	Bombea	45	-24	6953	3548	85,84	1,59	17,24	0,09	0,17
2837-20095	21-04-89	Bombea	70	-55	2453	1235	82,75	1,25	10,12	0,1	0,36
2837-20099	20-04-89	Bombea	110	-65	6640	3730	90,38	1,61	35,85	0,08	0,33
2837-20100	20-04-89	Bombea	78	-28	1240	485	67,99	1,42	4,21	0,17	0,27
2837-20101	17-04-89	Bombea	70	-25	4704	2635	89,54	2,02	38,09	0,08	0,42
2837-20111	20-04-89	Bombea 15 min.	90	-45	1377	570	69,92	1,49	4,02	0,16	0,32
2837-20113	9-08-89	Bombea 5 min.	60	-15	6160	3257	86,45	1,14	29,49	0,11	0,29
2837-20115	20-04-89	Bombea 20 días	113	-64	1874	812	74,6	1,46	4,87	0,1	0,23
2837-20117	21-04-89	Bombea 12 horas	100	-44	2749	1420	85,99	1,83	13,28	0,07	0,30
2837-20017	8-08-89	Bombea 10 min.	"	"	2707	1250	78,91	1,58	7,68	0,1	0,18
2837-20118	21-04-89	Bombea 30 min.	90	-52	1081	380	62,79	1,38	2,51	0,15	0,11

Cuadro 7.2 (Cont.)

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOSUnidad Campo CartagenaAcuífero Cabo Roig 4812

N ^o	I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
				Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2837-20118		8-08-89	Bombea 2 horas	90	-52	894	304	61,11	1,52	2,31	0,13	0,14
2837-20121		21-04-89	Bombea	110	-74	1279	491	67,25	1,67	3,08	0,15	0,15
2837-20122		21-04-89	Bombea	92	-56	1016	416	71,09	2,03	4,02	0,13	0,18
2837-20125		21-04-89	Bombea 30 min.	75	-19	1675	734	74,95	1,82	5,03	0,11	0,19
2837-20134		27-09-89	Hidrocaptor 51 m.	60	-20	2144	614	53,44	0,87	5,93	0,49	0,06
2837-20134		27-09-89	" 55 m.	"	"	2009	610	53,92	1,58	6,17	0,48	0,08
2837-20134		27-09-89	" 60 m.	"	"	2042	620	53,98	1,58	6,39	0,49	0,07
2837-21141		9-08-89	Bombea 1 hora	178	-108	2764	1250	77,90	2,51	8,67	0,12	0,19
2837-20152		18-08-89	Bombea 10 min.	100	-60	4942	1340	47,5	1,13	9,0	0,98	0,05
2837-60007		11-08-89	Bombea 10 min.	80	-56	941	286	53,89	1,44	2,09	0,35	0,29
2837-60010		11-08-89	Bombea 5 min.	65	-45	526	152	52,64	1,27	1,47	0,17	0,3
2837-60016		19-04-89	Bombea	150	-130	1324	349	47,23	1,53	2,69	0,74	0,05
2837-60016		22-09-89	Reposo	"	"	1366	306	41,5	1,28	1,79	0,85	-0,19
2837-60024		11-08-89	Bombea 5 horas	--	--	1928	553	51,64	1,15	2,96	0,59	-0,06



ACUIFERO CABO ROIG

ISOCLORUROS

(Campaña Abril 1989)

500 — Isocloruros (mg/l)

● Punto muestreado — 20072 Núm. de I.R.H.
269 Contenido en ion cloruro

— Límite del acuífero

Hoja topográfica 28-37

Fig. 7.4

contenidos en cloruros en torno a los 4000 mg/l. En ambas zonas se da una gran concentración de captaciones.

En Agosto (figura 7.5) el contenido en cloruros aumenta espectacularmente en la zona entre Los Dolses y La Cuerda, alcanzándose en el punto 2837-20076 más de 11000 mg/l. Exceptuando esta zona, en el resto se observan concentraciones similares a las del mes de Abril, si bien en la zona situada al Oeste de Punta Prima no se ha podido confirmar tal hecho por imposibilidad de tomar muestras en los mismos puntos que en Abril.

En la zona situada al Norte, junto al límite con el acuífero de Torre Vieja, los resultados de las muestras recogidas en tres captaciones ponen de manifiesto que la baja calidad del agua en esa zona se debe más a la presencia de margas con yesos en el techo del acuífero que a una relación con el agua del mar, por el carácter clorurado sulfatado de sus facies hidroquímicas.

En cuanto a las variaciones del contenido en cloruros con la profundidad se han muestreado 4 puntos con hidrocaptor en la campaña de Agosto, dos de ellos situados en la zona occidental de La Zenia y los otros dos al Oeste de Punta Prima, es decir en los dos lugares donde existen mayores problemas de intrusión marina. Como se observa en el cuadro nº 7.2, en tres de los puntos muestreados no se aprecia prácticamente variación alguna en el contenido de cloruros con la profundidad, debido a la escasa longitud vertical de muestreo; sin embargo en el punto 2837-20085 la variación encontrada es espectacular, incrementándose el contenido en cloruros de 620 a más de 8500 mg/l, en tan solo 30 m de profundidad.

En lo que se refiere a las relaciones iónicas se observa lo siguiente: la relación rMg/rCa se mantiene entre 1 y 2 prácticamente en todos los puntos muestreados, tanto en Abril como en Agosto, no aportando ninguna información sobre los

posibles sectores más afectados por la intrusión, ya que no sigue una correlación con el contenido en cloruros.

Por otra parte la relación rCl/rCO_3H presenta una amplia gama de valores, pero en general se observa un claro incremento en las captaciones más próximas a la costa. Los máximos de esta relación se dan en la zona entre Los Dolces y La Cuerda, y al Oeste de Punta Prima. Es curioso destacar cómo el valor de esta relación aumenta de forma brusca del interior hacia las dos zonas mencionadas pasando de valores entre 2 y 5 a más de 50 para volver a descender cerca de la costa hasta situarse entre 10 y 20.

La relación rSO_4/rCl , en ambas campañas muestra el mismo comportamiento: desciende en dirección a la costa con unos valores mínimos en las zonas en que la relación rCl/rCO_3H es máxima; es decir, que se observa una correlación negativa entre estos dos índices, lo que dado el carácter predominante del ión cloruro frente al sulfato y bicarbonato, es completamente lógico.

El índice de cambio de bases muestra en general valores bastante elevados, aumentando en dirección a la costa y de manera especial en las dos zonas más afectadas por la intrusión marina.

En resumen, las relaciones iónicas estudiadas no presentan variaciones importantes entre las campañas de muestreo, excepto la relación rCl/rCO_3H que aumenta de manera muy brusca en Agosto para algunos puntos muy concretos. Exceptuando la relación rMg/rCa que no muestra variabilidad espacial alguna, en las demás se aprecia un espectacular cambio en la zona occidental de La Zenia que se atenúa en dirección a la costa, aunque mostrando valores también indicativos de intrusión marina. Todo esto tiene que ver con la forma en domo con que se produce la intrusión en la zona entre Los Dolces y La Cuerda.

Las determinaciones del total de sales disueltas y la conductividad siguen una estrecha correlación con todo lo dicho para el contenido en cloruros y los índices rCl/rCO_3H , rSO_4/rCl e i.c.b. Así, la salinidad (expresada como total de sales disueltas) presenta un máximo en Agosto en el punto 2837-20076 con casi 18000 mg/l y de 15000 mg/l en el punto 2837-20085, ambos en el sector situado al Oeste de la Zenia, a 2,2 km de la costa. En general la salinidad encontrada supera casi siempre los 1000 mg/l, situándose entre 2000 y 3000 mg/l en promedio y elevándose de manera espectacular de Abril a Agosto, donde en algunas captaciones se duplica o incluso se triplica el contenido en sales disueltas.

Por último, hay que destacar la paradoja que existe en las captaciones situadas a menos de 500 m de distancia del mar, en el sector de Los Dolses y La Cuerda. Los sondeos que rodean esta zona por el Norte, Oeste y Sur no muestran en absoluto índices de intrusión marina, a pesar de encontrarse a escasa distancia del mar. Algo similar ocurre al Este en las captaciones próximas a la costa, aunque aquí los parámetros indicativos de intrusión marina muestran una clara proximidad de la interfase. Este hecho está en relación directa con los caudales extraídos por cada captación y con las deformaciones que sufre la superficie de la interfase en este sector, como se analizará más en detalle en el siguiente apartado.

7.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

El acuífero de Cabo Roig presenta actualmente un avanzado proceso de intrusión marina, como lo demuestran claramente los resultados del estudio hidroquímico. Esta situación, que se viene agravando desde hace cinco años de forma importante, ha provocado el abandono de numerosas captaciones a causa del deterioro de la calidad producido por el exceso de salinidad de sus aguas.

Entre los principales factores que han favorecido esta situación se encuentra el hecho de que se trata de un acuífero ampliamente comunicado con el mar a lo largo de unos 12 km de costa, de forma que los subafloramientos de éste bajo el Mediterráneo se sitúan entre -40 y -80 m.r.m., encontrándose tanto el techo como el muro del acuífero a cotas negativas y en una franja de más de 1 km de anchura, paralelamente a la costa.

Por otro lado, los recursos del acuífero, estimados en 1,3 hm³/año, son inferiores a la explotación, que en 1988 fue de 6,3 hm³, con lo que las salidas ocultas al mar serían prácticamente inexistentes.

El problema se acentúa en los meses de primavera y verano (con escasa o nula recarga), cuando comienzan a funcionar gran parte de las captaciones, a veces de forma ininterrumpida. Es entonces cuando se produce un avance de la interfase, que en estas condiciones tiende a ser horizontal, con una extensa zona de mezcla.

Esto es lo que viene sucediendo en la zona situada al Oeste de La Zenia, donde la depresión provocada en la superficie piezométrica, por la acción de los bombeos, ha producido un flujo de agua del mar hacia el interior a favor de un gradiente piezométrico inverso permanente en esta zona.

Este fenómeno se ha esquematizado en la figura 7.6; se han representado la superficie piezométrica, el contenido en cloruros encontrado en dos captaciones en las que se han tomado muestras en reposo (en el punto 2837-20085 con hidrocaptor a tres rentes) y una superficie teórica representativa de la interfase.

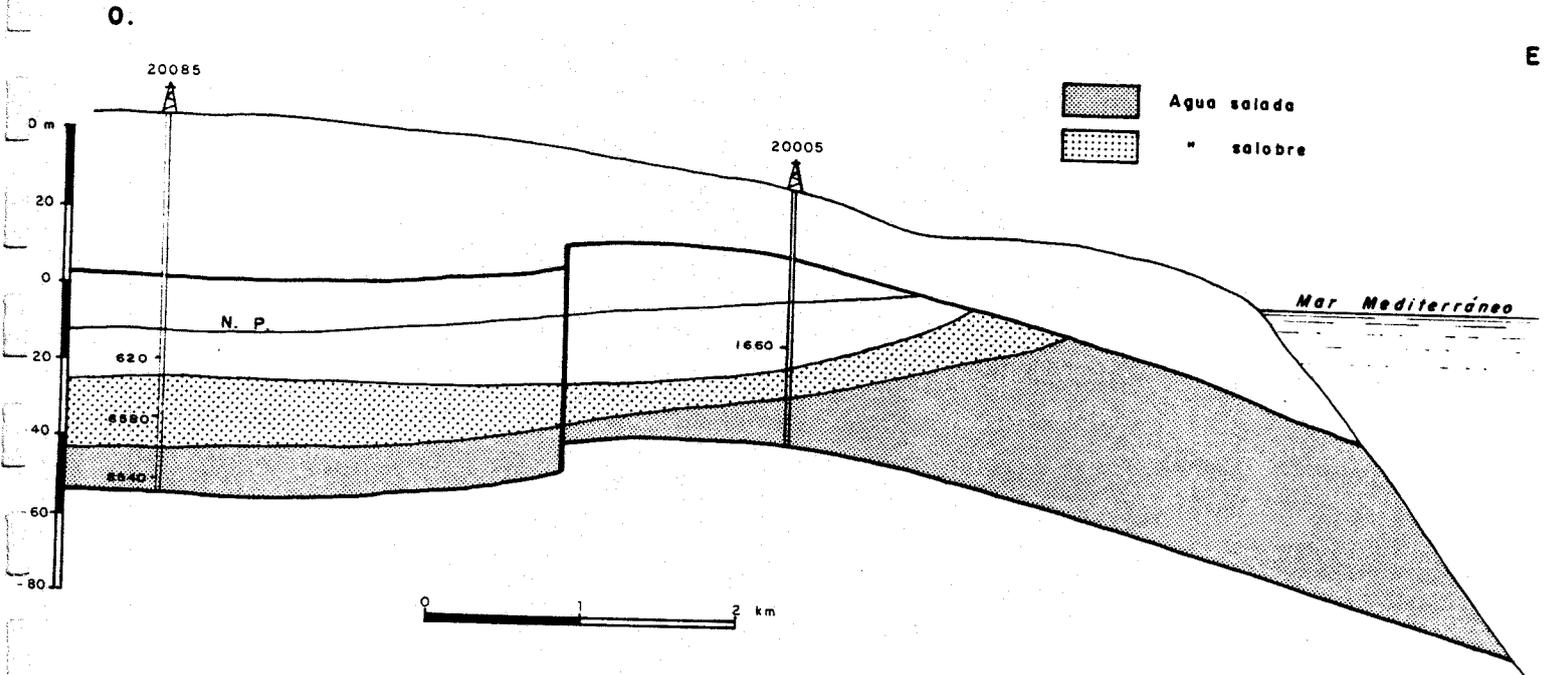


Fig. 7.6 Esquema interpretativo de la interfase en reposo en el acuífero de Cabo Roig (contenido en cloruros en mg/l).

En estas condiciones, podría hablarse de sobreexplotación ya que disminuyen las reservas globales del acuífero; aunque las reservas útiles corresponden a una mezcla de aguas del acuífero con la del mar.

Otro fenómeno observado en el acuífero de Cabo Roig es la formación de conos de agua salada debajo de las captaciones al bombear. En muchas de ellas el agua alcanza un elevado grado de salinización después de un tiempo de bombeo que puede oscilar entre una hora y varios días. Algunos sondeos dejan de bombear cuando esto se produce y vuelven a hacerlo después de un tiempo que según las captaciones oscila entre 20 días y varios meses, cuando la salinidad consigue volver a tener valores más tolerables.

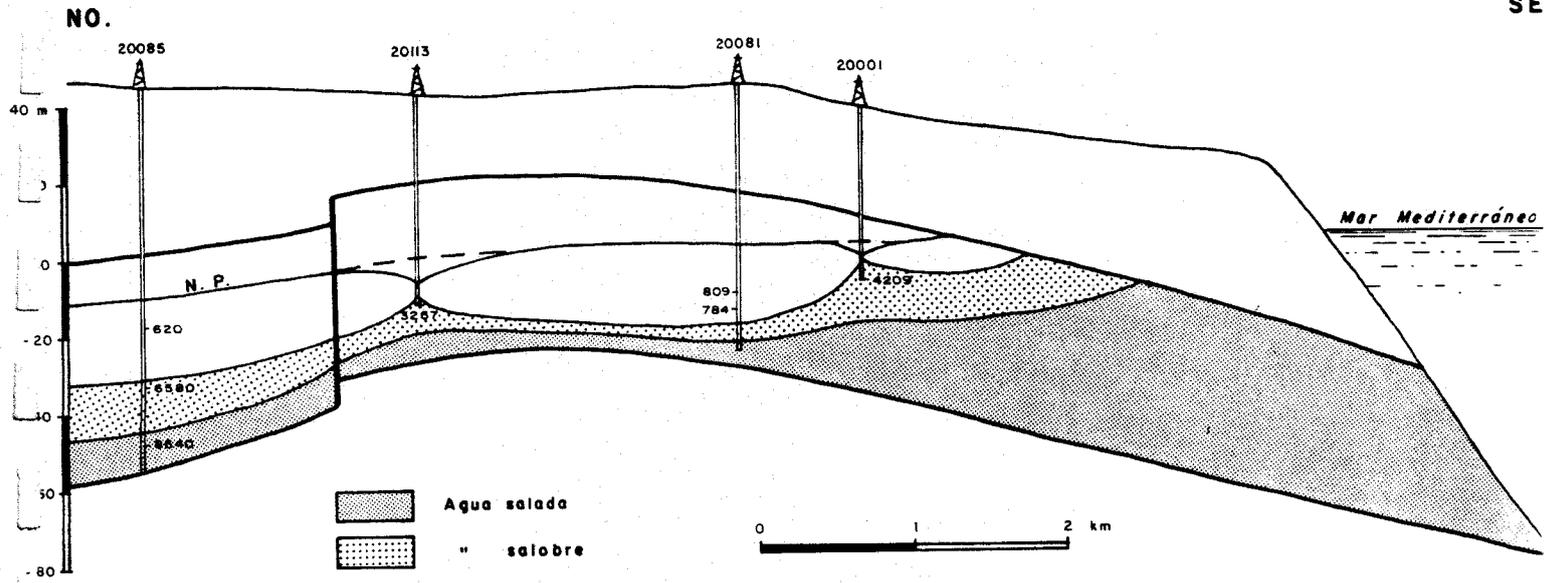


Fig. 7.7 Esquema interpretativo de la formación de conos salinos bajo las captaciones en el acuífero de Cabo Roig (contenido en cloruros en mg/l).

Sobre muestras tomadas en cuatro captaciones, se analiza el contenido en ión cloruro en la vertical del acuífero y se deducen los movimientos realizados por la interfase. Las muestras correspondientes a los sondeos 20085 y 20081 han sido tomadas en reposo y las pertenecientes a los sondeos 20113 y 20001, tras un cierto tiempo de bombeo. El intervalo de tiempo transcurrido entre el comienzo del bombeo y la aparición del agua salada depende de la penetración del sondeo en el acuífero y del caudal extraído.

En relación con esto último hay que indicar la circunstancia de que algunas captaciones cercanas a la costa o a otras que presentan una importante intrusión marina, no presentan niveles de salinización elevados; es el caso de los sondeos que rodean a la zona más afectada por la intrusión (Oeste de La Zenia) y el de algunas captaciones próximas a la costa. Muy probablemente esto se deba a que se realizan interrupciones en el

régimen de las extracciones cuando se produce la puesta en marcha de otros próximos, con el fin de facilitar la recuperación de niveles piezométricos; también se debe a la utilización de equipos de bombeo infradimensionados, de forma que el caudal extraído no es el suficiente como para que el domo salino generado afecte en gran medida a los sondeos. Este fenómeno ya se puso de manifiesto en el proyecto realizado por el ITGE de "Actualización del Inventario y Explotación del Plioceno en el sector de Cabo Roig (1989)". Desgraciadamente este no es el proceder general de los propietarios de las captaciones, ya que en muchos casos el grave problema de salinización que se padece tiene su origen en la extracciones realizadas durante largos períodos de bombeo con instalaciones capaces de obtener caudales muy superiores al caudal crítico.

En cuanto a la penetración, en superficie, máxima que puede alcanzar actualmente la cuña de agua salada dentro del acuífero de Cabo Roig, resulta difícil de precisar ya que es irregular, pero puede alcanzar en algunos puntos los 3 km de distancia de la costa, teniendo en cuenta que la cota cero del muro impermeable del acuífero se encuentra entre 3 y 4 km del mar.

Las zonas más afectadas por la intrusión marina aparecen en la figura 7.8 De su observación se deduce que los mayores problemas están situados al Oeste de La Zenia y también al Oeste de Punta Prima, aunque en este último lugar está restringida a menor número de captaciones.

Ello es debido, por otra parte, a que en estas zonas la transmisividad es mayor, al existir una neotectónica (ver las fallas en la figura 7.1); esta buena característica hidráulica vendría acompañada de una mayor explotación allí donde se da, y una mejor difusividad del agua del mar hacia esos sectores.

Al Oeste de esta zona con intrusión existe otra, que aunque no presenta problemas tan importantes de momento, sin embargo es probable que a corto plazo se vean afectadas algunas de las captaciones situadas en el interior de su perímetro, de no tomar medidas urgentes.

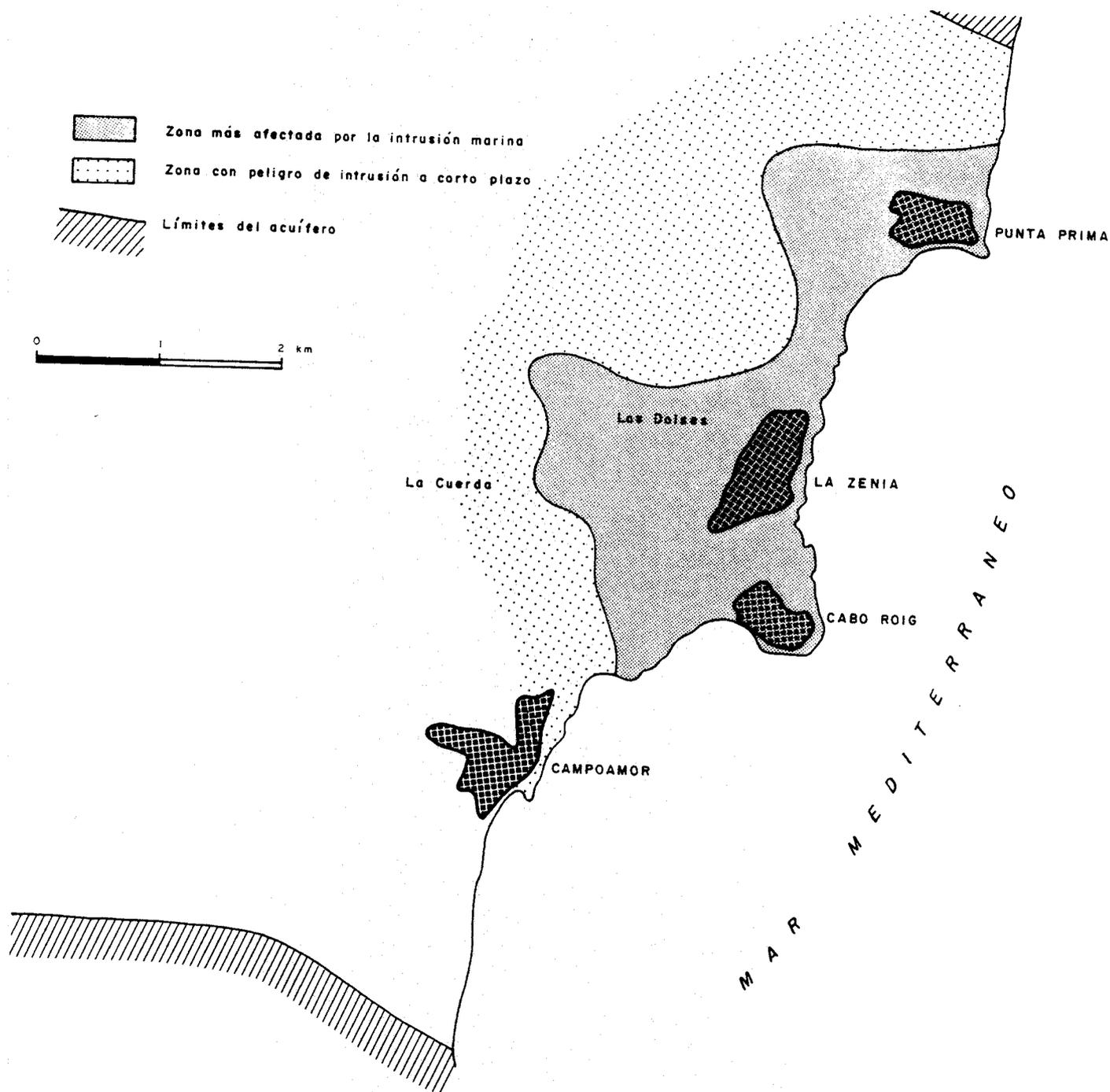


Fig. 7.8 Zonas afectadas por la intrusión marina en el acuífero Cabo Roig.

7.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

La explotación en el acuífero de Cabo Roig fue en 1988 de 6,3 hm³, repartiéndose ésta en 1,3 hm³ para la agricultura y 5 hm³ para abastecimiento público. Del total de las captaciones existentes, el 25% se utiliza para riego agrícola, el 35% para abastecimiento público y el 40% restante lo constituyen puntos de agua que no bombean en su mayoría, debido a los graves problemas surgidos a causa de la intrusión marina.

Con el volumen de agua extraído, se podrían atender unas 220 has aproximadamente; sin embargo, el alto riesgo de salinización que presenta el suelo hace que en la mayoría de los casos el agua utilizada sea menor, al ser inadecuada para los cultivos.

Como se ha dicho, la mayor parte del agua extraída del acuífero se destina al abastecimiento de las numerosas urbanizaciones turísticas existentes, constituyendo el único lugar de la zona litoral estudiada en este trabajo donde el agua subterránea se destina con tanta cuantía a este uso. Es en los meses de verano (de Junio a Septiembre) cuando existe la mayor demanda, teniendo que atender a una población de 130.000 habitantes. La incidencia del fenómeno de la intrusión marina en este caso alcanza una notable importancia, pues numerosas captaciones han sido abandonadas definitivamente por exceso de salinidad. Sin embargo, la explotación no disminuye incluso tiende a incrementarse, ya que los propietarios de los sondeos abandonados los sustituyen en muchos casos por otros de mayor profundidad, más alejados de la costa y aunque a muy corto plazo no presentan estos problemas de salinización, es evidente que no constituye la solución más adecuada.

La salinidad de estas aguas, afectadas por un avanzado fenómeno de intrusión marina, las convierte en inadecuadas para

consumo humano, por lo que está previsto que en un futuro próximo el abastecimiento público sea atendido por la Mancomunidad de Canales del Taibilla, con lo que se resolvería el problema que actualmente se padece.

8 ACUIFERO TORREVIEJA

8.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

El acuífero Torrevieja se sitúa en el Sureste de la provincia de Alicante, entre Torrevieja y las playas próximas a Guardamar del Segura. Está constituido principalmente por areniscas y calcarenitas del Plioceno, sobre las que encuentra un recubrimiento cuaternario de espesor variable formado por arenas y limos. La potencia media de las areniscas es de 30 m, aunque hacia la costa aumentan su espesor. En algunos sectores occidentales del acuífero, sobre las areniscas existe un nivel margoso del Plioceno superior de escasa potencia, que tiende a desaparecer de Oeste a Este.

Los límites del acuífero se han representado en el plano nº 15. Por el Norte, desde la zona de El Descargador en la costa hasta la localidad de Benijófar, el límite viene definido por el contacto con los afloramientos del impermeable de base (las margas del Mioceno superior). Desde Benijófar hasta las Lomas de la Juliana, el contacto con las margas del Mioceno está parcialmente cubierto por los materiales cuaternarios, volviendo a aflorar el impermeable de base entre las Lomas de la Juliana y San Miguel de Salinas. El límite por el Sur, desde San Miguel de Salinas hasta la Urbanización La Veleta en la costa, viene impuesto por la importante falla de San Miguel que desconecta las areniscas del Plioceno de Torrevieja con las del Plioceno de Cabo Roig.

En el interior del área definida se observa un sistema de fracturas que delimitan las lagunas de La Mata y de Torrevieja (ver plano nº 15), en las que las arenas y limos del cuaternario

y el tramo margoso del Plioceno superior alcanzan grandes espesores, encontrándose las areniscas a una gran profundidad.

Hay que destacar la importancia que para la definición geométrica de este acuífero ha supuesto la campaña geofísica realizada y su interpretación ya que se ha alcanzado un conocimiento geométrico del mismo que no se tenía anteriormente, poniendo de manifiesto la trascendencia de la neotectónica en la formación del sistema de fracturas que ha condicionado la posición y espesor de los materiales permeables.

La superficie total del acuífero es de 150 km², si bien considerando que en las zonas limítrofes a las lagunas, el Plioceno areniscoso se encuentra a gran profundidad y por tanto desconectado del resto del acuífero y que el Cuaternario en estos sectores posee mediocres características hidráulicas, la superficie práctica del acuífero se reduce a poco más de 100 km².

En cuanto al espesor del acuífero, aunque como ya se ha dicho tiene una media de 30 m, pueden diferenciarse algunas zonas que coinciden con surcos y umbrales en el impermeable de base.

Así, por ejemplo, en el sector de El Cuartelillo, situado entre las lagunas de La Mata y de Torrevieja, se observa un umbral donde el impermeable de base es subaflorante, descansando los materiales cuaternarios (que en este lugar tienen escasa potencia) directamente sobre las margas del Mioceno, ya que las areniscas han desaparecido por erosión.

Por otro lado, también se observa alguna zona donde los materiales Plio-Cuaternarios presentan un mayor espesor, como la situada a 2 km al Norte de Los Montesinos, que alcanzan los 80 m. También en el paraje de La Cruz, próximo a la costa, el acuífero supera los 90 m.

En general, puede decirse que toda la zona se ha visto afectada por una importante neotectónica de fracturas que ha condicionado, entre otras, la formación de profundas fosas ligadas a las lagunas de La Mata y Torrevieja.

En el plano nº 15 se han representado las isohipsas del muro del acuífero del Plioceno. Se observa que, excepto en los bordes del Oeste y Norte próximo a los afloramientos de las areniscas, la mayor parte del techo del impermeable de base se sitúa a cotas negativas. Así, a lo largo de toda la zona costera entre El Descargador y las proximidades de Torrevieja, el muro se encuentra a cotas que oscilan entre -10 y -30 m.r.m. También en la zona de Los Montesinos, existe un sector a cotas por debajo de los -50 m.r.m. Sin embargo, en este último, las areniscas se encuentran en cierta medida protegidas de la zona de costa, debido al mencionado umbral existente entre las lagunas, y donde el Cuaternario no debe alcanzar probablemente más de 15 m, siendo además poco transmisorio.

8.2. PIEZOMETRIA

En el acuífero de Torrevieja se han realizado dos campañas de medidas de nivel piezométrico, una en Abril y otra en Agosto de 1989. En la primera se ha medido el nivel en 16 puntos, 6 de los cuales están nivelados, y en la campaña de Agosto únicamente han podido efectuarse medidas en 7 puntos, de los cuales sólo uno está nivelado.

Con estos datos se ha intentado confeccionar los planos de isopiezas correspondientes a ambas fechas (planos nº 16 y 17), reflejándose todas las medidas en el cuadro nº 8.1.

La ausencia de captaciones y de piezómetros en los alrededores de las Salinas (especialmente en la de La Mata) y en la proximidad de la costa, ha hecho difícil el trazado de las isopiezas en estas zonas; aún más, teniendo en cuenta que las

Cuadro 8.1

ACUIFERO DE TORREVIEJA
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:GC

PERIODO DE CONTROL:01-04-89/01-09-89

N IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
283660004	37.67	-12.67	11/04/89	E
283660011	12.88	0.12	11/04/89	E
283660011	13.13	-0.13	19/08/89	E
283660015	17.50	-2.50	11/04/89	E
283660015	17.37	-2.37	19/08/89	E
283660030	24.70	-0.47	11/04/89	E
283660038	14.50	18.50	15/04/89	E
283660039	5.55	4.45	15/04/89	E
283660040	9.43	15.57	15/04/89	E
283660040	8.98	16.02	19/08/89	E
283660041	65.04	-15.11	15/04/89	E
283660042	38.88	-5.08	15/04/89	E
283660043	21.55	-0.15	15/04/89	E
283660043	21.95	-0.55	21/08/89	E
283660044	53.22	-7.66	15/04/89	E
283660045	1.01	16.99	15/04/89	E
283660045	1.12	16.88	18/08/89	E
283670002	37.59	-6.59	11/04/89	D
283670007	37.10	2.90	15/04/89	E
283670007	36.89	0.11	18/08/89	E
283670008	34.05	1.95	15/04/89	E
283670008	33.72	2.28	18/08/89	E
283730003	19.10	0.90	12/04/89	E
283730003	19.05	0.95	18/08/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....:

24

NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA:

0

(A=Afectado ; D=Dinamico)

(E=Estatico;R=Recuperando)

(S=Surgente)

(0.01=Punto visitado sin medida)

escasas medidas disponibles corresponden a puntos sin nivelar, con un estrecho margen de valores piezométricos. No obstante, en base a estos mapas, se pueden destacar las siguientes características importantes:

Las cotas piezométricas van desde 19 m.s.n.m., en la zona entre Pedraza y La Rellana (en el interior) y -15 m.r.m., en el sector de La Herrada. La Superficie piezométrica no sufre

variaciones importantes en el periodo comprendido entre Abril y Agosto.

Las isopiezas en el sector de La Herrada muestran una depresión en la superficie piezométrica, alcanzándose cotas netamente negativas. En este sector donde se concentran la mayoría de las captaciones del acuífero, el efecto producido por la explotación provoca que el flujo del agua subterránea se dirija hacia el mismo.

En el extremo nororiental del acuífero (próximo a la costa) los niveles piezométricos se mantienen ligeramente por encima de la cota 0 (de 2 a 3 m.s.n.m.), si bien los niveles dinámicos de las captaciones más cercanas al mar alcanzan cotas negativas.

También se observa un flujo de agua subterránea desde la zona de Pedraza hacia la Salina de Torrevieja. Tanto esta Salina como la de La Mata se encuentran comunicadas artificialmente entre sí y con el mar mediante un sistema de canales y compuertas, de modo que puede suponerse que sus niveles están en equilibrio con el del mar.

En la zona situada entre las Salinas parece existir un umbral en la superficie piezométrica del acuífero, pero no es posible determinar con precisión las relaciones del agua que

contienen las Salinas con el agua del acuífero debido a la ausencia de puntos acuíferos en este sector.

8.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

Se han muestreado un total de 15 puntos, sobre los que se recogieron 13 muestras en Abril y 15 en Agosto. En esta última campaña se tomaron además muestras a distintas profundidades con hidrocaptor en el punto 2836-60043. Las principales caracterís-

ticas de estos puntos muestreados se han reflejado en el cuadro nº 8.2.

Las aguas de este acuífero presentan facies clorosulfatadas en cuanto a los aniones, exceptuando algunos sectores (como al Oeste de la Salina de Torre vieja) donde el anión dominante es el sulfato y las facies son sulfatadas cloruradas. En cuanto a los cationes, presentan facies mixtas, siendo el sodio el catión mayoritario y presominando generalmente el magnesio sobre el calcio.

El total de sales disueltas (T.S.D.) presenta valores que oscilan entre 1500 y más de 6000 mg/l en Abril, y entre 1600 y 5700 mg/l en Agosto. Las captaciones con escasa profundidad, ubicadas en los materiales cuaternarios, presentan mayores contenidos en T.S.D. que las que captan las areniscas del Plioceno. En general no existen variaciones muy significativas en este parámetro de una campaña a otra, observándose una ligera tendencia a incrementarse en Agosto en algunas captaciones, exceptuando el sector del Pozo Dulce, donde el aumento sí es espectacular, pues varía el TSD de 1500 a más de 4400 mg/l.

La conductividad sigue un comportamiento paralelo al del TSD.

Cuadro 8.2

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Torrevieja

N ^o I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2836-60004	19-08-89	Bombea 15 min.	57	-32	2695	940	61,77	1,4	4,89	0,3	0,19
2836-60011	12-04-89	Bombeando	13,7	-1	2742	1348	61,05	1,89	8,51	0,14	0,22
2836-60011	19-08-89	Reposo	"	"	2893	1190	71,44	1,21	6,4	0,22	0,11
2836-60015	12-04-89	Bombea 10 min.	12,4	3	1570	712	76,03	1,02	7,08	0,13	0,32
2836-60015	19-08-89	Reposo	"	"	4456	2255	83,18	0,92	12,2	0,11	0,35
2836-60030	12-04-89	Reposo	40	-16	2476	908	64,38	0,06	4,68	0,34	-0,24
2836-60038	12-04-89	Reposo	21	12	3196	1296	69,36	4,31	23,22	0,36	0,08
2836-60039	12-04-89	Reposo	8	2	4182	843	36,5	0,92	8,95	1,18	-0,01
2836-60040	12-04-89	Bombea 25 min.	24	1	3310	943	52,29	2,94	46,35	0,60	-0,60
2836-60040	19-08-89	Bombeando	"	"	3446	940	50,07	2,55	5,10	0,61	-0,42
2836-60041	12-04-89	Bombea horas	110	-60	2047	872	71,76	1,34	5,77	0,18	0,37
2836-60041	19-08-89	Bombeando	"	"	2292	884	66,38	1,28	4,80	0,28	0,26
2836-60042	12-04-89	Bombea semanas	105	-71	2717	1119	69,58	1,52	5,36	0,24	0,24
2836-60042	19-08-89	Bombeando	"	"	2509	955	65,83	1,36	4,87	0,30	0,19
2836-60043	27-09-89	Hidrocaptor 25 m.	55	-34	3084	1140	64,88	0,58	11,54	0,26	0,48
2836-60043	27-09-89	" 37 m.	"	"	3063	1145	65,08	0,62	11,45	0,26	0,48
2836-60043	27-09-89	" 47 m.	"	"	3068	1142	64,86	0,62	11,83	0,27	0,47
2836-60044	13-04-89	Bombea horas	107	-62	1974	841	72,35	1,76	6,1	0,18	0,34
2836-60044	19-08-89	Bombeando	"	"	1602	640	67,87	1,48	4,44	0,19	0,36
2836-60045	13-04-89	Reposo	3	15	6202	1172	33,76	1,63	7,23	1,64	-0,32
2836-60045	18-08-89	Reposo	"	"	5782	1325	40,07	1,2	8,54	1,18	-0,1
2836-70002	12-04-89	Bombea 1 día	72	-41	2310	812	60,84	1,25	6,44	0,45	0,12
2836-70002	18-08-89	Bombea 5 min.	"	"	3032	1270	71,51	1,23	9,18	0,26	0,19

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero

Torrevieja

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₃ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2836-70002	18-08-89	Bombea 75 min.	72	-41	2556	940	64,1	1,11	6,65	0,37	0,13
2836-70007	13-04-89	Bombea 10 min.	72	-32	2498	1010	70,47	1,1	6,95	0,25	0,16
2834-70007	18-08-89	Bombeando	"	"	2418	1030	72,9	1,03	6,87	0,21	0,27
2836-70008	12-04-89	Bombea 5 min.	55	-19	3996	870	40,29	2,03	7,37	1,19	-0,57
2836-70008	18-08-89	Bombeando	"	"	4372	853	35,18	2,33	6,58	1,45	-0,42

Se han confeccionado los mapas de isocloruros correspondientes a ambas campañas de muestreo (planos nº 18 y 19). En la campaña de Abril el contenido de ión cloruro oscila entre 712 mg/l, en el paraje de Pozo Dulce, y casi 1300 mg/l, al Oeste de Los Montesinos, llegando a superarse este valor en el sector situado entre las dos Salinas. En líneas generales no se observan grandes variaciones de este parámetro en la zona central del acuífero (paraje El Marquesito), manteniéndose sobre los 800 y 900 mg/l. Sí puede observarse un incremento hacia los límites Norte y Oeste, así como en el sector entre las lagunas, donde se superan los 1000 mg/l.

En la campaña de Agosto las variaciones en el contenido de cloruros son escasas en la zona central, donde incluso desciende, conservándose prácticamente idénticos valores en el extremo nororiental. Sí merece especial atención el gran incremento que experimentan los cloruros respecto de la campaña de Abril en la zona de Pozo Dulce, donde pasan de 712 a más de 2200 mg/l.

Por otro lado, también se han analizado las variaciones tanto espaciales como temporales (entre campañas de muestreo) de las relaciones iónicas que pueden presentar mayor interés.

Así la relación rMg/rCa muestra un valor muy similar tanto en Abril como en Agosto, oscilando entre 1 y 2. Especialmente se observa un ligero incremento de ésta en el Oeste y hacia las zonas próximas a los afloramientos de areniscas, con un máximo en Agosto en el sector situado al Oeste de la Salina de Torre Vieja, donde alcanza valores superiores a 4.

En este último sector el índice rCl/rCO_3H se dispara en Agosto tomando valores superiores a 40. Estos valores anormalmente altos, nada tienen que ver con un posible proceso de intrusión marina o de aporte suplementario de agua salada procedente de las lagunas. El contenido en ión cloruro permanece

constante de Abril a Agosto (940 mg/l) y sin embargo la relación rCl/rCO_3H en el mes de Abril se sitúa próxima al valor 5. El espectacular aumento de este índice se debe a una fuerte disminución del ión CO_3H^- en el período estival. Es difícil conocer las causas por las que se produce esta disminución, pero es evidente que está relacionado con el desplazamiento que sufre el equilibrio entre $CO_3=$ y CO_3H^- , pues es de destacar el elevado contenido en ión carbonato que presentan estas aguas. La presencia de ión carbonato se ha detectado en no pocas muestras, con una tendencia a incrementar su concentración en la campaña de Agosto. En particular, al Oeste de la Salina de Torre Vieja en Agosto se han detectado contenidos de $CO_3=$ superiores a los que presentan el ión CO_3H^- , junto con una disminución del contenido en Ca^{++} . Posiblemente las condiciones existentes en el medio (pH superiores al de equilibrio) favorezcan una cierta tendencia a la precipitación de carbonatos. En el resto del acuífero este índice presenta valores entre 4 y 9, que pueden llegar a ser de 12 en Agosto, sin mostrar grandes variaciones en el período entre las dos campañas, excepto en el sector de Pozo Dulce, cercano a la localidad de Torre Vieja, donde pasa de 7 a 12.

Por lo que respecta a la relación rSO_4/rCl , durante el período estudiado no existen variaciones significativas; sin embargo su distribución espacial es bastante irregular. Así encontramos valores superiores a 1 en el extremo nororiental del acuífero, que disminuyen hacia el Este. También se encuentran valores superiores a 1 en el sector occidental de la Salina de Torre Vieja que disminuyen hacia el Norte hasta situarse en 0,2. Los valores mínimos alcanzados por esta relación se sitúan en la zona de Pozo Dulce con 0,13 en Abril y 0,11 en Agosto. En general, los valores superiores a 1 se dan en puntos que captan agua casi exclusivamente del Cuaternario.

El índice de cambio de bases pasa de valores negativos, al Oeste de la Salina de Torre Vieja, a alcanzar valores entre 0,3 y 0,4 en el sector de La Mata entre las dos lagunas y continúa en

estas cifras hacia Pozo Dulce, en el Sureste. Al igual que los parámetros anteriormente estudiados, no presentan variaciones significativas en el período analizado.

Por último, y antes de pasar a analizar con más detalle un posible fenómeno de intrusión salina, hay que indicar el elevadísimo contenido en nitratos detectado en muchas de las muestras analizadas. La presencia de NO_3^- en cantidades, que en algún sector supera los 600 mg/l, manifiesta una importante contaminación de origen agrícola. Efectivamente, en tres zonas del acuífero el contenido en nitratos se sitúa por encima de los 200 mg/l. Estas son: Pedraza; al Oeste de la Salina de Torrevieja, donde el contenido en nitratos está entre 200 y 400 mg/l; Los Montesinos, próxima a la Salina de Torrevieja, con un máximo en Agosto de 656 mg/l y la zona nororiental, donde en el punto 2836-70008 se alcanzan en Agosto más de 350 mg/l de NO_3^- .

En general se trata de pozos con escasa penetración en el acuífero, que captan los niveles más superficiales, relacionados con los materiales cuaternarios. Esta contaminación tiene su origen en la utilización masiva de fertilizantes y abonos líquidos nitrogenados, que con gran profusión se practica en toda la comarca. En el resto del acuífero no se han detectado valores tan altos de nitratos, oscilando éstos entre 20 y 60 mg/l que, si bien no son alarmantes, sí son indicativos de la existencia del fenómeno.

A la vista de todo lo anterior y con el fin de llegar a una correcta interpretación de los resultados obtenidos en las campañas de muestreo hidroquímico, se hace necesario establecer una diferenciación entre los pozos que extraen aguas relacionadas con los niveles superiores del acuífero y los sondeos que lo hacen de niveles más profundos.

En el primer caso se trata generalmente de captaciones con escasa profundidad, en las que el agua extraída se

caracteriza por sus elevados contenidos en el total de sales disueltas, sulfatos, nitratos y en menor medida cloruros. La causa por la que se produce este fenómeno apunta a una mayor salinización del suelo provocada por la utilización masiva de abonos y fertilizantes y posiblemente también por agua de riego excedentaria infiltrada. Se localizan estas captaciones en el sector occidental de la Salina de Torre Vieja, principalmente.

En estas condiciones la validez de los índices hidroquímicos en estos puntos muestreados es más que dudosa. Por esta razón, a la hora de realizar comparaciones en orden a determinar si existe o no un proceso de intrusión marina, éstas deben aplicarse sobre los puntos donde se tenga seguridad de que no van a interferir otros fenómenos.

Así las relaciones r_{Mg}/r_{Ca} y $r_{Cl^-}/r_{CO_3H^-}$ no parecen mostrarse en este caso como índices adecuados para detectar la existencia de intrusión marina, pues aunque en general presentan valores elevados (sobre todo la relación $r_{Cl^-}/r_{CO_3H^-}$) ya se ha apuntado la posible existencia de fenómenos de incrustación (precipitación de CO_3Ca) que falsearían los valores obtenidos; además sus variaciones espaciales y temporales no son muy significativas. La relación r_{SO_4}/r_{Cl^-} sí puede considerarse válida en general, sobre todo en los casos en que se conozca el origen del agua extraída (procedente de niveles superiores en contacto con el Cuaternario o bien de niveles más profundos procedentes de las areniscas), por las razones anteriormente comentadas y que también serían aplicables al índice de cambio de bases.

8.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

En primer lugar cabe resaltar el hecho de que, en el caso que nos ocupa, resulta hasta cierto punto difícil establecer unos criterios adecuados para caracterizar un posible fenómeno de intrusión marina, principalmente por dos razones: la existencia de un fenómeno de contaminación artificial salina superpuesto,

ajeno a la intrusión y el escaso conocimiento del funcionamiento hidráulico de las lagunas saladas, en relación con el acuífero.

No obstante, en base a los estudios realizados y al conocimiento que se ha adquirido, se pueden dar algunos resultados.

A grandes rasgos se pueden diferenciar dos sectores en el acuífero de Torrevieja, en razón al grado de afección salina mostrado por sus aguas: el situado entre la costa y las lagunas de Torrevieja y La Mata y el que se encuentra al Oeste y Norte de las lagunas.

En el primer sector el muro del acuífero se encuentra a cotas por debajo de -30 m.r.m. cerca de la costa.

En la zona próxima a Torrevieja y hacia el Noroeste de esta localidad, el Plioceno areniscoso se encuentra a gran profundidad, estando ocupado el acuífero exclusivamente por el recubrimiento cuaternario y siendo las captaciones muy escasas y dispersas. Generalmente se trata de pozos de poca profundidad que captan el Cuaternario y que extraen pequeños caudales.

En Pozo Dulce, situado a poco más de 1 km al Este de la Salina de Torrevieja y a casi 4 km de la costa, se ha puesto de manifiesto un gran incremento de la salinidad del agua después de un escaso tiempo de bombeo. En esta zona se alcanzan los valores más elevados, en Agosto, en la relación rCl/rCO_3H y los más bajos para la relación rSO_4/rCl (12,2 y 0,11, respectivamente), manteniéndose el nivel piezométrico a cotas ligeramente negativas. La causa de este rápido aumento de la salinidad puede tener su origen en la proximidad de la interfase agua dulce-agua salada en este sector cercano a la costa, de forma que al comenzar a bombear se produzcan alteraciones en la misma que se propaguen con rapidez a la zona de mezcla. Otra posible causa sería un flujo de agua inducido al bombear, desde las lagunas

hacia esta zona. En cualquier caso no existen datos suficientes para confirmar una u otra posibilidad.

En cuanto al segundo sector del acuífero, caben diferenciar a su vez tres zonas:

La zona situada 2 km al Oeste de la Salina de Torrevieja, constituida esencialmente por materiales cuaternarios, y donde ya se ha comentado que la causa de su elevada salinidad y valores anómalos de otros índices tienen su origen distinto al de la intrusión marina. Además en esta zona el nivel piezométrico se mantiene en cotas positivas, existiendo un flujo de agua subterránea en dirección a la Salina de Torrevieja.

Otra zona sería la constituida por un importante grupo de captaciones al Norte de la Salina de Torrevieja y al Oeste de la de La Mata, a una distancia media de 8 km de la costa. La salinidad del agua está comprendida entre 2 y 3 gr/l, con contenidos en cloruros que oscilan entre 800 y 1000 mg/l. Las muestras recogidas con hidrocaptor a diferentes profundidades no muestran variación alguna en el contenido en Cl⁻. Las relaciones iónicas muestran valores no excesivamente preocupantes; así por ejemplo la relación rMg/rCa se mantiene entre 1 y 2 y la relación rCl/rCO₃H se sitúa en torno a 5. Sin embargo la relación rSO₄/rCl y el i.c.b. sí presentan valores indicativos de salinización (alrededor de 0,2 la primera y de 0,3 el segundo). El nivel piezométrico se mantiene constantemente en cotas negativas, debido a los importantes caudales extraídos en la zona prácticamente durante todo el año, existiendo la posibilidad de un flujo inducido desde las Salinas hacia este sector.

La tercera zona es la que se encuentra en el extremo nororiental del acuífero, a 1,5 km de la Laguna de La Mata y entre 1 y 3 km de la costa. De similares características a la segunda zona referida, en cuanto a salinidad del agua y contenido en cloruros, presenta un visible aumento de la relación

rCl/rCO₃H, que a poco más de 1 km de la costa supera el valor 9. El nivel piezométrico se encuentra a cotas solo ligeramente negativas; sin embargo los niveles dinámicos se sitúan incluso hasta -7 m.r.m. Gran parte del muro del acuífero presenta cotas negativas y dada la proximidad de la costa parece deducirse la existencia de una intrusión marina incipiente.

En resumen, puede afirmarse que el acuífero de Torrevieja no muestra síntomas alarmantes de intrusión marina, a excepción del sector comprendido entre las Salinas y la costa, en el que se aprecian incrementos muy rápidos en la salinidad de sus aguas al bombear. También parecen existir indicios de salinización por intrusión de agua del mar en el sector nororiental. En el resto del acuífero es preocupante el grado de salinización que muestran algunos sectores, pero el estado actual de conocimientos no permite afirmar si el origen de tal salinización procede de la intrusión del agua del mar en el acuífero o llega a él a través de las Salinas, las cuales no sólo reciben agua del mar sino también agua sobresaturada en cloruro sódico, procedente del diapiro de Pinoso.

8.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

El acuífero de Torrevieja está ubicado en una zona litoral de gran desarrollo turístico, con numerosas urbanizaciones y una población, que en los meses de verano puede superar los 300.000 habitantes. Existen, además, unas 9.500 has de regadío que se reparten entre los municipios de Rojales, Almoradí, Torrevieja, Algorfa y Guardamar del Segura; de éstas sólo una pequeña parte (alrededor de 600 has) se riegan con aguas subterráneas, aunque esta cantidad puede ser superior, debido a que existen riegos compartidos con aguas superficiales.

Prácticamente todas las captaciones existentes, que extraen 4 hm³/año como máximo, destinan sus aguas al riego, por

lo que la posible incidencia de la intrusión marina en el acuífero está restringida a este sector.

Ocurre un hecho curioso y es que muchos agricultores tienen la creencia de que sus cultivos obtienen mayores rendimientos regándolos con aguas subterráneas que con las aguas superficiales que llegan a la zona, a través de uno de los canales del Trasvase Tajo-Segura. Durante 2 ó 3 años los agricultores utilizaban estas últimas mayoritariamente en sus riegos, con lo que la explotación del acuífero se redujo considerablemente. Ultimamente, sin embargo, han vuelto a poner en funcionamiento captaciones ya en desuso para mezclar las aguas extraídas con las del Trasvase, convencidos de que esta práctica mejora la productividad de las cosechas.

Aunque el fenómeno de intrusión aquí es discutible, dada la influencia que ejercen las salinas (a las que se les hace llegar agua del mar y del diapiro de Pinoso) al acuífero, es un hecho constatado que en el sector más próximo a la costa y entre las Lagunas de Torre vieja y La Mata, el fenómeno de la intrusión afecta a algunas captaciones (de escasa importancia) con una incidencia directa en el destino del agua, limitando el volumen extraíble por el incremento de salinidad, con el tiempo de bombeo; al tratarse de un sector de escasísimas captaciones, muy dispersas y con un volumen de explotación pequeño, frente al resto del acuífero, la incidencia sobre el sector agrícola a nivel general puede considerarse despreciable.

No obstante, se hace necesario un seguimiento en la zona del Norte de la Laguna de Torre vieja, donde existe un importante grupo de captaciones que explotan la mayor parte del agua del acuífero.

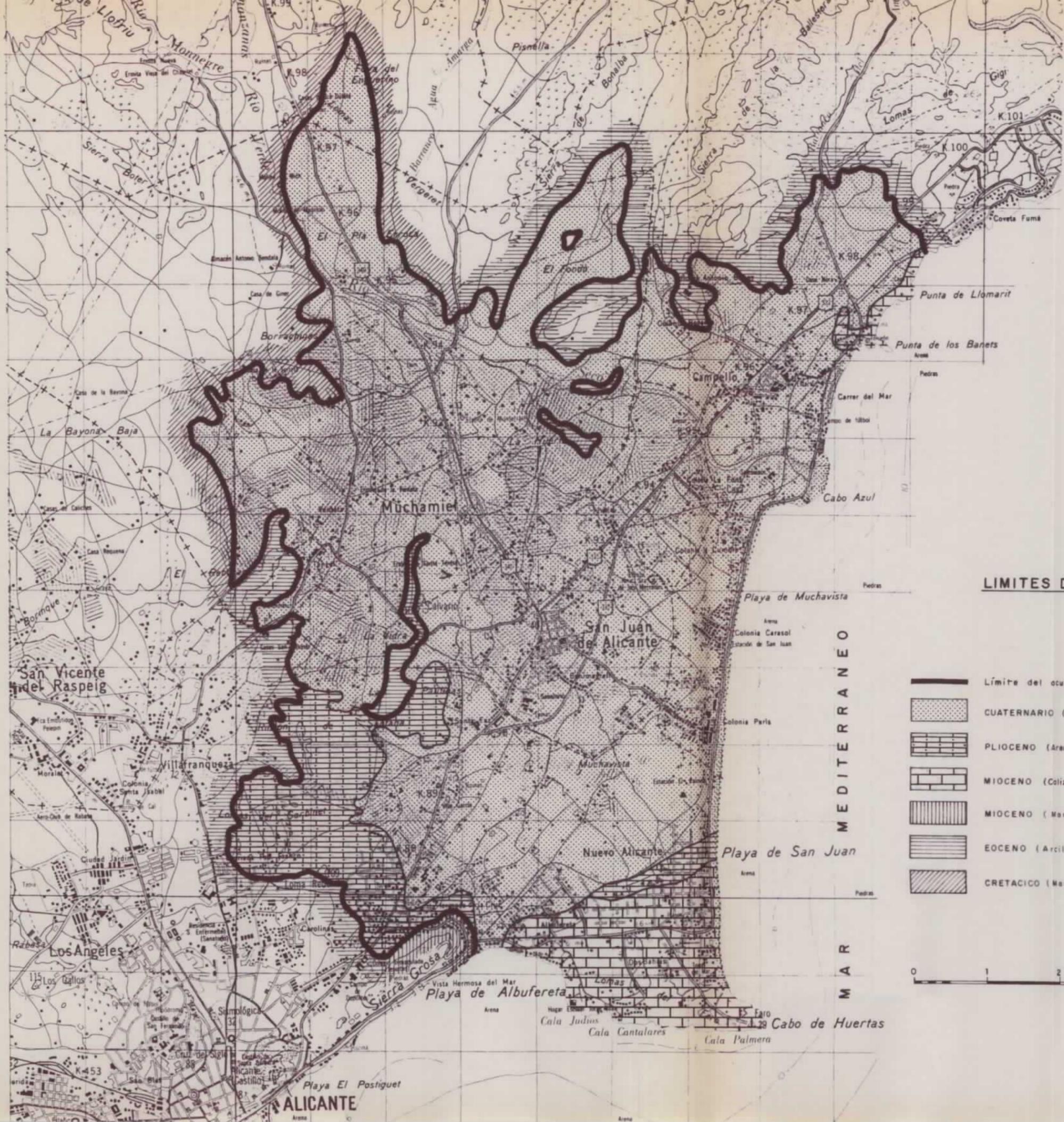
9. SAN JUAN-CAMPELLO

9.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

El acuífero de San Juan-Campello ocupa una extensión de 65 km² y está constituido por areniscas y calcarenitas del Plioceno, aflorantes en el sector suroccidental, así como por calizas del Mioceno superior que afloran en los extremos suroriental (Cabo de las Huertas) y nororiental (Punta de los Banets). Sobre estos materiales permeables y ocupando la amplia llanura que se extiende desde el Norte de la ciudad de Alicante hasta Campello, se encuentran unos depósitos de origen fluvial, constituidos por gravas y conglomerados calcáreos, dentro de los cuales son relativamente frecuentes los rápidos cambios de litología, apareciendo grandes lentejones de depósitos más finos, de límos y arcillas.

Los límites del acuífero (ver figura 9.1) son los siguientes:

Por el Norte, desde la Punta de Llomarit, en la costa, hasta la confluencia del Río Seco con el Barranco del Vergeret, el límite coincide con los afloramientos de las margas del Eoceno, que en todo este sector constituyen el impermeable de base del acuífero. Continuando por el Oeste hasta el paraje de El Rebosar, el acuífero viene delimitado por los afloramientos o subafloramientos de las margas y margocalizas cretácicas y desde El Rebosar hasta las inmediaciones de Vista Hermosa, en el Sur, de nuevo por los afloramientos de las margas del Eoceno. En la zona de la Sierra Grossa, el límite del acuífero viene definido por el contacto, oculto, entre los materiales permeables pliocénicos y cuaternarios con las margas del Mioceno medio, que incomunican las calizas de la Sierra Grossa del resto del



LIMITES DEL ACUIFERO SAN JUAN-CAMPELLO

LEYENDA

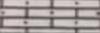
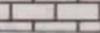
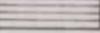
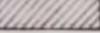
-  Límite del acuífero
 -  CUATERNARIO (Gravos y arenas)
 -  PLIOCENO (Areniscas)
 -  MIOCENO (Calizas)
 -  MIOCENO (Margas)
 -  EOCENO (Arcillas)
 -  CRETACICO (Margocalizas)
- } Afloramientos de rocas permeables
- } Afloramientos o subafloramientos del impermeable de base



Fig. 9.1

acuífero. Todo el borde oriental, desde la playa de la Albufereta hasta la Punta de Llomarit, corresponde con el mar Mediterráneo.

Por tratarse de una zona con abundantes núcleos de población rural y urbana, comunicados por una amplia red de carreteras, la dificultad práctica que supone la realización de una campaña de prospección geofísica eléctrica en tales condiciones ha imposibilitado su ejecución. En consecuencia, no se ha podido determinar la posición y morfología del muro impermeable, que hubiera sido de gran importancia a la hora de caracterizar el fenómeno de la intrusión marina.

Sin embargo, en base a los datos procedentes del inventario de puntos acuíferos, parece ser que el espesor de los materiales cuaternarios, donde están ubicadas todas las captaciones no supera los 40 m. Prácticamente la totalidad de los pozos y sondeos situados al Sur y Sureste de las localidades de San Juan y Campello se encuentran con cotas de fondo de pozo por debajo del nivel del mar y, aunque prácticamente no existen columnas litológicas, puede suponerse que el muro impermeable del acuífero, en todo este sector próximo a la costa, se sitúa a cotas negativas.

Por otro lado, siempre en base a los datos del inventario, se trata de un acuífero con pobres propiedades hidráulicas, pues en las captaciones los pequeños caudales extraídos se agotan después de un corto tiempo de bombeo (horas) o se ven drásticamente reducidos; esto ocurre principalmente en la zona al Norte y Oeste de Muchamiel. En los demás sectores las captaciones ven disminuidos sus caudales extraíbles en la época estival, con incrementos importantes en la salinidad de las aguas.

9.2. PIEZOMETRIA

En el acuífero de San Juan-Campello se han realizado dos campañas piezométricas, en Abril y Agosto de 1989, sobre un total de 10 puntos, midiéndose 6 en Abril y 9 en Agosto, asimismo se han confeccionado los mapas de isopiezas correspondientes (figuras 9.2 y 9.3) y se han reflejado los resultados en el cuadro nº 9.1.

En Abril, la cota del nivel piezométrico oscila entre 10 m.s.n.m., en las inmediaciones de la localidad de San Juan de Alicante y 1 m.s.n.m., en la Colonia de la Font, a 500 m de la costa. El flujo del agua subterránea es de dirección NO-SE (es decir del interior hacia la costa) y en la zona entre San Juan de Alicante y Campello pesee un gradiente del 10 por mil.

En el mes de Agosto, los niveles están comprendidos entre 22 m.s.n.m. (nivel dinámico), en el punto 2934-60006 que no pudo medirse en Abril, y -6 m.r.m., (también nivel dinámico), en la Colonia de La Font. Si se consideran solamente los niveles estáticos, éstos varían entre 9,5 m del punto 2934-20004, al Norte de Campello, y cotas ligeramente negativas al Sur de San Juan de Alicante.

En esta última campaña, la morfología de las isopiezas muestra un aparente flujo de agua del acuífero al mar en la zona del Río Seco, junto a Cabo Azul, en la costa. En el resto del acuífero, especialmente en la zona situada al Sur de San Juan de Alicante, las salidas ocultas al mar son probablemente muy pequeñas o prácticamente nulas.

En general, no parecen existir grandes diferencias en la superficie piezométrica a lo largo del año, con una dirección general de flujo subterráneo NO-SE. La mayor parte del acuífero estaría en régimen de equilibrio con el agua del mar o habría una pequeña descarga, de forma que los bombeos pueden modificar o

Cuadro 9.1

ACUIFERO SAN JUAN - CAMPELLO
 MEDIDAS PIEZOMETRICAS

 CLAVE DEL ACUIFERO:GB05

PERIODO DE CONTROL:20-04-89/03-08-89

N	IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
293420003		19.10	0.90	21/04/89	E
293420003		26.00	-6.00	02/08/89	D
293420004		29.50	9.50	21/04/89	E
293420004		29.50	9.50	01/08/89	E
293420013		15.50	2.50	21/04/89	D
293420013		9.26	8.74	01/08/89	E
293450007		11.45	1.55	02/08/89	E
293450009		15.02	-0.02	02/08/89	E
293460002		26.66	3.34	02/08/89	E
293460003		23.00	10.00	21/04/89	E
293460004		30.09	4.91	21/04/89	E
293460004		35.00	0.00	02/08/89	D
293460005		33.00	9.00	21/04/89	A
293460005		33.34	8.66	01/08/89	D
293460006		26.00	22.00	02/08/89	D

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 15
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)

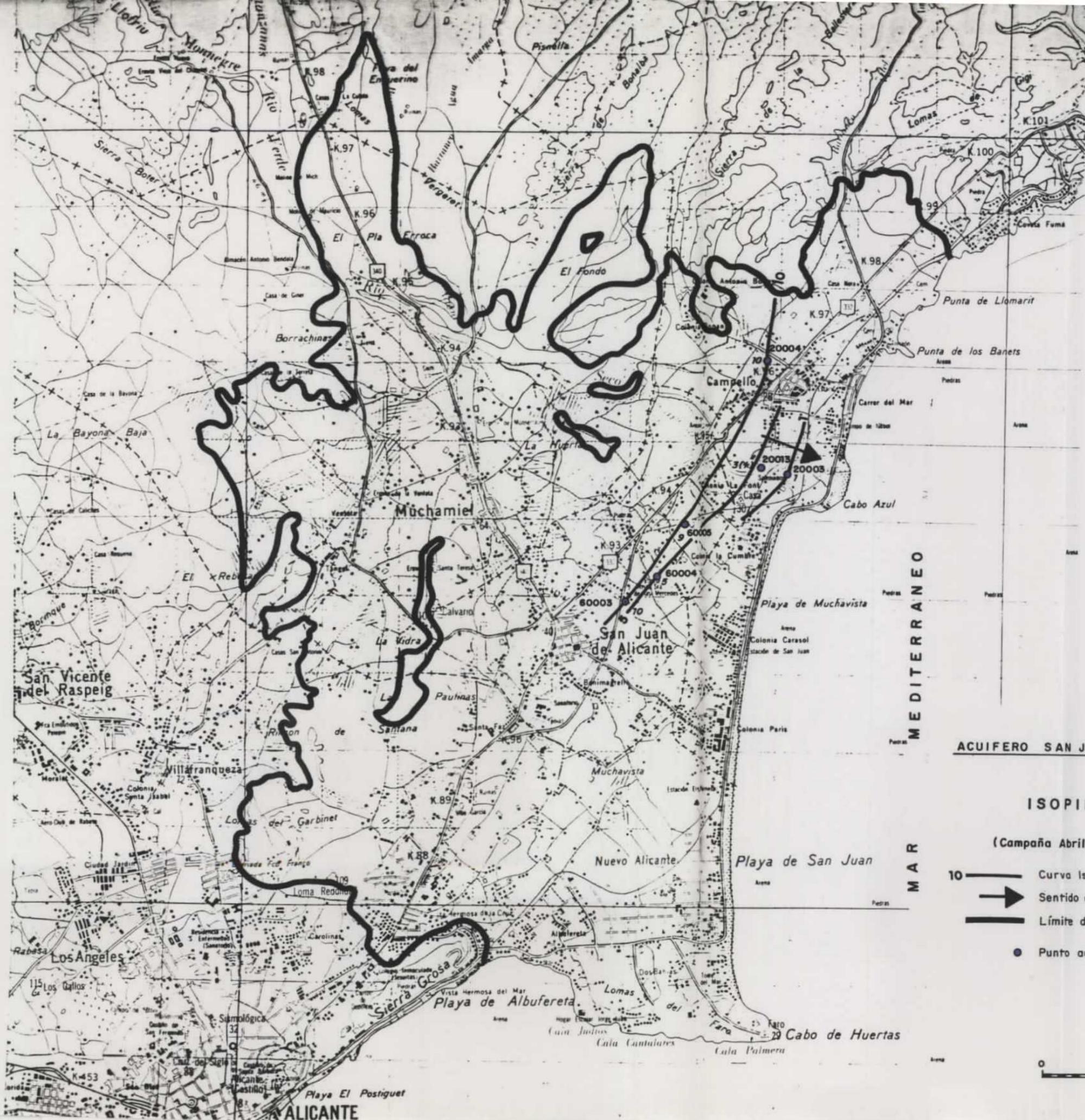


Fig. 9.2

ACUIFERO SAN JUAN - CAMPELLO

ISOPIEZAS

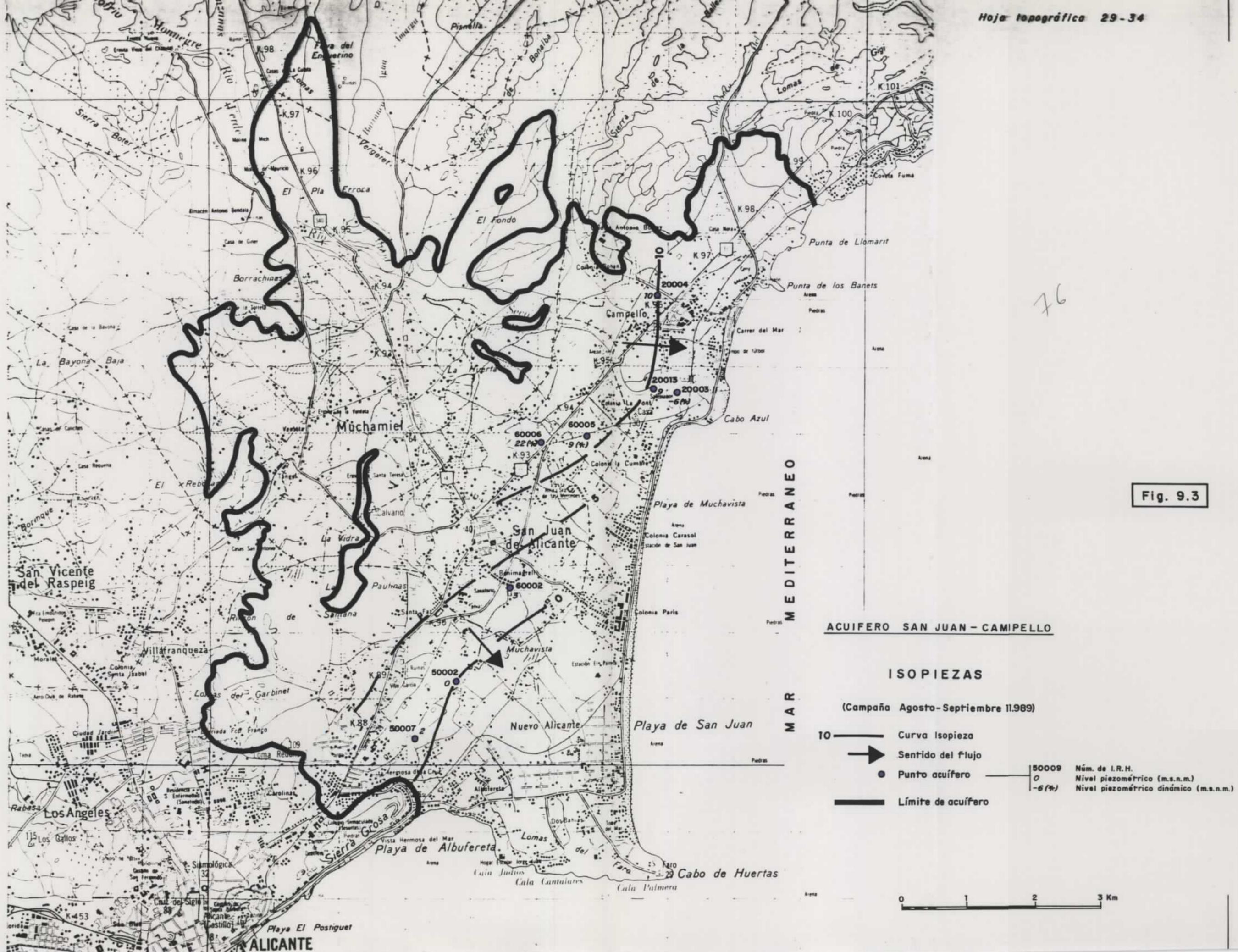
(Campaña Abril-Mayo 1989)

- 10 ——— Curva isopieza
- ➔ Sentido del flujo
- ▬ Límite de Acuífero

- Punto acuífero — 20003 Núm. de I.R.H.
- 71 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)
- 31 (%) Nivel piezométrico dinámico (m.s.n.m.)



75



76

Fig. 9.3

ACUIFERO SAN JUAN - CAMPELLO

ISOPIEZAS

(Campaña Agosto-Septiembre 11.989)

- 10 ——— Curva isopieza
- ➔ Sentido del flujo
- Punto acuífero
- Límite de acuífero

50009 Núm. de I.R.H.
 0 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)
 -6 (‰) Nivel piezométrico dinámico (m.s.n.m.)



alterar este equilibrio provocando que el final del estiaje se invierta el sentido del flujo, con la consiguiente entrada de agua del mar en el acuífero.

9.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

En el acuífero de San Juan-Campello se han muestreado un total de 10 puntos, sobre los que se han analizado 18 muestras de agua distribuidas en dos campañas, 6 en Abril-Mayo y 12 en Agosto-Septiembre; en esta última, además, se recogieron tres muestras en el punto 2934-60004 con hidrocaptor a distintas profundidades.

Las muestras de agua analizadas presentan facies cloruradas sulfatadas (ambos aniones representan generalmente más del 90% del total de ellos), con ligero predominio del ión sulfato sobre el cloruro en primavera, invirtiéndose la proporción al final del verano. Respecto a los cationes presentan facies mixtas, con el sodio como catión mayoritario (entre el 40 y 45% del total de meq/l entre los cationes) seguido por el calcio y el magnesio, con porcentajes que se sitúan entre el 30% y el 25% respectivamente. En el cuadro nº 9.2 se han reflejado las características hidroquímicas más importantes de los puntos muestreados.

Estas aguas presentan altos contenidos en sales disueltas que oscilan entre 3,4 y más de 5 gr/l, llegando a superar los 6 gr/l en el sector meridional. Consecuentemente, la conductividad también alcanza valores elevados, siendo por término medio de 4500 a 6900 microsiemens/cm y superando los 8000 microsiemens/cm en el Sur de San Juan de Alicante. Las diferencias observadas entre ambos períodos de muestreo no son muy significativas.

En las figuras 9.4 y 9.5 se muestra la distribución de cloruros, en mg/l, para ambas campañas de muestreo. En Abril la

concentración de este ión oscila entre 787 y 1506 mg/l. Los puntos muestreados se sitúan entre las localidades de San Juan de Alicante y Campello, en el sector septentrional del acuífero, próximo a la costa. Las captaciones situadas más próximas a las poblaciones citadas presentan las mayores concentraciones de este ión (entre 1240 y 1500 mg/l); por el contrario, las que menores cantidades presentan se dan en la zona más próxima a la costa, a unos 700 m de Cabo Azul, con contenidos entre 780 y 1070 mg/l.

En Agosto se pueden apreciar características muy similares a la campaña de Abril, con una tendencia a aumentar la concentración en cloruros, que en algunas captaciones, alcanza los 150 mg/l de incremento. En la zona próxima a Cabo Azul siguen dándose los contenidos menores de este ión, aunque con ligeros aumentos respecto del mes de Abril. En el sector meridional del acuífero, al Sur de San Juan, se dan las concentraciones más altas, siendo próximas a los 2000 mg/l en captaciones situadas entre 1 y 2 km de la playa de la Albufereta.

Por otro lado, en las muestras recogidas con hidrocaptor a profundidades crecientes, en el punto 2934-60004, no se han observado diferencias importantes en cuanto a las concentraciones en ión cloruro. Sí parece advertirse una cierta tendencia a disminuir el total de sales disueltas y la relación r_{SO_4}/r_{Cl} , a la vez que aumentan las relaciones r_{Mg}/r_{Ca} y r_{Cl}/r_{CO_3H} , pero ni sus valores absolutos ni el orden de magnitud de sus variaciones son suficientes como para detectar cambios de importancia en la vertical del acuífero, debido al corto intervalo en profundidad de muestreo (3 muestras a lo largo de 11 m).

En cuanto a los índices hidroquímicos estudiados, se observa lo siguiente:

La relación r_{Mg}/r_{Ca} se mantiene por debajo del valor 1 prácticamente en todos los puntos muestreados, correspondiendo

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero San Juan-Campello

Nº I. R. N.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₂ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2934-20003	21-04-89	Reposo	--	--	4267	1072	45,24	0,66	5,82	1,02	-0,02
2934-20003	2-08-89	Bombeando	--	--	4426	1220	48,44	0,80	9,95	0,94	0,11
2934-20004	15-05-89	Reposo	41	- 2	5486	1506	48,03	0,91	24,91	0,99	0,07
2934-20004	1-08-89	Reposo	"	"	5522	1562	49,04	0,88	13,99	0,92	0,17
2934-20013	21-04-89	Bombea	18	0	3696	787	37,7	0,69	7,48	1,5	-0,08
2934-20013	2-08-89	Reposo	"	"	3466	910	46,24	0,65	7,28	1,01	0,15
2934-50007	2-08-89	Reposo	7	6	4569	1410	54,65	0,93	6,93	0,67	0,06
2934-50009	2-08-89	Reposo	20	- 5	6369	1912	51,53	0,93	14,12	0,85	0,11
2934-60002	1-08-89	Reposo	30	0	4326	1170	47,6	0,76	7,01	0,9	0,06
2934-60003	21-04-89	Reposo	48	-15	5093	1310	45,23	0,87	14,08	1,1	-0,06
2934-60004	21-04-89	Reposo	45	-10	4917	1243	44,90	0,7	14,26	1,12	-0,05
2934-60004	2-08-89	Bombeando	"	"	4855	1273	46,12	0,86	14,5	1,06	0,03
2934-60004	20-09-89	Hidrocaptor 33 m.	"	"	5815	1300	39,76	0,76	7,08	1,32	-0,06
2934-60004	20-09-89	" 40 m.	"	"	5749	1300	40,46	0,77	7,14	1,28	-0,06
2934-60004	20-09-89	" 44 m.	"	"	5655	1330	41,83	0,79	7,24	1,2	-0,01
2934-60005	21-04-89	Bombea	35	7	4827	1290	47,44	0,87	11,62	0,99	-0,02
2934-60005	2-08-89	Bombea	"	"	5046	1290	44,93	0,91	11,32	1,08	0,02
2934-60006	2-08-89	Bombea	60	-12	5202	1445	48,05	1,0	11,84	0,96	0,11



77

Fig. 9.4

ACUIFERO SAN JUAN - CAMPELLO

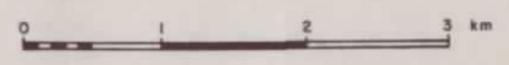
ISOCLORUROS

(Campaña Mayo - Abril 1989)

— Límite del acuífero

500 — Isocloruros (mg/l)

●	Punto muestreado	60009	Núm. de I. R. H.
		1290	Contenido en ion cloruro





78

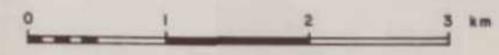
Fig. 9.5

ACUIFERO SAN JUAN - CAMPELO

ISOCLORUROS

(Campaña Agosto - Septiembre 1989)

-  Límite del acuífero
 -  1000 Isocloruros (mg/l)
 -  Punto muestreado
- | | |
|--------|--------------------------|
| 510009 | Núm. de I.R.H. |
| 1912 | Contenido en ion cloruro |



los mínimos valores al sector próximo a Cabo Azul, donde oscila entre 0,6 y 0,8, observándose una ligera tendencia a incrementarse en el mes de Agosto, donde solamente una muestra alcanza el valor 1. La relación rSO_4/rCl también se aproxima al valor 1, situándose generalmente por encima de este valor en el mes de Abril y detectándose una tendencia a descender en Agosto.

El índice de cambio de bases se sitúa, con escasas variaciones, alrededor del valor cero, pasando de valores negativos a positivos de Abril a Agosto, como consecuencia de la tendencia que existe a incrementarse el contenido en cloruros en la época estival.

Respecto a la relación rCl/rCO_3H los valores alcanzados suelen ser de 11 a 14, con un máximo de 24,91 en Abril en el punto 2934-20004 y unos mínimos, también en el mes de Abril, en la zona de Cabo Azul, de 5,82 a 7,48. En general se aprecia un aumento de esta relación al final del verano, así como una tendencia a incrementar su valor cuanto menor sea la cota de fondo de la captación. Las altas cifras alcanzadas por esta relación, contrastan con las obtenidas para las demás relaciones iónicas. Así, mientras el índice rCl/rCO_3H parece indicar un avanzado proceso de intrusión marina, los restantes índices no manifiestan en absoluto la presencia de tal fenómeno.

En todo caso, se trata de aguas de baja calidad natural, con altos contenidos en sales disueltas, en especial en cloruros, sulfatos y sodio, de forma que sus usos están bastante limitados incluso para el riego agrícola. El origen de esta mala calidad natural puede proceder en gran parte del lavado de los materiales margosos, que constituyen el impermeable de base en los sectores occidental y septentrional, que es donde se produce la mayor recarga.

Efectivamente, los datos hidroquímicos disponibles de captaciones situadas al Oeste de Muchamiel, revelan facies

cloruradas-sulfatadas mixtas en las aguas de este sector, con porcentajes en meq/l de Cl⁻ y Na⁺ superiores al 50% y de sulfatos al 30%, con salinidades próximas a los 3 gr/l. En esta zona, que dista entre 5 y 7 km de la costa, las captaciones presentan sus cotas de fondo de obra claramente por encima del nivel del mar y por tanto, el carácter preferentemente clorurado sódico de sus aguas no se debe a una influencia directa del agua del mar.

Por otro lado, si se relaciona el sentido general de flujo del agua subterránea con la calidad de la misma, se observa un progresivo aumento en el total de sales disueltas con la dirección NO-SE, a costa de incrementar el contenido en cloruros, sodio y sobre todo sulfatos. Sin embargo este hecho parece estar más relacionado con la distancia al mar que con un prolongado recorrido y tiempo de contacto del agua en el acuífero.

9.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

Para analizar la situación de la intrusión marina en el acuífero de San Juan-Campello hay que tener en cuenta dos aspectos principales: por un lado, la baja calidad natural que presentan sus aguas y por otro la gran superficie de contacto acuífero-mar. Respecto a la calidad natural del acuífero, su facies clorurada-sulfatada mixta (con predominio de los iones cloro, sulfato y sodio, como ya se ha dicho) ocasiona que sea difícil distinguir con claridad las zonas en las que se produce una relación con el agua del mar. Sin embargo, las altas concentraciones en cloruros encontradas en la práctica totalidad de los puntos muestreados, no puede explicarse más que considerando una extensa zona de mezcla que afecta a la mayor parte del acuífero.

Efectivamente el acuífero se encuentra ampliamente comunicado con el mar a lo largo de casi 15 km de costa. Esto hace que las captaciones situadas al Este y Sur de Campello y proximidades de San Juan de Alicante, a lo largo de una franja

paralela a la costa de 3 km de anchura, se vean afectadas por la gran penetración de la zona de difusión en mayor o menor medida dependiendo de la profundidad de la obra y del caudal extraído. Las captaciones con cotas de fondo de obra por debajo del nivel del mar son las que presentan mayores contenidos en cloruros, total de sales disueltas, conductividad y mayores valores de la relación rCl/rCO_3H , único índice que se ha mostrado eficaz para detectar la presencia de intrusión marina.

Por otro lado, también es posible establecer una relación entre el flujo del agua subterránea y el estado del acuífero respecto a la intrusión marina. Tomando como referencia la piezometría y los análisis químicos realizados en la campaña de Agosto, la de mayor puntos de muestreo, parece existir un incremento en el total de sales disueltas, conductividad y contenido en cloruros en relación con el sentido de flujo subterráneo. Así, en la zona nororiental, próximo a Cabo Azul, con una cota piezométrica de 5 a 10 m.s.n.m. y con una mayor descarga al mar en ese sector, los contenidos en cloruros son más bajos (900 a 1200 mg/l) que en la zona al Sur de San Juan de Alicante, donde la descarga al mar sería prácticamente nula y con una piezometría próxima al nivel del mar (próximo a la cota 0). Los valores de los parámetros hidroquímicos se elevan considerablemente (más de 6 gr/l de salinidad, entre 6000 y 8000 microsiemen/cm y casi 2000 mg/l de cloruros) en captaciones que se sitúan entre 1 y 2 km de la playa de la Albufereta, como consecuencia de que el fondo de los pozos se sitúa a cotas negativas.

Por último, cabe destacar que la tendencia a que predomine el ión cloruro sobre el sulfato en la época estival se debe probablemente a la menor recarga y a la puesta en funcionamiento de captaciones que sólo lo hacen en épocas de sequía, en las que se observa, además, un aumento de la salinidad con el tiempo de bombeo. Esta circunstancia tiene su influencia también en el índice de cambio de bases (que pasa de valores

negativos a positivos en el período de Abril a Agosto) y en la tendencia al incremento de las relaciones rMg/rCa y rCl/rCO_3H , así como en la disminución de la relación rSO_4/rCl .

Dado que los caudales explotados no son muy importantes y que las evoluciones hidroquímicas en los últimos años no muestran tendencias preocupantes (según los datos disponibles) no parece que la situación del acuífero, respecto a la intrusión marina, vaya a empeorar a corto plazo.

9.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

En el Acuífero de San Juan-Campello la explotación se ha estimado en $0,2 \text{ hm}^3/\text{año}$ como máximo, para diferentes usos. En general se trata de explotaciones de escasa importancia, destinadas al riego de unas pocas hectáreas de cultivos, localmente al abastecimiento de pequeñas industrias y a usos recreativos en fincas particulares, pero en ningún caso se destina al abastecimiento de urbanizaciones turísticas o poblaciones.

Por otro lado, la calidad de estas aguas, deterioradas por la presencia de intrusión marina, las hace no aptas para el consumo humano; también los suelos que son regados por estas aguas presentan un alto riesgo de alcalinización y muy alto riesgo de salinización del suelo, por lo que las aguas del acuífero son inadecuadas para regadío en cualquier tipo de cultivos.

En definitiva la incidencia del fenómeno de intrusión en este acuífero sólo está limitada a un sector agrícola de unas pocas hectáreas. Por otro lado, la calidad y pobres características hidráulicas del acuífero reducen considerablemente las posibilidades de utilización de volúmenes mayores de agua, tanto para abastecimiento como para regadío, por

lo que cualquier iniciativa que considere en el futuro la utilización de recursos hídricos a mayor escala en la zona, deberá tener en cuenta que las necesidades tendrán que satisfacerse con recursos ajenos al acuífero.

10. VILLAJYOYOSA

10.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

El acuífero está formado por gravas y arenas, principalmente, con intercalaciones de limos arcillosos, del Cuaternario. Se trata de abanicos aluviales con depósitos más gruesos en las proximidades de las elevaciones topográficas que van haciéndose más finos a medida que se aproximan a la costa. El impermeable de base está constituido esencialmente por arcillas del Eoceno, con algún nivel calcáreo de escasa potencia.

Los límites del acuífero (ver figura 10.1) vienen definidos por el contacto de los materiales cuaternarios con los afloramientos arcillosos del Eoceno. La superficie total es de 17 km².

El espesor alcanzado por los materiales varía con frecuencia de unas zonas a otras, situándose generalmente entre los 5 y 15 m, aunque puede alcanzar un máximo de 50 m en sectores muy localizados. Así, al Este del río Torres el espesor supera los 40 m, constituyendo esta zona un hundimiento en los materiales del impermeable de base provocado por la acción de una falla cuya traza discurre aproximadamente por el cauce del mencionado río. También, en el sector del río Sella, situado inmediatamente al Oeste de La Ermita, parece existir una depresión en la que el relleno del material cuaternario puede superar los 30 m.

El muro del acuífero se encuentra en su práctica totalidad a cotas positivas y solamente una pequeña franja paralela a la costa se situaría por debajo del nivel del mar.

En este acuífero, la interpretación de la campaña geofísica eléctrica ha confirmado la idea que anteriormente se tenía en cuanto a la proximidad del impermeable de base, así como de la escasa potencia de los materiales permeables.

10.2. PIEZOMETRIA

Se han llevado a cabo dos campañas piezométricas, una en Mayo y la otra en Septiembre de 1989, sobre un total de 5 puntos, reflejándose los resultados en el cuadro nº 10.1. En base a dichas medidas se han confeccionado los mapas de isopiezas correspondientes a ambas campañas (figuras 10.2 y 10.3).

En Mayo, los niveles piezométricos oscilan entre 39 m.s.n.m. en la zona del Caserío de Banets y más de 9 m.s.n.m. en Villajoyosa, a 800 m de la costa. En Septiembre, se mantienen prácticamente los mismos valores máximo y mínimo.

En general, excepto para el punto 2933-80034 en el que desciende el nivel 3,5 m de una estación a otra, los niveles piezométricos del acuífero tienden a mantenerse en las mismas cotas desde la primavera hasta el final del verano.

La morfología mostrada por las isopiezas es similar en ambas campañas, con gradientes comprendidos entre el 20 por mil, en la zona occidental del curso del río Sella hasta Villajoyosa, y el 60 por mil, en la zona oriental, entre Michans y Triana, muy cerca ya de la costa.

Ambos mapas de isopiezas muestran una pequeña convexidad en las curvas isopiezas próximas al río Sella en el sector occidental, debido al efecto de drenaje producido por las numerosas captaciones de la zona y también al pequeño drenaje a favor del río Sella, como lo demuestra la presencia de alguna surgencia natural en el curso del río, aunque con escaso caudal.

ACUIFERO DE VILLAJYOYA
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

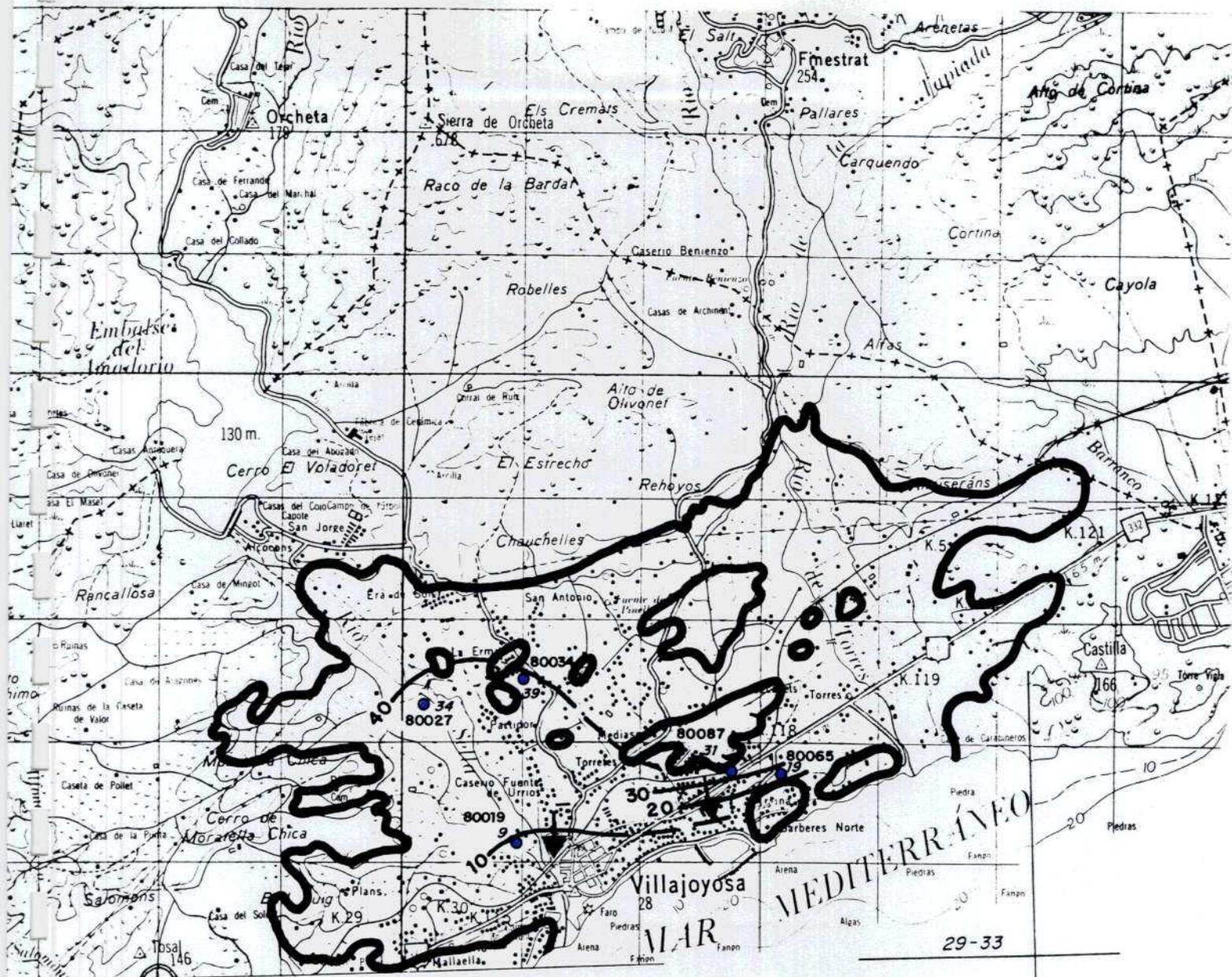
CLAVE DEL ACUIFERO:GB37

PERIODO DE CONTROL:10-05-89/29-09-89

N IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
293380019	10.20	8.80	21/05/89	A
293380019	10.01	8.99	28/09/89	D
293380027	26.30	33.70	11/05/89	E
293380027	25.10	34.90	28/09/89	E
293380034	2.10	38.90	11/05/89	E
293380034	6.49	34.51	28/09/89	E
293380065	13.02	18.98	11/05/89	D
293380065	10.23	21.77	28/09/89	E
293380087	10.00	31.00	21/05/89	A
293380087	0.49	40.51	28/09/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 10
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estatico;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)



ACUIFERO DE VILLAJOYOSA

ISOPIEZAS

(Campaña Abril-Mayo 1989)

- 40 ————— Curva Isopieza
- > Sentido del flujo
- Límite de acuífero

- Punto acuífero
- | | |
|--------|--|
| 80034 | Núm. de I.R.H. |
| 39 | Nivel piezométrico (m.s.n.m.) |
| 19 (*) | Nivel piezométrico dinámico (m.s.n.m.) |

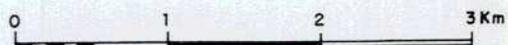
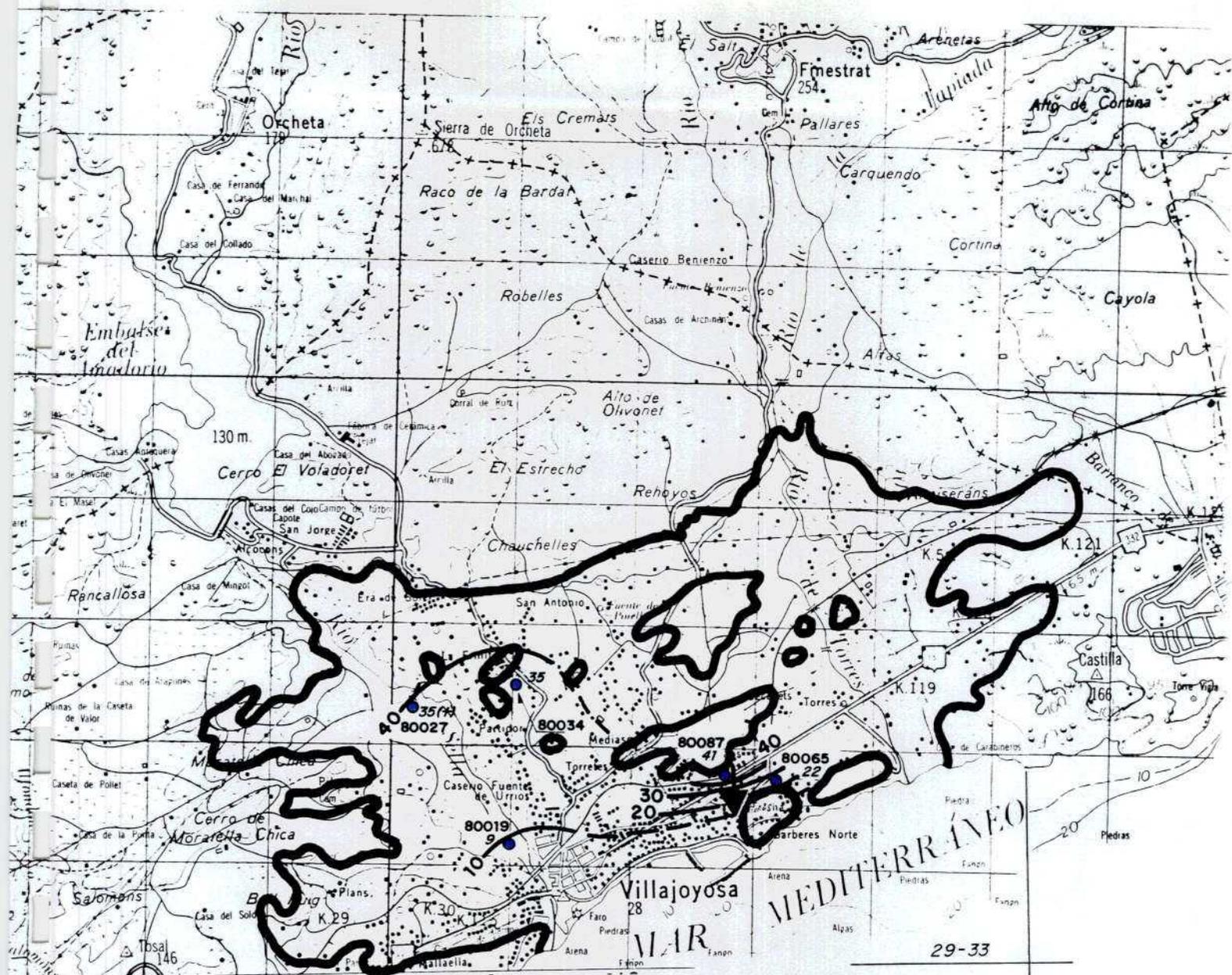


Fig. 10.2



ACUIFERO DE VILLAJOYOSA

ISOPIEZAS

(Campaña Agosto-Septiembre 1989)

- 40 ——— Curva Isopieza
- Sentido del flujo
- Límite de acuífero

- Punto acuífero
- | | |
|-------|--|
| 80087 | Núm. de I.R.H. |
| 41 | Nivel piezométrico (m.s.n.m.) |
| 35(+) | Nivel piezométrico dinámico (m.s.n.m.) |



Fig. 10.3

Como ya se ha comentado, no existe apenas diferencia de una campaña a otra, permaneciendo los niveles siempre a cotas positivas.

10.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

En el acuífero de Villajoyosa se han muestreado 6 puntos en total, recogándose muestras en primavera (meses de Abril y Mayo) y final de verano (meses de Agosto y Septiembre). Las características mas importantes de los puntos muestreados, así como de los análisis efectuados, se reflejan en el cuadro nº 10.2.

Las aguas subterráneas del acuífero de Villajoyosa presentan facies sulfatadas cloruradas, en cuanto a los aniones se refiere (exceptuando el punto 2933-80027 que es sulfatada clorurada) y mixtas en cuanto a los cationes. El anión dominante es el sulfato, con porcentaje en meq/l del 50%. Entre las cationes generalmente son el calcio y el sodio los más abundantes (entre el 30 y 40%), seguidos muy de cerca del magnesio.

La salinidad (referida a T.S.D.) oscila entre 1,5 y 3 gr/l, con un escaso incremento entre la primavera y el final del estiaje. La conductividad varía entre 1500 y 2900 microsiemens/cm (a 20°C), en Abril y 2200 y 3500 microsiemens/cm, en Septiembre.

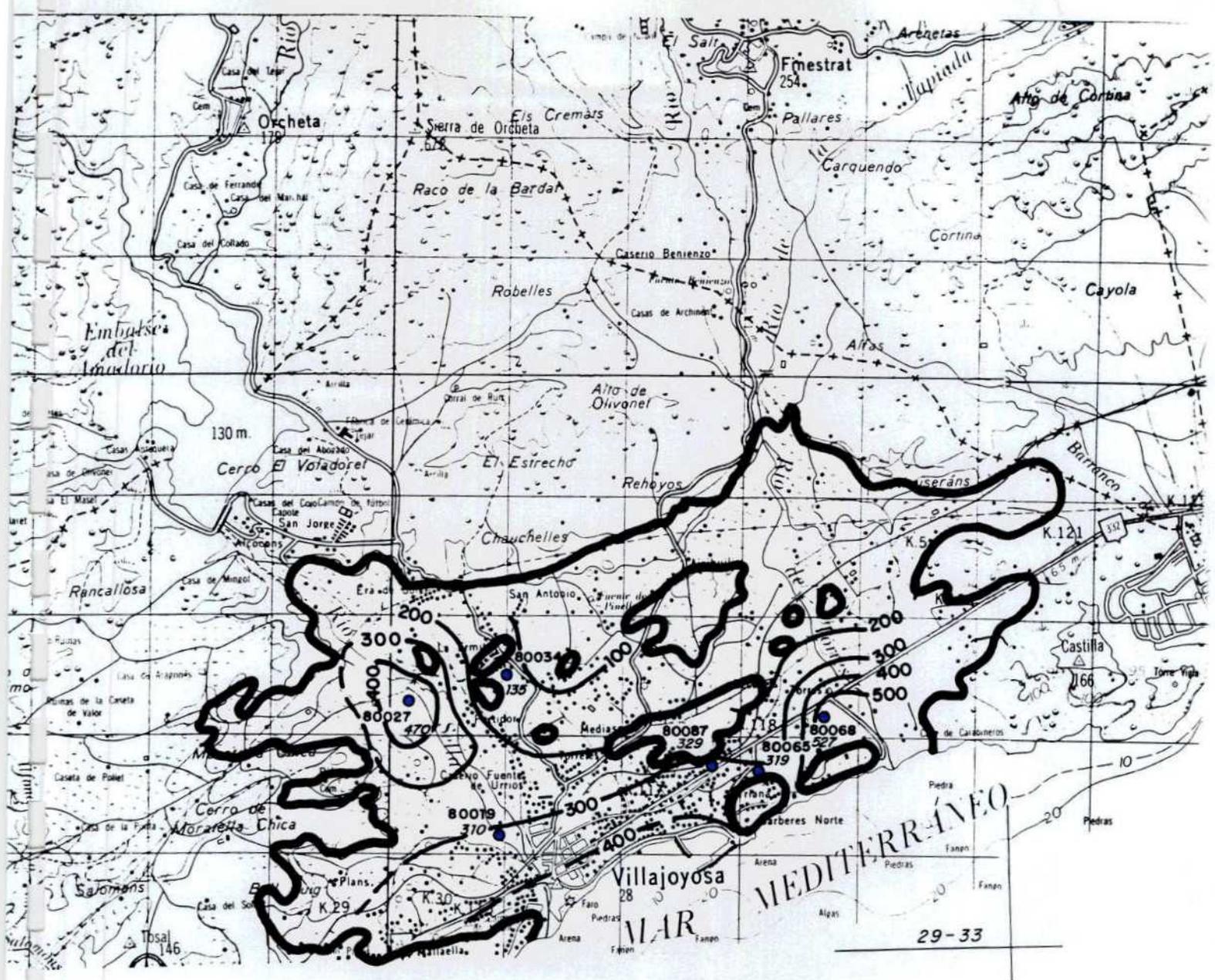
En cuanto al contenido en cloruros puede verse su distribución espacial y su variación temporal en las figuras 10.4 y 10.5, correspondientes a ambos períodos de muestreo. En primavera el contenido de este ión oscila entre los 135 y 527 mg/l. Al final del verano estas concentraciones se sitúan entre los 277 y 477 mg/l. No se observan, pues, grandes diferencias de unos lugares a otros, ni tampoco una tendencia apreciable a incrementarse estacionalmente y su valor medio se sitúa y mantiene entre los 300 y 400 mg/l.

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Cuaternario de Villajoyosa

Nº I. R. H.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₂ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
2933-80019	24-04-89	Bombeando	20	- 1	1860	310	30,59	0,88	2,29	1,71	-0,15
2933-80019	28-08-89	Bombea 10 min.	"	"	2164	313	27,25	0,79	1,59	1,86	-0,28
2933-80027	15-05-89	Reposo	48	12	1499	470	54,93	0,63	12,44	0,64	0,44
2933-80027	28-09-89	"	"	"	1550	477	53,68	0,68	9,54	0,69	0,43
2933-80034	11-05-89	"	10	31	1185	135	22,04	0,77	1,09	2,42	-0,70
2933-80034	28-09-89	"	"	"	2938	413	25,99	0,88	1,96	2,00	-0,19
2933-80065	15-05-89	Bombeando	30	7	2353	319	25,48	1,07	1,76	2,06	-0,56
2933-80065	28-09-89	Reposo	"	"	1981	277	26,63	0,95	1,52	1,78	-0,42
2933-80068	24-04-89	Bombea	246	-226	2077	527	46,07	1,59	6,04	0,73	-0,18
2933-80068	28-09-89	Bombea 1 hora	"	"	2179	380	32,8	0,82	1,87	1,32	-0,23
2933-80087	25-04-89	Bombeando	41	31	2129	329	29,01	1,11	2,28	1,67	-0,43
2933-80087	28-09-89	Reposo	"	"	3006	413	25,47	1,04	2,25	2,15	-0,42



82

ACUIFERO DE VILLAJOYOSA

ISOCLORUROS

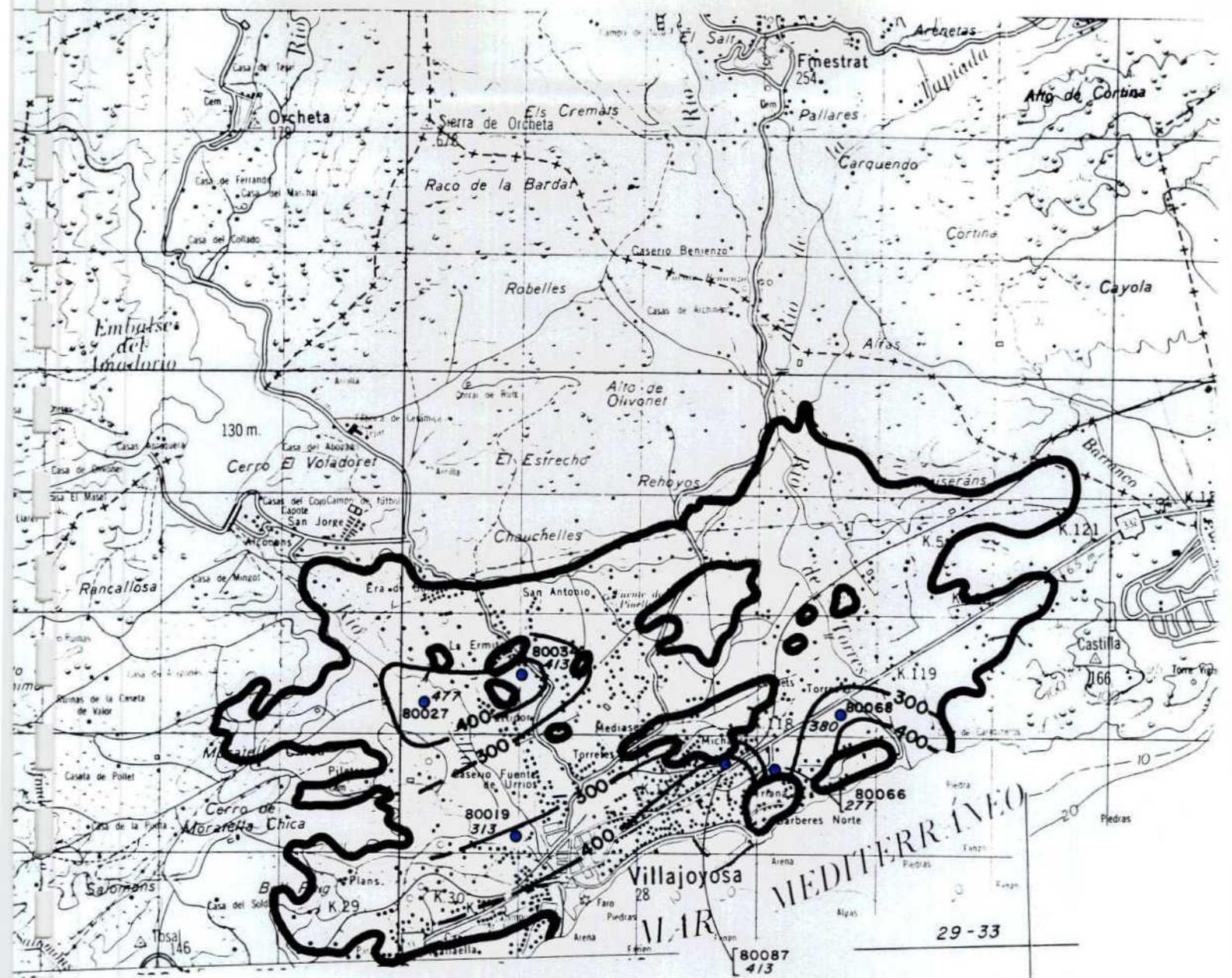
(Campaña Abril-Mayo 1989)

300 ——— Isocloruros (mg/l)
 ——— Límite del acuífero

● Punto muestreado — 80034 Núm. de I.R.H.
 135 Contenido en ión cloruro



Fig. 10.4



ACUIFERO DE VILLAJOYOSA

ISOCLORUROS

(Campaña Agosto-Septiembre 1989)

300 ————— Isocloruros (mg/l)
 ————— Límite del acuífero

● Punto muestreado ——— 80063 Núm de I.R.H.
 277 ——— 277 Contenido en ión cloruro

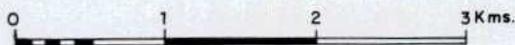


Fig. 10.5

Los índices hidroquímicos tampoco muestran variaciones espaciales ni temporales importantes. La relación rMg/rCa se mantienen en torno al valor 1, prácticamente en todos los puntos muestreados, incluso se detecta una ligera tendencia a disminuir su valor en el período de Abril a Septiembre. La relación rSO_4/rCl se sitúa generalmente entre 1 y 2 y el índice de cambio de bases casi en todos los casos presenta valores negativos. Respecto a la relación rCl/rCO_3H raramente supera el valor 3, y únicamente en el punto 2933-80027 alcanza valores considerables (12,44 en Abril y 9,54 en Septiembre) y en el punto 2933-80068, que en primavera llega a ser de 6. A pesar de que en los mencionados puntos de muestreo se superen los valores considerados como normales, no parece probable que sean reflejo o indicio de intrusión marina, ya que los aumentos de esta relación no van acompañados de variaciones paralelas en los demás índices, sino más bien se tratan de anomalías locales ligadas a la litología salina basal de las arcillas del Eoceno.

Por último hay que señalar que se han detectado, como en el caso de otros acuíferos objeto del presente trabajo, importantes cantidades de nitratos, que en algunos sectores superan los 200 mg/l, debido a la aplicación excesiva, en agricultura de los abonos nitrogenados.

10.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

Puede afirmarse que el acuífero de Villajoyosa en la actualidad no presenta problemas de contaminación por intrusión marina. Esta afirmación viene apoyada por los siguientes hechos:

- La práctica totalidad de la superficie del muro impermeable del acuífero se encuentra a cotas positivas y solamente en un pequeño sector muy próximo a la costa se sitúa ligeramente por debajo de la cota cero.
- La superficie piezométrica se mantiene a cotas elevadas

por encima del nivel del mar durante todo el año, con escasas variaciones estacionales.

- El estudio hidroquímico de las muestras de agua pone de manifiesto que ninguno de los parámetros analizados presenta valores indicativos de la existencia de intrusión marina y que el alto contenido de algunos de ellos está ligado a la naturaleza arcilloso-salina del impermeable de base.
- Las escasas salidas ocultas de este acuífero al mar (estimadas en 0,5 hm³/año) suponen un caudal por unidad de superficie suficiente para mantener un equilibrio agua continental-agua marina, satisfactorio para la calidad del acuífero, en lo que a intrusión marina se refiere (RODRIGUEZ HERNANDEZ y MEDINA GIL, 1988).

Por todas estas circunstancias es previsible que tal situación se mantenga estable en el futuro.

10.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

El municipio de Villajoyosa cuenta actualmente con una población permanente de 24.000 habitantes, que en la época estival puede alcanzar una cifra próxima a los 60.000 habitantes; el abastecimiento público se realiza mediante recursos hídricos ajenos al acuífero del mismo nombre. Por otro lado existen en su término unas 1.900 has dedicadas a cultivos de regadío, de las cuales sólo una pequeñísima parte se riegan con aguas subterráneas, cuya explotación se ha estimado en unos 50.000 m³/año.

Por todo lo dicho, la incidencia del fenómeno de intrusión marina en el acuífero de Villajoyosa es nula

actualmente y, de producirse en un futuro, sus efectos tendrían escasa repercusión.

11. BENIDORM-ALTEA

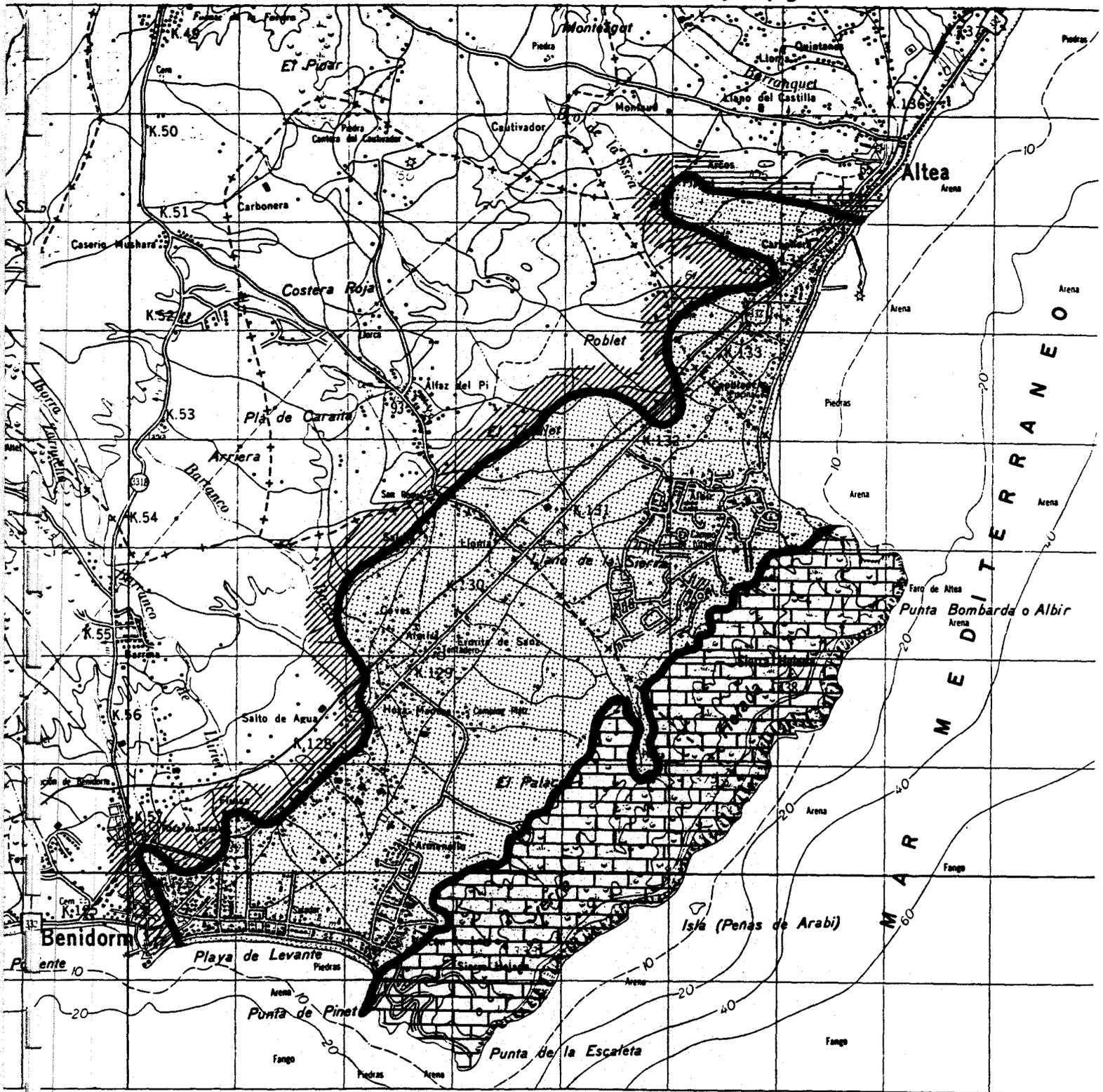
11.1. GEOMETRIA DEL ACUIFERO

El acuífero de Benidorm-Altea está constituido por un relleno de materiales cuaternarios (esencialmente gravas y arenas con intercalaciones de materiales más finos) que se extienden por la llanura situados al Oeste de Sierra Helada. Presenta una superficie de 16 km².

En general puede decirse que se trata de un acuífero de pequeño espesor (de una decena de metros como media), aunque en algunos sectores puede superar localmente los 20 m. La mayoría de las captaciones en él ubicadas extraen pequeños caudales y es frecuente que los pozos se agoten tras unas pocas horas de bombeo; la mayoría se utiliza solamente en épocas de sequía.

Como en el caso del acuífero de San Juan-Campello, la dificultad práctica para realizar una campaña de prospección geofísica eléctrica, motivada por la gran densidad de urbanizaciones existentes, ha hecho imposible su definición geométrica en profundidad, por lo que sólo pueden establecerse con ciertas imprecisiones los límites del acuífero (figura 11.1).

Así, por el Norte, desde la costa hasta el paraje del Planet, a 2 km al Oeste de Altea, el límite viene definido por los afloramientos del impermeable de base, que en este sector corresponde a las margas del Eoceno. Por todo el borde Oeste, desde el Planet hasta Benidorm, el límite está constituido por los afloramientos y subafloramientos de las margas y margocalizas del Cretácico superior.



LIMITES DEL ACUIFERO DE BENIDORM-ALTEA

LEYENDA

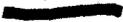
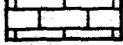
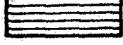
- | | | |
|---|---------------------------------------|--|
|  | Límite del acuífero | |
|  | CUATERNARIO (Gravas y arenas) | } Afloramientos de rocas permeables |
|  | CRETACICO INFERIOR (Calizas y margas) | |
|  | EOCENO (Arcillas) | } Afloramientos o subafloramientos del impermeable de base |
|  | CRETACICO SUPERIOR | |



Fig. 11.1

La zona del Este y Sureste corresponde al macizo de Sierra Helada, que está constituida por una formación de calizas y margocalizas del Cretácico inferior buzantes hacia el Noreste. La continuidad de estos materiales bajo el acuífero cuaternario no se ha podido comprobar por ausencia de columnas (litológicas de sondeos) aunque lo lógico es que sea así; según esto se podría pensar, en principio, que existe comunicación hidráulica entre los materiales carbonatados de Sierra Helada y los detríticos cuaternarios de la llanura, de manera que constituyen un solo acuífero. Sin embargo, en base a datos hidroquímicos y de piezometría, parece deducirse que esto no es así.

Efectivamente, el nivel piezométrico en Sierra Helada alcanza cotas que, al final de la estación húmeda, se sitúan próximas a los 20 m.s.n.m. (en el pozo 3330-60015 que abastece a AQUALANDIA), cifra superior a los niveles alcanzados en la llanura, por lo que podría pensarse que existe una alimentación a la misma procedente de Sierra Helada. No obstante, los análisis químicos efectuados sobre muestras de los sondeos que captan agua de la Sierra Helada, ponen de manifiesto el diferente quimismo entre estas aguas y las de la llanura, encontrándose mucho más salinizadas las primeras, con una facies muy similar a la del mar.

Algunas captaciones que explotan el acuífero cuaternario, tienen su cota de fondo de pozo negativa y los niveles piezométricos se sitúan en torno a la cota cero.

Esta situación podría explicarse suponiendo que en la base del acuífero Cuaternario existe un tramo de materiales más finos, limos y arcillas, que lo desconectan de los materiales permeables de Sierra Helada. También es muy posible que exista un tramo de margas y margocalizas hacia el techo de la formación de Sierra Helada, que reforzaría el impermeable de base del Cuaternario; ambas situaciones, que pueden darse conjuntamente, se han esquematizado en la figura 11.2.

NO.

SE.

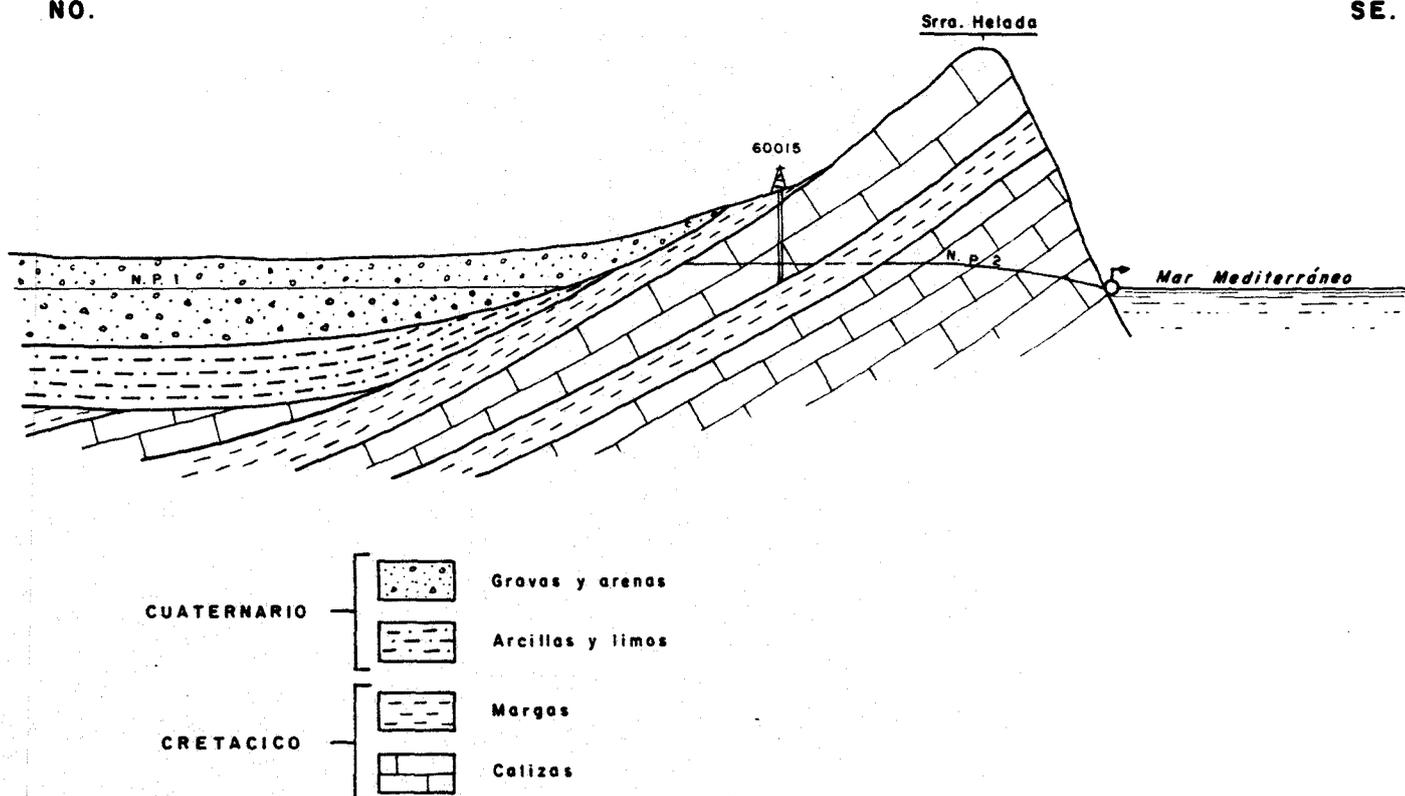


Fig. 11.2 Esquema hidrogeológico de los acuíferos de Sierra Helada y Benidorm-Altea.

Por otro lado, la existencia de una cota piezométrica positiva en el macizo de Sierra Helada, suponiendo cierta la hipótesis anterior, implicaría que en esta zona el flujo del agua subterránea sería hacia el mar, con un gradiente que oscilaría entre el 10 y el 20 por mil, realizándose la descarga a través de manantiales que se localizarían a lo largo de la vertiente oriental. Sin embargo, no se tiene evidencia de tales surgencias en este sector y, por el contrario, sí se tienen noticias de que el agua de Sierra Helada descarga en la vertiente meridional, en una estrecha zona entre la Punta de la Escaleta y la Punta de Pinet. Esto supondría, por un lado, la confirmación de la hipótesis de que no existe conexión entre Sierra Helada y el Cuaternario de la llanura, y por otro la existencia de un segundo

nivel margoso intercalado entre las calizas que impediría la conexión con el mar en la vertiente oriental de Sierra Helada. Esta circunstancia también se ha reflejado en la figura 11.2.

Por último se aconseja, que la hipótesis de desconexión hidráulica entre la Sierra Helada y la llanura de Benidorm-Altea debería comprobarse mediante un estudio específico (campaña de Geofísica eléctrica o sondeos de investigación con registros de conductividad), dada la importancia que alcanza la intrusión marina en Sierra Helada.

11.2. PIEZOMETRIA

En el acuífero de Benidorm-Altea se han realizado dos campañas piezométricas, una en Abril y otra en Agosto, sobre un total de 9 puntos, realizándose 9 medidas en la primera campaña y 7 en la segunda. Todas ellas se muestran en el cuadro nº 11.1.

En el mes de Abril la cota del nivel piezométrico se encontraba entre los 29 m.s.n.m. del punto 3033-60013, en la zona situada al Este de San Roque, y los casi 3 m.s.n.m. del punto 3033-60001, al Noreste de Benidorm. Junto a Benidorm, en el sector suroccidental del acuífero situado a 1 km de la playa de Levante, el nivel piezométrico está a 5 m.s.n.m. y en la zona litoral próxima a Altea, en el extremo nororiental del acuífero, entre 5 y 6 m.s.n.m.

En la campaña de Agosto, los niveles mantienen prácticamente los mismos valores que en Abril, con ligeros descensos del orden de medio metro o incluso menos, excepto en el macizo de Sierra Helada donde en este período los niveles descienden más de 7 m.

Las figuras 11.3 y 11.4 representan las isopiezas correspondientes a ambas campañas.

Cuadro 11.1

ACUIFERO DE BENIDORM - ALTEA
RELACION DE MEDIDAS PIEZOMETRICAS

CLAVE DEL ACUIFERO:GB15

PERIODO DE CONTROL:23-04-89/23-08-89

N	IRH	PNP(m)	CNP(m)	FECHA	OBSERVACIONES
303320020		11.50	5.50	24/04/89	E
303320020		11.65	5.35	22/08/89	E
303350005		13.75	6.25	24/04/89	E
303350005		14.20	5.80	22/08/89	E
303350011		20.01	7.99	24/04/89	E
303350011		20.30	7.70	22/08/89	E
303350014		14.50	5.50	24/04/89	E
303350014		14.65	5.35	22/08/89	E
303350016		8.20	4.80	24/04/89	E
303360001		10.30	2.70	24/04/89	E
303360001		12.55	0.45	22/08/89	E
303360004		9.92	5.08	24/04/89	E
303360013		12.60	29.40	24/04/89	E
303360013		11.35	30.65	22/08/89	E
303360015		74.50	20.50	24/04/89	E
303360015		81.58	13.42	22/08/89	E

NUMERO DE PUNTOS MEDIDOS.....: 16
 NUMERO DE PUNTOS VISITADOS SIN MEDIDA: 0

(A=Afectado ; D=Dinamico)
 (E=Estático;R=Recuperando)
 (S=Surgente)
 (0.01=Punto visitado sin medida)



ACUIFERO BENIDORM-ALTEA

ISOPIEZAS

(Campaña Abril-Mayo 1.989)

- 30 ——— Curva Isopieza
- Sentido del Flujo
- Límite de Acuífero

● Punto acuífero — 50005 Núm. de I. R. H.
6 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)

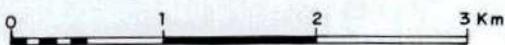
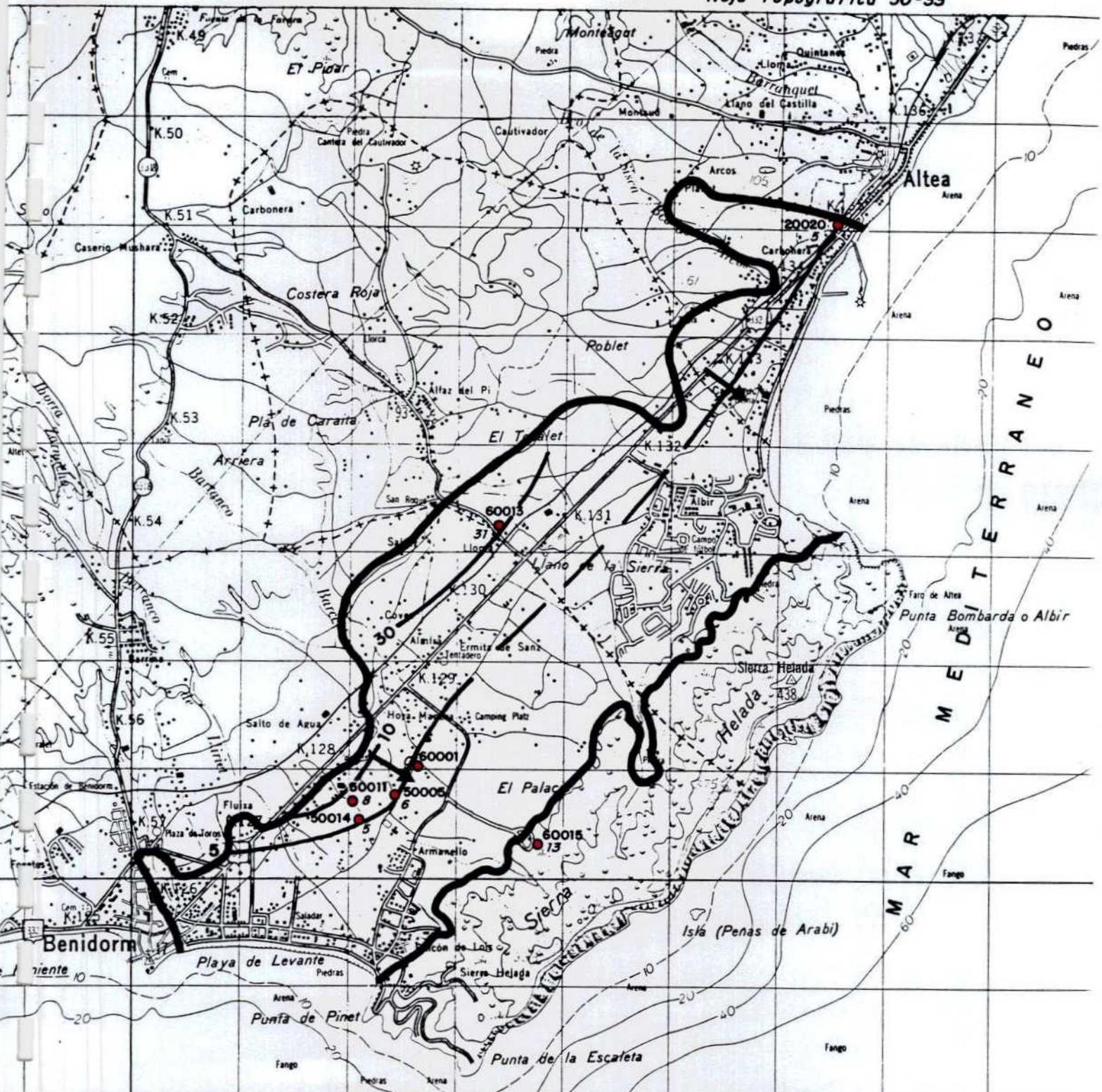


Fig. 11.3



86

ACUIFERO BENIDORM-ALTEA

ISOPIEZAS

(Campaña Agosto-Septiembre 1989)

- 30 ——— Curva Isopieza
- Sentido del flujo
- Límite de Acuífero

● Punto acuífero — 50005 Núm. de I.R.H.
6 Nivel piezométrico (m.s.n.m.)



Fig. 11.4

El flujo subterráneo se dirige de la zona occidental hacia las zonas de costa al Sur de Altea y al Este de Benidorm, que es donde se concentra la mayoría de las captaciones del acuífero, sobre todo en el sector próximo a Benidorm. En estos lugares los niveles dinámicos alcanzan cotas ligeramente negativas.

11.3. ESTUDIO HIDROQUIMICO

Se dispone de 18 análisis de muestras de agua recogidas en dos campañas de muestreo sobre un total de 9 puntos. Las características más importantes de estos puntos muestreados, así como de los análisis realizados, se pueden ver en el cuadro nº 11.2.

Las facies son cloruradas sulfatadas a mixtas, en lo que a aniones se refiere y sódico-cálcicas a mixtas, en cuanto a los cationes, excepto para el punto 3033-20020 que presenta facies sulfatada clorurada y mixta respecto a los cationes, con porcentajes en meq/l para los iones $SO_4=$ y Ca^{2+} superiores al 50%. En el resto de los puntos muestreados, son el cloro y el sodio los iones mayoritarios con porcentajes medios en torno al 40%

En Sierra Helada las muestras analizadas revelan un marcado carácter clorurado sódico con porcentajes (en meq/l) del orden del 80 y 70% respectivamente.

En las muestras recogidas que captan los materiales cuaternarios, el total de sales disueltas oscila entre 1600 y 2700 mg/l y la conductividad va de 2200 a 3000 microsiemens/cm (a 20°C), mostrando ambos parámetros una diferencia prácticamente nula en el período comprendido entre el mes de Abril y el de Agosto.

Las captaciones que extraen agua del macizo de Sierra

CARACTERISTICAS DE LOS PUNTOS MUESTREADOS

Unidad

Acuífero Cuaternario de Benidorm

Nº I. R. N.	FECHA	M E T O D O	FONDO DE LA OBRA		T. S. D. (mg/l)	CLORUROS		rMg/rCa	rCl/rCO ₂ H	rSO ₄ /rCl	I. e. b.
			Profund.(m)	COTA (m s. n. m.)		(mg/l)	% meq/l				
3033-20020	26-04-89	Reposo	13	4	2745	366	25,21	0,41	2,01	2,3	-0,19
3033-20020	22-08-89	"	"	"	2578	315	22,86	0,39	1,63	2,63	-0,11
3033-50005	26-04-89	Bombea 1 hora	17	3	1742	283	32,13	1,5	1,23	0,91	-1,25
3033-50005	22-08-89	Bombeando	"	"	1801	322	34,57	1,11	1,17	0,79	-0,84
3033-50011	26-04-89	Bombea 15 min.	23	5	1936	680	61,05	1,60	4,52	0,29	0,18
3033-50011	22-08-89	Bombea 5 min.	"	"	2028	676	59,01	1,22	3,23	0,29	0,17
3033-50014	26-04-89	Bombea 15 min.	20	"	2110	513	43,93	1,12	4,93	0,92	-0,17
3033-50014	22-08-89	Bombea minutos	"	"	2257	510	41,05	1,0	2,57	0,92	-0,08
3033-60001	26-04-89	Bombea 10 min.	15	-2	1677	334	39,01	1,38	1,67	0,64	-0,75
3033-60001	22-08-89	Reposo	"	"	1618	385	44,72	1,62	1,87	0,5	-0,43
3033-60004	26-04-89	Bombea horas	15	0	196	14	14,58	0,46	0,26	1,58	0,16
3033-60004	22-08-89	" "	"	"	1831	388	41,02	0,97	1,65	0,69	-0,12
3033-60013	26-04-89	Reposo	20	22	2157	580	48,38	1,01	3,23	0,61	0,05
3033-60013	22-08-89	"	"	"	2240	490	40,34	0,94	2,38	0,84	-0,07
3033-60014	27-04-89	Bombea 10 min.	90	-10	6444	3196	83,04	1,37	17,02	0,14	0,11
3033-60014	22-08-89	Bombeando	"	"	11605	6380	88,58	1,70	48,14	0,11	0,23
3033-60015	27-04-89	Bombea 10 min.	120	-25	32082	18105	90,80	3,39	175,96	0,1	0,18
3033-60015	22-08-89	Bombeando	"	"	34634	19550	90,78	3,60	460,7	0,1	0,17

Helada presentan contenidos en sales que pueden llegar a superar los 34000 mg/l en verano, con valores muy altos de conductividad (47400 microsiemens/cm) y con contenidos en cloruros del orden de 19000 mg/l en el punto 3033-60015 en el mes de Agosto. Estas captaciones, con cotas de fondo de pozo y niveles dinámicos netamente negativos, están extrayendo en realidad agua del mar, a pesar de encontrarse a más de 1 km de la costa.

En las figuras 11.5 y 11.6 se han reflejado las líneas de igual contenido de cloruros, en mg/l, para los dos períodos de muestreo en el acuífero de Benidorm-Altea.

En el mes de Abril, dejando de lado el resultado anómalo del punto 3033-60004, el contenido en cloruros varía entre 283 y 680 mg/l, en el sector más próximo a Benidorm, situándose alrededor de los 300 mg/l, al Sur de Altea. En Agosto la situación es completamente similar, con escasas variaciones respecto a la distribución y el valor del contenido en este ión.

Espacialmente existe un empeoramiento de la calidad del agua de Este a Oeste, como se pone de manifiesto en las muestras correspondientes a los puntos más próximos al límite con los afloramientos de las margas cretácicas. Estas, en general presentan gran contenido en sales disueltas, así como mayores valores de conductividad, si bien las diferencias encontradas no son importantes.

Por otro lado, aunque no tenga relación con el estudio de la intrusión marina, es destacable el contenido en nitratos que presentan la mayoría de las muestras, que generalmente supera los 100 mg/l, acercándose a los 200 mg/l en algunos sectores.

En cuanto a las relaciones iónicas estudiadas, en ningún caso presentan valores de intrusión marina. Sin embargo sí puede observarse un incremento de los valores de las relaciones rMg/rCa y rCl/rCO_3H a la vez que una disminución del índice



ACUIFERO BENIDORM-ALTEA

ISOCLORUROS

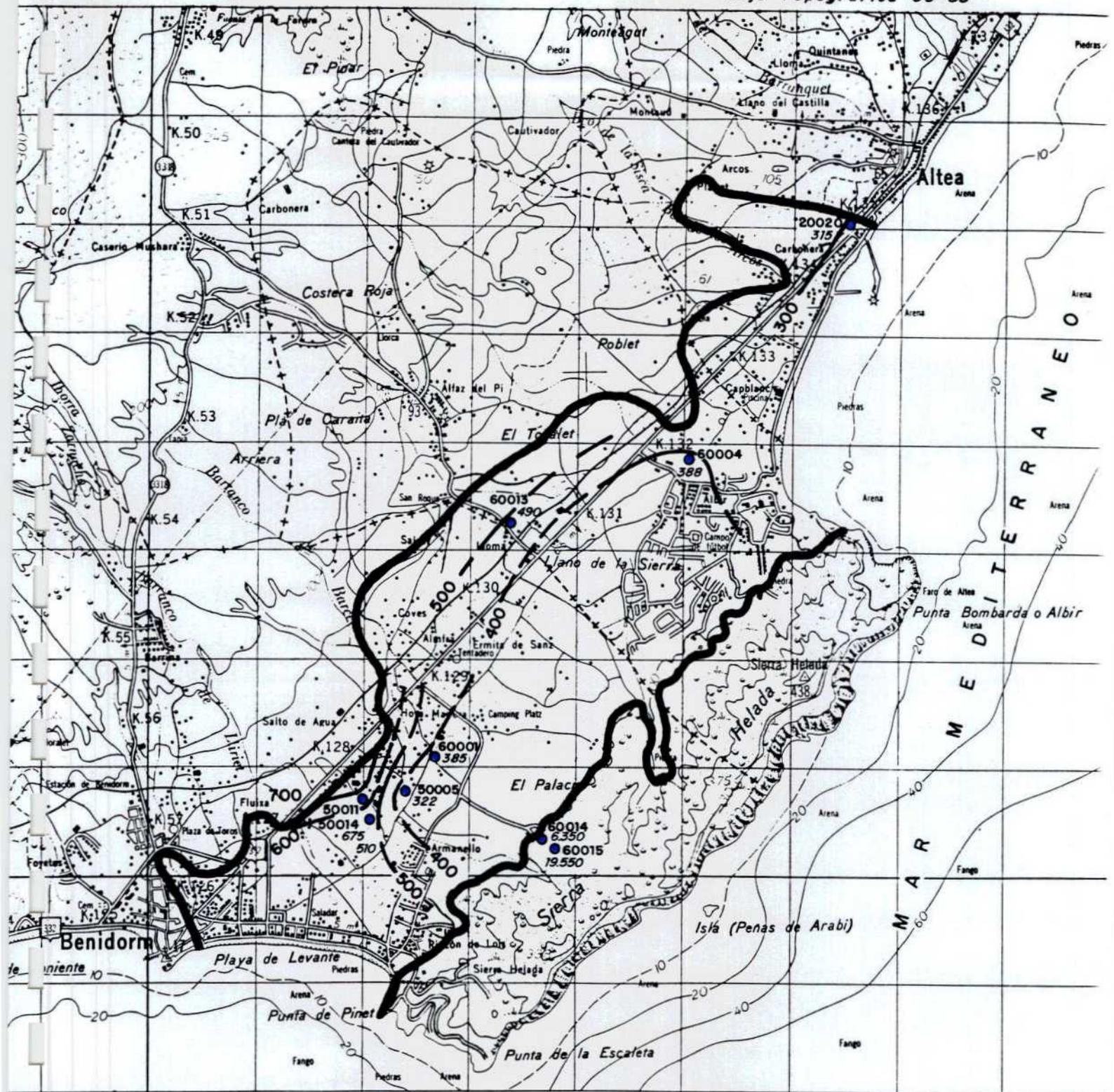
(Campaña Abril-Mayo 1989)

300 ——— Isocloruros (mg/l)
 ——— Límite del acuífero

● Punto muestreado ——— 50005 Núm. de I.R.H.
 283 Contenido en ión cloruro



Fig. 11.5



ACUIFERO BENIDORM-ALTEA

ISOCLORUROS

(Campaña Agosto-Septiembre 1989)

700 ————— Isocloruros (mg/l)
 ————— Límite del acuífero

● Punto muestreado ——— 50005 Núm. de I.R.H.
 322 Contenido en ión cloruro



Fig. 11.6

rsO4/rel en la dirección Noreste-Suroeste, es decir hacia el sector de explotaciones más próximo a Benidorm. Así, por ejemplo, se observan valores superiores a 4 en la relación rCl/rCO3H al Noreste de Benidorm y del orden de 3, en el punto 3033-60013, situado al Este de San Roque; estos valores se diferencian de los encontrados para este parámetro en el resto del acuífero, que siempre se sitúan entre 1 y 2. En el caso de las muestras analizadas en el punto 3033-50011, el valor de la relación rsO4/rCl es el menor encontrado en todo el acuífero; es decir en este punto se dan los mayores valores de relación rCl/rCO3H y los mínimos de la relación rsO4/rCl, por lo que se podría pensar que existe un proceso incipiente de intrusión marina; sin embargo no es posible dar tal hipótesis, pues la proximidad del límite con las margas del impermeable de base justificaría este fenómeno.

11.4. SITUACION DE LA INTRUSION MARINA

El estado de la intrusión en el acuífero de Benidorm-Altea se va a analizar considerando que no existe comunicación hidráulica con las calizas de la Sierra Helada. En base a esto, pueden diferenciarse dos sectores en dicha llanura:

El primer sector es el situado al Sur de Altea, entre esta localidad y Sierra Helada. En él las muestras de agua analizadas, en puntos que distan poco más de 200 m de la costa, presentan facies sulfatada clorurada-cálcico sódica, con porcentajes de los iones sulfato y calcio superiores al 50% y con contenidos en cloruros que están en torno a los 350 mg/l. Los índices hidroquímicos muestran valores típicos de aguas continentales. Por otro lado, los niveles piezométricos se mantienen por encima del nivel del mar, sin grandes oscilaciones entre estaciones. A falta de un mayor conocimiento geométrico del acuífero, así como de la variación en su composición química con la profundidad, todos los datos recogidos ponen de manifiesto un aceptable equilibrio en la relación aguas continentales-aguas marinas, sin indicios indicativos de intrusión marina actualmente

en dicho sector. Dado que tampoco se detectan movimientos apreciables de la interfase, es previsible que a corto plazo no se presenten problemas de calidad en las aguas subterráneas derivadas de un avance rápido de la intrusión marina.

El otro sector considerado es el que está próximo a la localidad de Benidorm, donde se concentran la mayoría de las captaciones del acuífero. En él la densidad de puntos muestreados ha sido mayor y los resultados de los análisis químicos efectuados tampoco muestran indicios suficientes como para confirmar un proceso de intrusión marina. Sin embargo, existen algunas diferencias respecto al sector situado al Sur de Altea. Así, las muestras analizadas presentan un carácter clorurado sulfatado con una clara tendencia al predominio del ión cloruro sobre el sulfato. En el punto 3033-50011, situado a 1,5 km de la costa, el contenido en cloruros está en 680 mg/l, el mayor encontrado en los puntos muestreados. Como ya se indica en el estudio hidroquímico, en este sector existe una tendencia al incremento de la relación rCl/rCO_3H paralelamente a una disminución del índice rSO_4/rCl , aunque siempre se mantiene en los límites propios de las aguas continentales.

Es posible que estos valores estén en relación con un empeoramiento de la calidad del agua debido a la influencia ejercida por la proximidad de los afloramientos de margas del impermeable de base. Sin embargo, tampoco es descartable que estén relacionados con un incipiente proceso de intrusión marina.

Efectivamente, aunque en este sector la superficie piezométrica se mantiene a cotas positivas, es muy probable que en algunas captaciones se alcancen cotas de nivel dinámico próximas a cero o incluso sean ligeramente negativas, de forma que se produjese un efecto de arrastre de la interfase tierra adentro. En este sentido hay que hacer constar que dada la poca profundidad de la mayoría de las captaciones en el acuífero, no ha sido posible contrastar variaciones de los parámetros

hidroquímicos con la profundidad. Además, el escaso conocimiento que se tiene sobre la geometría del acuífero en este sector, tampoco permite aventurar hipótesis sobre un incipiente proceso de intrusión marina y su posible evolución a corto o medio plazo.

En todo caso, los valores alcanzados por los índices característicos de la intrusión marina no son en modo alguno alarmantes y los datos históricos disponibles en cuanto a calidad del agua no muestran una evolución en tal sentido. La calidad parece depender más de las aportaciones de lluvia anuales y de las extracciones, que de un fenómeno de intrusión marina. Únicamente hay que indicar el proceso de salinización sufrido por el punto 3033-50025 situado a menos de 300 m de la playa de Levante, junto a Benidorm. Este, que no ha sido muestreado por encontrarse cerrado en la actualidad, mostraba una salinidad entre 6000 y 7000 mg/l en 1978 y tuvo que abandonarse su explotación por el exceso de sales que contenía, provocado por la intrusión marina dada su proximidad al mar.

Por último, aunque ya se ha dicho que no tiene relación con el acuífero de Benidorm-Altea, la Sierra Helada presenta un esquema típico de intrusión marina en forma de domos, provocados por una sobreexplotación puntual con cotas de nivel dinámico por debajo del nivel del mar.

11.5. INCIDENCIA DEL FENOMENO DE LA INTRUSION MARINA EN LOS SECTORES TURISTICO Y AGRICOLA

La zona costera, entre las localidades de Benidorm y Altea, alberga en los meses de verano una población estimada en más de 280.000 habitantes. El volumen de agua utilizado para abastecimiento público a Benidorm, principal enclave turístico de la zona, ascendió en 1989 a 10 hm³ (*), de los cuales 3,7 hm³

(*) Datos cedidos por ACUAGEST.

correspondieron a los meses de Julio, Agosto y Septiembre. Este volumen procede en su mayor parte del embalse de Guadalest, pero también de la Fuentes del Algar y pozos de Beniardá y de Algar (fuera del acuífero). En los meses de verano también se abastece del embalse del Amadorio.

Por otro lado, existen en la zona unas 1700 has de regadío, de las cuales sólo una pequeñísima parte se riega con aguas del acuífero. La explotación en éste se ha estimado entre 0,5 y 1 hm³/año como máximo, utilizándose en su mayor parte para el riego de unas pocas hectáreas de cultivos, así como para usos domésticos en pequeñas fincas.

En general se trata de aguas de mala calidad, clasificadas como no potables, con alto peligro de salinización del suelo y entre bajo y muy alto riesgo de alcalinización.

Actualmente no existen evidencias alarmantes de intrusión marina, por lo que la incidencia en los sectores agrícola y turístico es prácticamente nula; si bien se conoce el hecho de que algunas captaciones situadas muy próximas al mar y utilizadas para abastecimiento de instalaciones hoteleras, tuvieron que ser abandonadas hace algunos años por exceso de salinidad.

En el acuífero de Sierra Helada (desconectado del de Benidorm-Altea), existen tres sondeos que conjuntamente explotan entre 0,1 y 0,2 hm³/año, sólo durante los meses de verano. El agua extraída se encuentra fuertemente salinizada por el efecto de intrusión, provocado por una sobreexplotación puntual. Sin embargo dado que la utilización de estas aguas es exclusivamente para fines recreativos (piscinas, etc.) el efecto sobre los sectores agrícola y turístico es nulo en la actualidad.

12. REDES DE CONTROL DE LA INTRUSION MARINA

Al objeto de conseguir un seguimiento más detallado de la evolución espacial y temporal del proceso de la intrusión marina en los acuíferos estudiados y proceder con las soluciones preventivas y correctoras que se estimen oportunas en cada caso, se propone una red de control específica.

Para la elección de los puntos de la red se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Puntos situados en zonas donde existen variaciones (espaciales y/o temporales) de los parámetros indicativos de intrusión marina. En estos lugares la densidad y periodicidad de muestreo será la mayor posible (al menos trimestral).
- Con menor densidad, se controlarán puntos situados en zonas adyacentes a las anteriores, donde aún no se han detectado estos indicios o evidencias de intrusión, pero que previsiblemente puedan sufrir sus consecuencias a corto plazo (por ejemplo en zonas de piezometría deprimida o con gran concentración e intensidad de bombeos).
- Con carácter general la periodicidad de muestreo en estos puntos deberá ser semestral, después de los períodos seco y húmedo, para poder detectar variaciones estacionales.
- Puntos que por su proximidad al mar y cota de fondo de obra sean susceptibles de acusar los efectos de la intrusión marina en períodos prolongados de sequía, aunque actualmente no manifiesten la presencia de tal

fenómeno. La periodicidad en el control de estos puntos será anual.

- Preferentemente, puntos que se encuentren en explotación, al objeto de recoger muestras tanto en bombeo como en reposo y poder observar las variaciones dinámicas de la interfase.
- En la medida que ha sido posible, se han tomado puntos nivelados para que puedan medirse simultáneamente, a la recogida de las muestras, los niveles piezométricos y estudiar así las variaciones temporales de piezometría e índices de intrusión marina.

Siguiendo estos criterios con carácter general y en base a los datos aportados en el presente estudio, se propone para cada acuífero la red de control de la intrusión marina, en los siguientes puntos.

Aguilas-Cala Reona (control semestral):

2540-40001

2540-70030

2540-70031

2540-80005

Cope-Cala Blanca (control semestral):

2640-10015

2640-10020

2640-10031

Campo de Cartagena (control semestral):

En esta unidad, se han tenido en cuenta con preferencia aquellos puntos en los que se tiene suficiente grado de seguridad

que explotan un único acuífero.

Cuaternario:

2738-40104

2837-50001

2837-50017

2839-10021

2839-10033

Plioceno:

2738-80054

2739-40024

2838-10052

Andaluciense:

2838-10011

Cabo Roig (control trimestral):

2837-20001

2837-20076

2837-20090

2837-20134

San Juan-Campello (control semestral):

2934-20004

2934-50007

2934-60006

Villajoyosa (control anual):

2933-80068

Benidorm-Altea (control semestral):

3033-20020

3033-50014

3033-60014

3033-60015

Además de estos puntos que compondrían la red de control específica pueden añadirse los puntos de la red general de control de la calidad en cada caso. También, en caso de necesidad de ampliar la red de control específico de la intrusión marina por los nuevos problemas surgidos de un avance en el proceso de la intrusión, se proponen los siguientes puntos complementarios.

Aguilas-Cala Reona:

2540-40002

2540-70033

2540-80002

Cope-Cala Blanca:

2640-10013

2640-10032

Campo de Cartagena:

Cuaternario:

2738-80055

Plioceno:

2738-80032

2838-10049

2837-50155

2739-40048

Andaluciense:

2837-50028

2837-50047

2838-10060

Cabo Roig:

2837-20005

2837-20007

2837-20010

2837-20034

2837-20085

2837-60004

San Juan-Campello:

2934-20003

2934-60002

Benidorm-Altea

3033-50006

3033-50011

3033-60002

3033-60012

13. NIVELACION DE PUNTOS ACUIFEROS Y PUNTOS DE NUEVO INVENTARIO

Durante la realización de los trabajos de campo se han encontrado e inventariado un total de 20 nuevos puntos. En el cuadro nº 13.1 se refleja la distribución de estos puntos por hojas topográficas (1:50.000). Las correspondientes fichas se encuentran en el Anexo III.

Cuadro nº 13.1 Relación de puntos de nuevo inventario por Hojas Topográficas (1:50.000).

HOJA TOPOGRAFICA (1:50.000)	PUNTOS ACUIFEROS DE NUEVO INVENTARIO
GUARDAMAR DEL SEGURA	2836-60038; 2836-60039; 2836-60040; 2836-60041 2836-60042; 2836-60043; 2836-60044; 2836-60045 2836-70007; 283670008
FUENTE ALAMO	2738-80054; 2738-80055
SAN JAVIER	2838-50003
LLANO DEL BEAL	2839-10038; 2839-10039; 2839-10040
VILLAJOCOSA	2933-80102
ALICANTE	2934-20013
ALTEA	3033-60014; 3033-60015

Así mismo, también se ha realizado una nivelación de precisión con nivel topográfico WILD-NK.2 sobre 5 puntos. En el Cuadro nº 13.2 se muestran estos puntos y la cota obtenida para cada uno de ellos.

Cuadro nº 13.2 Relación de puntos nivelados.

HOJA TOPOGRAFICA (1:50.000)	Nº Punto Acuifero	COTA (m.s.n.m.)
GUARDAMAR DEL SEGURA	2836-60030	24.83
"	2836-60041	49.93
"	2836-59942	33.80
"	2836-60043	21.40
"	2836-60044	45.56

14. RESUMEN Y CONCLUSIONES

10 El acuífero de Aguilas-Cala Reona presenta claros síntomas de intrusión marina, provocada por la intensa explotación a que ha estado sometido años atrás. El avance de la intrusión se ha visto frenado por la llegada a la zona de importantes volúmenes de agua procedentes del Valle del Guadalentín. No obstante, el grado de salinización en el acuífero continúa siendo elevado a pesar de las menores extracciones y del continuado ascenso del nivel piezométrico. Existe una amplia zona de mezcla que se extiende a lo largo de una franja paralela a la costa entre 1,5 y 2 km de anchura. El problema provocado por la intrusión del agua del mar se acentúa en la zona del Charcón, al Oeste de Aguilas, donde se encuentran la mayoría de las captaciones del acuífero, con contenidos en cloruros superiores a 2200 mg/l.

La incidencia del fenómeno de la intrusión marina en este acuífero en el sector agrícola, ha sido importante en años anteriores, llegándose a abandonar captaciones por exceso de salinidad. Actualmente, y para hacer frente a las mayores necesidades de agua para riego, se importan recursos subterráneos del Valle del Guadalentín, de mejor calidad que las aguas del acuífero. Al objeto de prevenir los efectos perjudiciales que pudiera ocasionar una mayor explotación en el futuro, deben vigilarse, en base a la red de vigilancia de la intrusión propuesta, las zonas con mayor riesgo, a corto plazo.

29 En Cope-Cala Blanca, la situación es muy similar a la de Aguilas-Cala Reona, tanto en su evolución como en el estado actual que presenta. En el sector septentrional, la interfase podría extenderse 1 km hacia el interior, sin llegar a afectar gravemente a las captaciones más alejadas; dado que es el sector de mayor explotación, sería recomendable un control semestral de la red al objeto de detectar posibles progresos de la interfase a corto plazo. En el sector meridional, la situación actual es más grave; la penetración de la cuña de agua salobre en el acuífero es mayor (hasta una distancia de 2 km de la costa), con una interfase más tendida que en el septentrional. Como en el caso del acuífero de Aguilas, la situación se ha estabilizado merced a la menor explotación y al aporte de recursos del Valle del Guadalentín. El fenómeno de la intrusión marina en esta zona ha tenido efectos directos sobre el sector agrícola (único uso al que se destinan las aguas) provocando el abandono de captaciones por exceso de salinidad.

30 El acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena presenta claros indicios de salinización por intrusión marina, estando afectado con mayor o menor intensidad a lo largo de una franja paralela a la costa de entre 2 y 5 km de anchura, según las zonas. En algunas captaciones resulta difícil conocer con exactitud el origen del alto contenido en sales, al tratarse de un acuífero superficial sensible a la contaminación por otras causas ajenas a su relación con el agua del mar. La zona afectada por la intrusión marina se sitúa al Oeste y Sur de Los Alcázares, donde la descarga al mar sería prácticamente nula y la interfase podría penetrar más de 4 km hacia el interior. Aquí se han encontrado contenidos en cloruros superiores a 3000 mg/l. En el sector septentrional entre San Javier y El Pilar de la

Horadada, sin llegar a estos valores, la interfase podría situarse a unos 2 km del litoral.

Respecto al acuífero del Plioceno, presenta también evidencias de relación con agua del mar, especialmente en la zona entre Los Alcázares y Los Urrutias, donde el contenido en cloruros alcanza valores próximos a 2000 mg/l. En este sector la intrusión podría estar relacionada con el fenómeno de intrusión marina fósil detectado por MORA, V. et. al. (1988) en las inmediaciones de Torre Pachecho. En el sector nororiental también se dan indicios de una cierta proximidad a la interfase, aunque los valores encontrados en cloruros son menores (próximos a 1200 mg/l).

En el acuífero del Andaluciense no parece que exista un fenómeno de intrusión, ya que el incremento de salinidad está más relacionado con la dirección del flujo subterráneo que con una influencia del agua del mar. Salvo en un punto, donde el contenido en cloruros está próximo a los 1500 mg/l, en el resto de los muestreados más próximos a la costa, éste se sitúa próximo a los 1000 mg/l. En todo caso y dado que es el de mayor explotación en el Campo de Cartagena, se hace necesario un seguimiento periódico para observar la evolución a medio plazo.

En cuanto a la incidencia de la intrusión marina en el sector turístico, puede decirse que al no utilizarse las aguas subterráneas para abastecimiento en toda el Campo, éste no se ve afectado en ningún caso. En el sector agrícola, dado que en la zona estudiada el riego es compartido con aguas del Trasvase y que éstas se utilizan mayoritariamente, los efectos de la intrusión marina sólo pueden tener una importancia relativa y muy

localizada en las zonas donde ésta se produce y sobre los cultivos que se riegan exclusivamente con aguas subterráneas, procedentes de los dos acuíferos superiores.

- 4º De todos los acuíferos estudiados, el de Cabo Roig es el que presenta un fenómeno más avanzado de intrusión marina, ligado a la sobreexplotación y agravado de manera especial durante los últimos 5 años. En este acuífero la explotación es 4 veces superior a los recursos medios y está concentrada en los meses de Junio a Septiembre. La penetración de la cuña salada puede alcanzar más de 3 km hacia el interior, caracterizándose por una interfase con tendencia a la horizontalidad y una amplia zona de difusión. Se han encontrado concentraciones en cloruros de hasta 11000 mg/l en captaciones situadas a más de 2 km de la costa. Esta situación se ha visto acentuada por la depresión de la superficie piezométrica motivada por los intensos bombeos que han favorecido un flujo de agua del mar hacia el interior del acuífero.

El efecto de la intrusión marina en este acuífero ha llevado al abandono de gran número de explotaciones destinadas tanto al riego agrícola como al abastecimiento de las numerosas urbanizaciones turísticas existentes. Es especialmente importante la incidencia en este último sector (al que se destina el 80% de la explotación actual) ya que se encuentra en continuo desarrollo en la zona, lo que obligará en un plazo muy breve a remediar la situación creada mediante la importación de recursos exteriores al acuífero, con la consiguiente inversión económica que ello supone.

59 En el acuífero de Torrevieja se ha constatado la existencia de un fenómeno de intrusión marina en los sectores más próximos a la costa y junto a las Lagunas de Torrevieja y La Mata, si bien no afectaría de forma importante el conjunto del acuífero, pues se trata de explotaciones muy localizadas que bombean muy poco caudal y generalmente para uso particular de pequeñas granjas o fincas. En el sector situado al Oeste de las lagunas hay captaciones que presentan una importante contaminación en nitratos, con contenidos en cloruros que sobrepasan los 1000 mg/l, siendo dudosa la relación con un proceso de intrusión marina. Sin embargo dado que la mayor explotación del acuífero se concentra al Oeste de la Laguna de la Mata, donde además la superficie piezométrica se encuante a cotas negativas, se haría necesario un seguimiento periódico para observar la posible evolución hacia un proceso de intrusión marina.

60 En el acuífero de San Juan-Campello se ha puesto de manifiesto la presencia de una amplia zona de mezcla que afectaría en mayor o menor medida a las captaciones situadas a una distancia entre 3 y 4 km de la costa, dependiendo de la profundidad de la obra y de los caudales explotados. La zona más afectada se sitúa al Sur de San Juan, donde la descarga del acuífero al mar es prácticamente nula, alcanzándose contenidos en cloruros próximos a los 2000 mg/l en captaciones que distan 2 km de la costa. La escasa importancia de las explotaciones del acuífero (0,2 hm³/año) reduce los efectos perjudiciales de la intrusión marina al riego de unas pocas hectáreas de cultivos.

70 El acuífero de Villajoyosa no presenta actualmente problemas derivados de un fenómeno de intrusión marina y en la práctica ésta no podría afectar más que a una

estrecha franja paralela a la costa de menos de 1 km, en su parte más ancha. En un futuro próximo no es previsible que pueda presentarse este fenómeno, dado el pequeño volumen de las extracciones en dicha zona.

- 89) En el acuífero de Benidorm-Altea no se han detectado manifestaciones significativas del fenómeno de intrusión marina. La escasa penetración de las captaciones en el acuífero y su pequeño volumen de explotación, hacen que la situación frente a la intrusión marina se mantenga en un nivel aceptable, estando influenciada la baja calidad de sus aguas más por la litología del entorno que por la presencia de una intrusión marina. En el sector situado al Sur de Altea actualmente la posibilidad de un fenómeno de intrusión marina es mínima, sin embargo en las proximidades de Benidorm, aunque tampoco se han encontrado evidencias de tal fenómeno, se hace necesario un seguimiento para conocer su evolución en un futuro, dado que es la zona de mayor concentración de captaciones.

En Sierra Helada existe un fenómeno típico de intrusión marina en domos, provocados por sobreexplotación puntual. En el estado actual de conocimientos puede afirmarse que no existe conexión hidráulica entre esta sierra y el Cuaternario de la llanura de Benidorm, por lo que en principio no afectaría a las captaciones aquí situadas. Actualmente, el destino dado a estas aguas (usos recreativos) es compatible con su mala calidad.

- 99) En relación con el estudio hidroquímico realizado, aunque existen múltiples y variados factores que afectan a la composición química de las aguas subterráneas y no es posible generalizar un esquema de comportamiento único aplicable a todos los acuíferos

costeros estudiados, sí se pueden destacar una serie de características comunes a la mayoría de ellos, como son las siguientes:

- a) Como es sabido, el ión Cl^- es el menos afectado por las reacciones químicas y fenómenos modificadores que ocurren en la interfase y por este motivo es el más utilizado generalmente para caracterizar los procesos de intrusión marina. Ahora bien, en la zona de estudio existe gran abundancia de materiales evaporíticos, por lo que en estos acuíferos de las provincias de Murcia y Alicante las aguas tienden a ser de facies cloruradas con altos contenidos en ión Cl^- ; de ahí que su alta concentración en valor absoluto no deba utilizarse aisladamente como parámetro indicativo de relación con el agua del mar y, que sea necesario acudir a la observación de otros índices.

En este sentido, ha resultado ser muy interesante el análisis de la distribución espacial del porcentaje de meq/l de este ión sobre el total de aniones en disolución. Puede decirse, en general, que en la mayoría de los acuíferos estudiados, cuando esta cantidad supera el 70% es un claro indicio de intrusión marina, aunque ésta puede producirse excepcionalmente con porcentajes más bajos (caso del acuífero de San Juan-Campello).

- b) El total de sales disueltas (TSD) puede constituir un buen indicio de la existencia de intrusión marina si viene acompañado de otros valores más característicos. En los acuíferos donde se produce este fenómeno más claramente (Cabo Roig, Aguilas-Cala Reona, Cope-Cala Blanca) se han encontrado valores que superan los 3,5 g/l. El elevado valor de salinidad se hace a costa de

verse incrementado principalmente el contenido en cloruros.

- c) Prácticamente en todos los casos, se ha encontrado como un excelente parámetro para caracterizar el proceso de intrusión marina la relación rCl/rCO_3H . En los acuíferos afectados claramente por este proceso, ésta relación supera el valor 10, llegando incluso a tomar valores propios de agua del mar (recuérdese que esta relación se encuentra por debajo de 5 en aguas dulces y entre 20 y 50 en el mar).
- d) Otro índice que ha presentado cierto interés en el estudio hidroquímico, ha sido la relación rSO_4/rCl . En la mayoría de los casos, éste parámetro se encuentra por debajo del valor 1, disminuyendo notablemente en las zonas más afectadas. Más que su valor absoluto, se ha mostrado efectiva su distribución espacial. Sin embargo, en algunos acuíferos (como San Juan-Campello) permanece con escasas variaciones en torno al valor 1, siendo necesario acudir a otras consideraciones para caracterizar el proceso de intrusión marina.
- e) La relación rMg/rCa se ha mostrado, en general, menos efectiva. Toma valores próximos a 2 cuando hay manifiesta relación con el agua del mar, llegando a superar el valor 3 en los casos más espectaculares (Sierra Helada). Sin embargo, lo más frecuente es encontrar valores en torno a 1, no reflejando, en general, correlaciones significativas con los demás índices (salvo en Cabo Roig y Sierra Helada).
- f) Por último, respecto al índice de cambio de bases se ha observado que en los acuíferos en que existe clara relación con el agua del mar pasa de valores negativos a positivos en dirección a la costa; pero se ha

mostrado en general menos sensible que los demás parámetros a la hora de detectar la intrusión marina. Unicamente cabe destacar la relación existente entre el i.c.b. y el % meq/l del ión cloruro, ya que cuando éste sobrepasa el 50%, el índice de cambio de bases es casi siempre positivo.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COMUNIDAD AUTONOMA DE LA REGION DE MURCIA. DIRECCION GENERAL DE RECURSOS HIDRAULICOS (1989).- Actualización de las características hidrogeológicas en el Campo de Cartagena. 1986-88.

ITGE (1974 a 1977).- Memoria y Hojas geológicas 1:50.000 nº 847 (Villajoyosa), 872 (Alicante), 914 (Guardamar), 935 (Torrevieja), 997 (Aguilas), 997 bis (Cope), de la serie MAGNA.

ITGE (1988).- Aspectos metodológicos en el estudio de la intrusión marina.

ITGE (1988).- Prospección Geofísica eléctrica en Aguilas (Murcia).

ITGE (1988).- Prospección Geofísica eléctrica en Cope (Murcia).

ITGE (1988).- Prospección por S.E.V. en Torrevieja (Alicante).

ITGE (1989).- Prospección por S.E.V. en Villajoyosa (Alicante).

ITGE (1989).- Geometría de los acuíferos del Campo de Cartagena (Murcia).

MORA CUENCA, V.; RODRIGUEZ ESTRELLA, T. y ARAGON RUEDA, R. (1988).- Intrusión marina fósil en el Campo de Cartagena (Murcia). Simposio Internacional sobre Tecnología de la Intrusión en acuíferos costeros. (TIAC). Almuñecar.

RODRIGUEZ HERNANDEZ, L. Y MEDINA GIL, A. (1988).- La relación agua continental-agua marina en los embalses subterráneos costeros de la provincia de Alicante. Simposio Internacional sobre Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros.(TIAC). Almuñecar.

SOLIS GARCIA-BARBON, L.; MORA CUENCA, V.; RODRIGUEZ ESTRELLA, T. y ARAGON RUEDA (1988).- Situación de la intrusión marina en la Cuenca del Segura. Simposio Internacional sobre Tecnología de la intrusión en acuíferos costeros. (TIAC). Almuñecar.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID (1981).- Introducción al paquete de programas estadísticos BMDP. Madrid.